

CHAPITRE 15

ÉTUDES DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE RÉFÉRENCE (PCC)

15.0 HYPOTHÈSES ET EXIGENCES POUR LES ÉTUDES DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE RÉFÉRENCE

15.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE PRISES EN COMPTE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS

15.2 ÉTUDES D'ACCIDENTS

15.3 CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES

15.4 DEMONSTRATION DE SURETE DE LA RECHARGE

15. ANNEXE15A CODES DE CALCUL UTILISÉS DANS LE CHAPITRE 15

15. ANNEXE15B CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE PRISES EN COMPTE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS DONNÉES GÉOMÉTRIQUES DE LA TRANCHE - JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES

SOMMAIRE

.15.0 HYPOTHÈSES ET EXIGENCES POUR LES ÉTUDES DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE RÉFÉRENCE	4
1. DOMAINE COUVERT	4
1.1. INTRODUCTION	4
1.2. DOMAINES D'ÉTUDES	5
1.3. LISTE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE RÉFÉRENCE (PCC)	5
1.3.1. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE CATÉGORIE 1 (PCC-1) : TRANSITOIRES D'EXPLOITATION NORMALE	6
1.3.2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE CATÉGORIE 2 (PCC-2 TRANSITOIRES DE RÉFÉRENCE)	6
1.3.3. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE CATÉGORIE 3 (PCC-3 INCIDENTS DE RÉFÉRENCE)	7
1.3.4. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE CATÉGORIE 4 (PCC-4 ACCIDENTS DE RÉFÉRENCE)	8
1.4. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT PCC ANALYSÉES DANS LE RAPPORT DE SÛRETÉ	8
2. RÈGLES D'ÉTUDES POUR LES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE RÉFÉRENCE (PCC) HORS PISCINE DE DÉSACTIVATION	8
2.1. CRITÈRES D'ACCEPTATION	9
2.1.1. OBJECTIFS DE SÛRETÉ	9
2.1.2. CRITÈRES DE SÛRETÉ	9
2.1.3. EXIGENCES ET PHÉNOMÈNES PHYSIQUES LIMITATIFS ASSOCIÉS	10
2.1.4. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION	12
2.1.5. CRITÈRES PARTICULIERS	13
2.2. MÉTHODOLOGIES D'ÉTUDES	15
2.3. CONDITIONS INITIALES	15
2.4. PRISE EN COMPTE DES ACTIONS OPÉRATEUR	16
2.5. PRISE EN COMPTE DES SYSTÈMES MÉCANIQUES, ÉLECTRIQUES ET DE CONTRÔLE-COMMANDE	16

2.6. PRISE EN COMPTE D'UN AGGRAVANT	17
2.7. PRISE EN COMPTE DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	19
2.8. PRISE EN COMPTE DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	19
3. RÈGLES D'ÉTUDES SPÉCIFIQUES AUX ÉVÉNEMENTS PCC LIÉS À LA PISCINE DE DÉSACTIVATION	20
3.1. CRITÈRES D'ACCEPTATION	20
3.2. ÉTATS PHYSIQUES	21
3.3. CONDITIONS INITIALES	21
3.4. PRISE EN COMPTE DES ACTIONS OPÉRATEUR	22
3.5. PRISE EN COMPTE DES SYSTÈMES MÉCANIQUES, ÉLECTRIQUES ET DE CONTRÔLE-COMMANDE	22
3.6. PRISE EN COMPTE D'UN AGGRAVANT	22
3.7. PRISE EN COMPTE DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	22
3.8. PRISE EN COMPTE DU MANQUE DE TENSION EXTERNE (MDTE)	23
LISTE DES RÉFÉRENCES.	24



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 0

PAGE 3/26

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

TAB-15.0.1 DOMAINES D'ÉTUDES..... 25

TAB-15.0.2 SOUS-ÉTATS DES DOMAINES D'ÉTUDES 26

.15.0 HYPOTHÈSES ET EXIGENCES POUR LES ÉTUDES DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE RÉFÉRENCE

1. DOMAINE COUVERT

1.1. INTRODUCTION

La démarche d'analyse de sûreté prenant en compte l'étude des conditions de fonctionnement de référence est précisée au sous-chapitre 3.1. L'identification des événements et leur regroupement en catégories sont utilisés pour dimensionner les systèmes devant les maîtriser et ainsi empêcher qu'ils conduisent à des conséquences inacceptables pour l'installation et pour son environnement. L'évaluation des conséquences radiologiques des conditions de fonctionnement de référence est traitée dans le sous-chapitre 15.3.


Les événements à étudier sont sélectionnés en fonction du risque potentiel généré vis-à-vis de l'accomplissement des fonctions de sûreté principales :

- maîtrise de la réactivité et contrôle de la puissance,
- évacuation de chaleur des éléments combustibles,
- confinement de la radioactivité.

Ils sont classés en quatre catégories de Conditions de Fonctionnement de Référence (PCC - Plant Condition Category), une catégorie de Conditions de Fonctionnement avec défaillances multiples (RRC-A - Risk Reduction Category) et une catégorie Accident Grave.

Le chapitre 15 traite uniquement de l'analyse de sûreté des événements PCC. Le classement des PCC est effectué conformément à leur fréquence annuelle approximative d'apparition estimée¹ :

- PCC-1 : transitoires relatifs à l'exploitation normale,
- PCC-2 : transitoires de référence ($10^{-2} / r.a < f$),
- PCC-3 : incidents de référence ($10^{-4} / r.a < f < 10^{-2} / r.a$),
- PCC-4 : accidents de référence ($10^{-6} / r.a < f < 10^{-4} / r.a$).

Les PCC incluent des événements initiés par la défaillance d'un composant, la défaillance d'une fonction de contrôle-commande,  ou la perte de réseau.

L'analyse des événements RRC-A et Accident Grave est traitée dans le chapitre 19.

Les règles d'études et les critères d'acceptation à utiliser pour l'étude des événements PCC-2 à 4 hors piscine de désactivation sont indiqués dans le [§ 2](#). Les règles d'études et les critères d'acceptation spécifiques aux événements PCC liés à la piscine de désactivation sont indiqués dans le [§ 3](#).

Certains initiateurs peuvent être associés à des PCC différents selon qu'ils sont considérés pendant le fonctionnement en puissance ou pendant des états d'arrêt.

En application du concept d'exclusion de rupture, la rupture guillotine doublement débattue d'une tuyauterie primaire principale (APRP 2A) n'est ni un événement PCC ni un événement RRC-A. Elle est considérée conformément à la méthodologie décrite au sous-chapitre 19.3 au titre de la défense en profondeur, pour la vérification de la conception du système d'injection de sécurité (voir sous-chapitre 19.3) et de l'enceinte (voir sous-chapitre 6.2) ainsi que pour la qualification des matériels à l'intérieur de l'enceinte (voir sous-chapitre 3.7).

1. L'élimination pratique d'un événement initiateur ne peut pas être démontrée par le respect d'une valeur de coupure probabiliste générique.

Bien que les ruptures des tuyauteries vapeur principales puissent être exclues (en raison du concept d'exclusion de rupture), la rupture guillotine complète d'une tuyauterie principale du circuit vapeur est étudiée selon les règles PCC-4, comme enveloppe de toutes les défaillances pouvant survenir sur une quelconque tuyauterie raccordée aux tuyauteries vapeur principales vis-à-vis du comportement du cœur. De plus, l'étude de la rupture doublement débattue de la tuyauterie vapeur principale est enveloppe de la rupture doublement débattue de la tuyauterie d'eau alimentaire (pour l'aspect refroidissement du circuit primaire).

Les transitoires relatifs à la conception mécanique de l'enveloppe sous pression du circuit primaire et des enveloppes sous pression des générateurs de vapeur (par exemple, par rapport à la protection contre les surpressions) sont traités dans le sous-chapitre 3.6.

1.2. DOMAINES D'ÉTUDES

Les événements envisagés dans les études PCC sont supposés survenir pendant l'exploitation normale de la centrale. Les conditions initiales supposées couvrent tous les états possibles du réacteur allant du fonctionnement à pleine puissance à l'arrêt à froid. Les six domaines d'études suivants sont définis (voir également tableau [TAB-15.0.1](#)) :

- **Etat A** : Etats en puissance, arrêt à chaud et arrêt intermédiaire sur GV . Dans ces états d'arrêt, toutes les fonctions nécessaires de protection automatique du réacteur sont disponibles comme dans les états en puissance. En fait, certaines fonctions de protection peuvent être désactivées à faible puissance, mais il reste toujours suffisamment de fonctions automatiques de protection pour satisfaire les critères d'acceptation en cas de transitoire.
- **Etat B** : Arrêt intermédiaire sur GV . La température primaire est supérieure à . Le circuit d'évacuation de la chaleur résiduelle RIS-RA n'est pas raccordé au CPP en fonctionnement normal au-dessus de . Il convient de remarquer que le circuit RIS-RA peut être connecté au CPP à , en situation dégradée, mais il ne s'agit pas d'un état standard correspondant à un fonctionnement normal et par conséquent, il n'est pas pris en considération dans l'analyse déterministe de sûreté. Dans cet état B, certaines fonctions de protection automatique du réacteur disponibles à l'état A peuvent être désactivées.
- **Etat C** : Arrêt intermédiaire sur le circuit RIS-RA en mode RA, arrêt à froid normal (primaire pressurisable) et arrêt pour intervention (couvercle posé non soulevé). Le CPP est fermé ou entrouvert. Le CPP est plein ou à un niveau correspondant à un dénoyage partiel des boucles (par exemple pour la vidange des tubes GV et pour le balayage du CPP).
- **Etat D** : Arrêt à froid pour intervention avec le CPP ouvert, de sorte que les GV ne peuvent pas être utilisés pour l'évacuation de la puissance résiduelle. Le niveau du CPP peut correspondre à un dénoyage partiel des boucles.
- **Etat E** : Arrêt à froid avec piscine BR pleine pour rechargement.
- **Etat F** : Arrêt à froid avec le cœur complètement déchargé. Pendant cet état, des travaux sont réalisés sur les composants du CPP. Cet état n'est pas analysé vis-à-vis de la protection du cœur.

Les sous-états définis pour les domaines d'études sont présentés dans le tableau [TAB-15.0.2](#) du présent sous-chapitre.

1.3. LISTE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE RÉFÉRENCE (PCC)

La justification de la liste des différentes conditions de fonctionnement est présentée dans les notes [Réf \[1\]](#) et [Réf \[2\]](#) .

La note [Réf \[1\]](#) rappelle la pratique associée à la définition de la liste des conditions de conception des chaudières REP puis présente les principales étapes de la démarche suivie et les éléments de justification pour établir la liste des conditions de fonctionnement de référence (PCC) de l'EPR, en particulier au regard des demandes formulées dans les Directives Techniques.

Tel que précisé au sous-chapitre 3.1, l'établissement de la liste des événements considérés pour le dimensionnement est réalisé selon les étapes suivantes :

- Une première liste des conditions de dimensionnement de l'EPR a été établie en préalable à la phase de Basic Design en fonction des orientations retenues pour sa conception et en tenant compte des événements considérés sur les tranches lui servant de référence, à savoir les derniers réacteurs à eau pressurisée de conception française et allemande ; par rapport à ces réacteurs de référence, la liste initiale et le regroupement d'événements en catégories intègrent la volonté de réduire la fréquence des initiateurs.
- Cette liste a subi des adaptations durant la phase de Basic Design pour tenir compte d'une part de l'approfondissement et de l'évolution de la conception du réacteur et d'autre part pour intégrer les exigences issues de l'évaluation du projet par l'Autorité de Sûreté. La précision des différents états du réacteur ainsi que la considération des événements pouvant survenir dans les bâtiments périphériques ont participé à cette évolution. De plus des événements ont été « exclus » de la liste car non représentatifs des options prises à certaines étapes de la conception de l'EPR.
- L'ensemble de ces raisons a conduit à retenir en fin de phase de Basic Design, une liste d'événements qui a fait l'objet d'une justification détaillée. La démonstration de sûreté présentée dans le présent document est basée sur cette liste.

La note [Réf \[2\]](#) présente la justification des initiateurs de vidange de la piscine BK retenus dans la liste des conditions de fonctionnement de référence (PCC).

Concernant l'évènement de retrait de toutes les grappes à la levée du couvercle de cuve, il est pris en compte pour déterminer la concentration en bore dans les états d'arrêt opérationnels à puissance nulle, à froid, cuve ouverte ; cette situation étant considérée au sous-chapitre 4.5 sur le contrôle de la réactivité.

1.3.1. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE CATÉGORIE 1 (PCC-1) : TRANSITOIRES D'EXPLOITATION NORMALE

Les transitoires d'exploitation normale sont les suivants :

- Augmentation et baisse de température du CPP,
- Variations de charge en échelons,
- Variations de charge en rampes,
- Réduction de charge, jusqu'au délestage complet de conception,
- Perte du réseau principal, avec le réseau auxiliaire disponible,
- Déclenchement partiel du réacteur.

Ces transitoires d'exploitation sont susceptibles de se produire fréquemment ou régulièrement au cours du fonctionnement normal. Ces événements ne sont pas soumis à l'analyse de sûreté au titre du chapitre 15 mais participent à la définition des conditions de chargement de l'enveloppe sous pression du circuit primaire et du circuit secondaire principal (voir sous-chapitre 3.6).

1.3.2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE CATÉGORIE 2 (PCC-2 TRANSITOIRES DE RÉFÉRENCE)

L'absence de mention de l'état initial du réacteur signifie que l'évènement est analysé pour un état initial en puissance.

- 2a : Arrêt intempestif du réacteur (état A)
- 2b : Défaillance de l'ARE conduisant à une réduction de la température de l'eau alimentaire (états A, B)
- 2c : Défaillance de l'ARE conduisant à l'augmentation du débit d'eau alimentaire (états A, B)
- 2d : Augmentation excessive du débit vapeur (état A)
- 2e : Déclenchement turbine (état A)
- 2g : Perte du vide au condenseur (état A)

- 2h : Perte totale d'alimentation électrique externe de courte durée (< 2 heures) (états A, C, D, E)
- 2i : Perte de l'eau alimentaire normale (perte des 4 pompes ARE et de la pompe AAD) (état A)
- 2k : Perte d'une pompe primaire sans AAR partiel
- 2m : Retrait incontrôlé de groupes (état A)
- 2p : Mauvais positionnement et chute de grappe(s), sans limitation
- 2q : Démarrage d'une boucle primaire inactive à une température incorrecte
- 2r : Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)
- 2s : Dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation ou une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire (état A)
- 2t : Transitoires de pression primaire (aspersion intempestive au pressuriseur, réchauffement intempestif du pressuriseur) (état A)
- 2v : Baisse incontrôlée du niveau primaire (états C₃, D, E)
- 2w : Perte d'un train RIS/RA en mode RA (états C₃, D, E)
- 2x : Perte d'un train de refroidissement PTR ou d'un système support du PTR (état A)

1.3.3. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE CATÉGORIE 3 (PCC-3 INCIDENTS DE RÉFÉRENCE)

L'absence de mention de l'état initial du réacteur signifie que l'événement est analysé pour un état initial en puissance.

- 3a : Petite brèche vapeur ou d'eau alimentaire (\leq DN 50) incluant la rupture de lignes connectées aux GV (états A, B)
- 3b : Perte des alimentations électriques externes (> 2 heures) (état A)
- 3c : Ouverture intempestive d'une soupape pressuriseur (état A)
- 3d : Ouverture intempestive d'une vanne de contournement à l'atmosphère ou d'une soupape GV (état A)
- 3e : APRP Petite Brèche (états A et B)
- 3f : Rupture de tube de générateur de vapeur 1 tube (état A)
- 3g : Fermeture intempestive d'une ou de toutes les vannes d'isolement vapeur (état A)
- 3h : Non conformité du cœur
- 3i : Réduction forcée du débit primaire (4 pompes)
- 3k : Défaillances dans les systèmes de traitement des effluents liquides ou gazeux
- 3m : Retrait incontrôlé de groupes (états B, C et D)
- 3p : Retrait incontrôlé d'une grappe en puissance
- 3q : Rupture d'une ligne véhiculant du réfrigérant primaire à l'extérieur de l'enceinte (par exemple ligne d'échantillonnage)
- 3r : Perte des alimentations électriques externes (> 2 heures), aspect refroidissement de la piscine BK (état A)
- 3s : Perte d'un train de refroidissement PTR ou d'un système support du PTR (état F)
- 3t : Rupture de tuyauterie isolable sur un circuit connecté à la piscine de désactivation (états A à F)

1.3.4. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE CATÉGORIE 4 (PCC-4 ACCIDENTS DE RÉFÉRENCE)

L'absence de mention de l'état initial du réacteur signifie que l'événement est analysé pour un état initial en puissance.

- 4a : Perte des alimentations électriques externes (> 2 heures) (état C)
- 4b : Rupture de tuyauterie vapeur (états A, B)
- 4c : Rupture de tuyauterie d'eau alimentaire (états A, B)
- 4d : Ouverture intempestive d'une vanne de contournement à l'atmosphère ou d'une soupape GV (état B)
- 4e : Éjection de grappe (états A et B)
- 4f : APRP Grosse Brèche et Brèche Intermédiaire (états A et B)
- 4g : APRP Petite Brèche (< DN 50) (états C, D, E)
- 4h : Défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué)
- 4i : Rupture de l'arbre d'une pompe primaire
- 4k : Rupture de tube de générateur de vapeur – 2 tubes dans un GV (état A)
- 4m : Accident de manutention du combustible
- 4p : Dilution due à la rupture non isolable d'un tube d'échangeur de chaleur (états C, D, E)
- 4q : Brèche isolable sur le système RIS en mode RA (\leq DN 250), à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte (états C, D, E)
- 4r : Petite brèche primaire non isolable (\leq DN 50) ou brèche isolable sur le système RIS en mode RA (\leq DN 250), aspect vidange piscine (état E)
- 4s : Défaillance multiple de systèmes dans le Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires (BAN) et le Bâtiment de Traitement des Effluents (BTE) sous séisme
- 4t : Fuite de tuyauterie non isolable sur un circuit connecté à la piscine de désactivation (états A à F)

1.4. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT PCC ANALYSÉES DANS LE RAPPORT DE SÛRETÉ

Parmi les événements PCC-2, PCC-3 et PCC-4 listés au § 1.3, certains sont couverts par d'autres en termes de conséquences potentielles sur la sûreté. Ils peuvent ne pas être analysés de manière explicite dans le sous-chapitre 15.2, sous réserve de justification.

2. RÈGLES D'ÉTUDES POUR LES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE RÉFÉRENCE (PCC) HORS PISCINE DE DÉSACTIVATION

Les règles d'études de sûreté définies dans cette section sont utilisées pour effectuer les études des conditions de fonctionnement de référence (PCC) du sous-chapitre 15.2 et sont appliquées lors des calculs thermo-hydrauliques et neutroniques associés aux différents PCC. Elles font partie, avec les calculs radiologiques du sous-chapitre 15.3, de la méthodologie conservatrice qui sous-tend l'évaluation de sûreté déterministe de la tranche nucléaire.

Les études PCC permettent de démontrer que les objectifs de sûreté relatifs à chaque condition de fonctionnement PCC sont satisfaits en garantissant notamment la vérification du dimensionnement de l'installation et le respect des objectifs radiologiques.

Les règles d'études de sûreté permettent de s'assurer que les systèmes de sûreté sont conçus de manière adaptée. Le degré de conservatisme de ces règles est suffisant pour garantir des marges de conception appropriées.

Une évaluation de sûreté probabiliste globale est également réalisée afin de démontrer le respect des objectifs généraux de sûreté. Elle est présentée dans le chapitre 18.

2.1. CRITÈRES D'ACCEPTATION

2.1.1. Objectifs de sûreté

Les objectifs de sûreté sont définis au sous-chapitre 3.1, notamment en termes de limites radiologiques. Les objectifs les plus contraignants s'appliquent aux événements les plus probables, c'est-à-dire aux PCC-2. L'étude des conditions de fonctionnement PCC avec des méthodes et hypothèses conservatives permet de démontrer que les objectifs de sûreté relatifs à chaque condition de fonctionnement PCC sont satisfaits en garantissant notamment le respect des objectifs radiologiques tels que définis au sous-chapitre 15.3. Les données et les hypothèses utilisées pour les calculs radiologiques sont décrites dans le sous-chapitre relatif aux conséquences radiologiques (voir sous-chapitre 15.3).

Ces objectifs de sûreté sont ensuite déclinés en critères de sûreté pour chaque condition de fonctionnement de référence. Aux critères de sûreté associés à la tenue des barrières de confinement sont associés des phénomènes physiques limitatifs susceptibles de leur porter atteinte. Ces critères qualitatifs sont ensuite déclinés quantitativement en critères techniques d'acceptation.

2.1.2. Critères de sûreté

Les critères de sûreté permettent de vérifier :

- la non-dégradation d'une condition de fonctionnement vers une condition plus sévère ;
- l'intégrité des barrières de confinement (telles que définies dans le paragraphe 2.1.2 de la section 3.1.1) ;
- la conduite et le maintien de l'installation vers un état d'arrêt sûr.

Deux états physiques sont définis : l'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr (voir section 3.2.1). Pour chaque PCC, il doit être démontré que l'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr peuvent être atteints. L'étude du passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr peut être réalisée une seule fois par famille de PCC similaires.

Le respect des critères suivants permet de démontrer que l'état contrôlé est atteint :

- le cœur est sous-critique (un retour en criticité de courte durée avant les actions opérateur conduisant seulement à une puissance neutronique faible pourrait être accepté au cas par cas pour quelques événements) ;
- l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme ;
- l'inventaire en eau est stable ;
- les rejets radiologiques restent tolérables.

Le respect des critères suivants permet de démontrer que l'état d'arrêt sûr est atteint et maintenu :

- le cœur est sous-critique ;
- l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée durablement ;
- les rejets radiologiques restent tolérables.

Des critères de sûreté sont affectés à chaque condition de fonctionnement (ou famille de conditions de fonctionnement) PCC. Le respect de ces critères assure que les objectifs de sûreté relatifs à chaque PCC sont satisfaits.

Pour les conditions de fonctionnement PCC-2, les critères de sûreté sont les suivants :

- une condition de fonctionnement PCC-2 ne doit pas être à l'origine d'une condition de fonctionnement plus sévère (PCC-3 ou PCC-4) ;
- une condition de fonctionnement PCC-2 ne doit pas entraîner la perte d'une des trois barrières ;
- l'installation doit pouvoir être conduite vers un état d'arrêt sûr puis y être maintenue.

Pour les conditions de fonctionnement PCC-3 et PCC-4, les critères de sûreté sont les suivants :

- une condition de fonctionnement PCC-3 ne doit pas être à l'origine d'une condition de fonctionnement plus sévère (PCC-4) ;
- une condition de fonctionnement PCC-4 ne doit pas provoquer la perte des systèmes dont la fonction est de limiter les conséquences de l'accident ;
- la dégradation du gainage du combustible doit rester limitée ;
- une condition de fonctionnement PCC-3 ou PCC-4 ne doit pas entraîner la perte de la deuxième et de la troisième barrière : la deuxième et la troisième barrière ne doivent pas subir de dommages autres que ceux correspondant à l'initiateur ;
- l'installation doit pouvoir être conduite vers un état d'arrêt sûr puis y être maintenue.

2.1.3. Exigences et phénomènes physiques limitatifs associés

Aux exigences de sûreté relatives à l'intégrité des barrières de confinement sont associés des phénomènes physiques limitatifs susceptibles de leur porter atteinte :

- pour les conditions de fonctionnement PCC-2 :
 - première barrière
 - l'intégrité de la première barrière doit être vérifiée par l'absence de crise d'ébullition et par l'absence de fusion à cœur des pastilles ;
 - deuxième barrière
 - les pics de pressions primaire et secondaire ne doivent pas affecter la tenue de la seconde barrière ; la protection contre les surpressions doit être assurée (voir section 3.6.3) ;
 - troisième barrière
 - l'intégrité de l'enceinte doit être assurée (voir section 6.2.1).

Une exigence supplémentaire pour les conditions de fonctionnement PCC-2 concerne l'intégrité du réservoir de décharge du pressuriseur (RDP) qui doit être assurée.

- pour les conditions de fonctionnement PCC-3 :
 - première barrière :
 - la quantité de crayons susceptible d'entrer en crise d'ébullition doit rester limitée ;
 - l'absence de fusion du combustible doit être vérifiée ;
 - en cas de crise d'ébullition, pour les incidents à dynamique rapide n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible, l'échauffement du crayon ne doit pas conduire à une fragilisation de la gaine ;
 - en cas de découverture du cœur, l'augmentation de température et l'oxydation de la gaine doivent rester limitées et le refroidissement à long terme doit être assuré ;
 - la structure géométrique du cœur ne doit pas être endommagée, afin que le refroidissement du cœur puisse être convenablement assuré ;

- l'endommagement de la première barrière en cas de retour en criticité pour les incidents initiés en état « réacteur en production » en situation post-AAR doit rester limité ;
- deuxième barrière :
 - la protection contre les surpressions doit être assurée (voir section 3.6.3) ;
- troisième barrière :
 - l'intégrité de l'enceinte doit être assurée, les exigences relatives aux sollicitations de l'enceinte de confinement font l'objet de la section 6.2.1 ;
 - pour les APRP PCC-3, le risque d'explosion hydrogène doit être exclu.
- pour les conditions de fonctionnement PCC-4 :
 - première barrière :
 - la quantité de crayons susceptible d'entrer en crise d'ébullition doit rester limitée ;
 - la fusion du combustible au point chaud doit rester limitée ;
 - en cas de crise d'ébullition, pour les accidents à dynamique rapide n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible, l'échauffement du crayon ne doit pas conduire à une fragilisation de la gaine ;
 - en cas de découverture du cœur, l'augmentation de température et l'oxydation de la gaine doivent rester limitées et le refroidissement à long terme doit être assuré ;
 - la structure géométrique du cœur ne doit pas être endommagée, afin que le refroidissement du cœur puisse être convenablement assuré ;
 - l'endommagement de la première barrière en cas de retour en criticité pour les incidents initiés en état « réacteur en production » en situation post-AAR doit rester limité ;
 - deuxième barrière :
 - la protection contre les surpressions doit être assurée (voir section 3.6.3) ;
 - troisième barrière :
 - l'intégrité de l'enceinte doit être assurée, les exigences relatives aux sollicitations de l'enceinte de confinement font l'objet de la section 6.2.1 ;
 - pour les APRP PCC-4, le risque d'explosion hydrogène doit être exclu.

Pour l'accident d'éjection de grappe, se caractérisant par une excursion rapide de puissance, le risque supplémentaire de dispersion du combustible dans le circuit primaire doit être exclu.

Ces critères qualitatifs sont ensuite déclinés quantitativement en critères techniques d'acceptation. Ces critères incluent à la fois :

- des critères quantitatifs découlant directement du respect des exigences de sûreté (limites physiques),
- des critères quantitatifs introduits pour des raisons pratiques, afin de réaliser séparément les calculs thermohydrauliques et neutroniques d'une part et les calculs radiologiques d'autre part (valeurs découplées permettant de s'assurer de manière simplifiée du respect des objectifs radiologiques).

2.1.4. Critères techniques d'acceptation

Les critères techniques d'acceptation suivants sont utilisés dans les études des conditions de fonctionnement PCC.

Pour les conditions de fonctionnement PCC-2, les critères techniques d'acceptation sont :

- le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par les critères en RFTC suivants (voir sous-chapitre 4.4) :
 - pour les transitoires de type I ou II : un RFTC supérieur à 1,0,
 - pour les transitoires de type III : un RFTC supérieur au critère DNBR Design Limit, dépendant notamment de la corrélation, de la pression, de la vitesse massique (voir sous-chapitre 4.4).
- l'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré ;
- la protection contre les surpressions doit être assurée (voir section 3.6.3) ;
- l'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée de \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées ;
- l'intégrité de l'enceinte doit être assurée (voir section 6.2.1) ;
- l'installation doit pouvoir être conduite vers un état d'arrêt sûr puis y être maintenue.

Pour les conditions de fonctionnement PCC-3 (hors cas particuliers mentionnés au [§ 2.1.5.](#)), les critères techniques d'acceptation sont :

- des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - la quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 % ;
 - l'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium (2810°C pour du combustible neuf, décroissant de 7,6°C tous les 10 000 MWJ/t). Des critères techniques d'acceptation peuvent être retenus pour certains incidents, par exemple : la valeur restrictive de 590 W/cm est prise dans certains cas, cette valeur permettant de garantir la non fusion au centre de la pastille ;
 - en cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible ;
- la structure géométrique du cœur ne doit pas être détériorée, afin que le refroidissement du cœur puisse être convenablement assuré ;
- l'installation doit pouvoir être conduite vers un état d'arrêt sûr puis y être maintenue.

Pour les conditions de fonctionnement PCC-4 (hors cas particuliers mentionnés au [§ 2.1.5.](#)), les critères techniques d'acceptation sont :

- des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - la quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 % ;
 - la fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion ;
 - en cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible ;

- la structure géométrique du cœur ne doit pas être détériorée, afin que le refroidissement du cœur puisse être convenablement assuré ;
- l'installation doit pouvoir être conduite vers un état d'arrêt sûr puis y être maintenue.

Pour les PCC-2, PCC-3 et PCC-4, l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir § 2.1.2.). Les critères techniques d'acceptation sont les suivants :

- pour l'état contrôlé, sous-criticité vérifiée : $keff < 1$;
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Sous-criticité vérifiée : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm) ;
 - Critères liés à l'évacuation de la puissance résiduelle :
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée durablement par la mise en service du RIS-RA en mode RA ou par le maintien en service du RIS et l'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte par l'ISBP en cas d'APRP grosses brèches.
 - Pour les PCC nécessitant les générateurs de vapeur pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr (conditions de connexion du RIS-RA en mode RA), il doit être vérifié que la réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante.

2.1.5. Critères particuliers

Des critères particuliers² peuvent être appliqués pour certaines conditions de fonctionnement.

En particulier, pour les événements caractérisés par une perte d'intégrité du circuit secondaire, des critères plus restrictifs que les critères généraux associés à la catégorie de la condition de fonctionnement peuvent être appliqués par découplage dans un objectif de simplification des études.

D'autres critères particuliers sont définis dans les sous-paragraphes suivants.

2.1.5.1. Éjection de grappe (EDG)

Le maintien d'un cœur dans une géométrie refroidissable et l'absence de dommages supplémentaires de la seconde barrière (autres que ceux correspondant à l'initiateur) sont garantis par l'absence de risque de dispersion de combustible dans le réfrigérant primaire. Les critères techniques d'acceptation sont les suivants :

- pour les études « point chaud » (BU moyen assemblage ≤ 33 GWj/t) :
 - une enthalpie maximale dans la pastille (H_{max}) inférieure à 200 cal/g (837 J/g) ;
 - la fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion ;
 - une température maximale de la gaine au point chaud inférieure à 1482°C ;
- pour les études « burn-up intermédiaire » (BU moyen assemblage compris entre 33 et 47 GWj/t) :
 - une variation d'enthalpie maximale (DH) dans la pastille inférieure à 150 cal/g (628 J/g) ;
- pour les études « haut burn-up » (BU moyen assemblage ≥ 47 GWj/t) :
 - une épaisseur de ZrO₂ de la gaine inférieure à 100 μ m ;
 - une variation d'enthalpie maximale dans la pastille (DH) inférieure à 57 cal/g (239 J/g) ;

2. Les Directives Techniques introduisent certains critères techniques d'acceptation.

- une largeur du pulse de puissance locale dans le crayon à mi-hauteur supérieure à 30 ms ;
- une température maximale de gaine inférieure à 700°C.

En plus de ces limites, le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition (NCE) doit rester inférieur à 10% sur tout le cœur quel que soit le taux de combustion. Cette restriction sur le NCE, fondée sur l'hypothèse qu'un crayon entrant en crise d'ébullition est rompu, constitue un découplage permettant d'évaluer les rejets radiologiques potentiels en cas d'accident d'éjection de grappe.

2.1.5.2. Accident de perte de réfrigérant primaire (APRP)

Pour les APRP PCC-3 et PCC-4, les critères techniques d'acceptation sont les suivants :

- des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1200°C ;
 - l'oxydation maximale locale de la gaine doit rester inférieure à 17% de l'épaisseur de gaine ;
- la structure géométrique du cœur ne doit pas être détériorée, afin que le refroidissement du cœur puisse être convenablement assuré (la vérification du comportement des internes de cuve en cas d'APRP est traitée en section 3.6.1.3) ;
- le refroidissement à long terme du cœur doit être assuré en garantissant l'absence de cristallisation du bore dans le cœur et en tenant compte du phénomène de dilution hétérogène inhérente ;
- le circuit primaire ne subit pas de dommage supplémentaire (la vérification du comportement du circuit primaire en cas d'APRP est traitée en section 3.6.1.3) ;
- l'intégrité de l'enceinte doit être assurée :
 - la vérification de la pression maximale dans l'enceinte est traitée au paragraphe 3 de la section 6.2.1 ;
 - la génération maximale d'hydrogène doit rester inférieure à 1% de la quantité qui serait générée si la totalité du zirconium des gaines en regard de la hauteur active s'était oxydée ;

2.1.5.3. Rupture de tube de générateur de vapeur (RTGV)

Pour les RTGV PCC-3 et PCC-4, les critères techniques d'acceptation sont :

- les gaines des assemblages combustibles doivent rester intactes ;
- les soupapes de sûreté du GV affectées ne doivent pas être sollicitées au cours du transitoire. Le risque de bloquer l'une de ces soupapes en position ouverte est ainsi évité ;

2.1.5.4. Retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle (RIGZ)

Pour l'étude RIGZ, la tenue mécanique des gaines des crayons combustibles doit être démontrée. □

2.1.5.5. PCC-2 à PCC-4 intervenant en états d'arrêt

Pour des événements PCC intervenant en arrêt à froid, l'état initial des différentes barrières peut être différent de celui du fonctionnement en puissance. Par exemple, l'enceinte de confinement ou le circuit primaire peuvent être ouverts. Les critères de sûreté et les critères techniques d'acceptation relatifs à l'intégrité des barrières seront adaptés en conséquence (voir sections concernées). Les critères applicables aux situations susceptibles de générer un accident de criticité dans les états d'arrêt lorsque la cuve du réacteur est ouverte, sont les suivants :

- pour les situations comportant un moyen de détection de l'événement, le délai considéré pour la mise en œuvre d'actions doit permettre de garantir la sous-criticité du cœur à tout instant ;
- pour les situations sans moyen de détection, la marge sur le keff est d'au moins 2000 pcm vis-à-vis de la sous-criticité du cœur.

Pour les événements PCC associés à une augmentation de la réactivité dans les états d'arrêt « cuve fermé », le respect des critères de sûreté relatifs à l'intégrité des barrières de confinement doit être vérifié, en particulier l'intégrité de la première barrière.

2.2. MÉTHODOLOGIES D'ÉTUDES

Une étude PCC doit démontrer que les critères techniques d'acceptation sont respectés avec un niveau de confiance élevé. Lorsque l'incertitude sur le résultat est quantifiée, le niveau de confiance doit au moins être égal à 95%. Lorsque les méthodologies ne permettent pas de quantifier l'incertitude sur les grandeurs cibles, un niveau de confiance élevé est assuré par la prise en compte de pénalités sur les grandeurs concernées.

Une méthodologie peut être définie comme un ensemble de procédures (ou de règles) d'utilisation des moyens de calcul à mettre en œuvre pour garantir le conservatisme des résultats.

La méthodologie doit utiliser des outils de calcul scientifique qualifiés pour les phénomènes physiques à étudier et pour le domaine d'application visé.

L'élaboration d'une méthodologie est traitée en plusieurs étapes :

- définition du scénario du transitoire, incident ou accident ;
- identification des phénomènes physiques dominants et justification de l'adéquation des outils de calcul scientifique et des choix de modélisation retenus pour simuler ces phénomènes ;
- identification des paramètres dominants et application d'incertitudes et de pénalités dans les calculs.

Les incertitudes portant sur les données calculées ou mesurées doivent être prises en compte :

- soit de manière déterministe (chaque paramètre dominant considéré en entrée de la méthodologie ou issu de calculs intermédiaires est considéré à sa valeur pénalisée, incertitude comprise) ;
- soit de manière statistique (les incertitudes sur plusieurs paramètres sont cumulées statistiquement).

Des pénalités peuvent être appliquées afin de tenir compte de certains phénomènes physiques non modélisés explicitement dans les études.

Des provisions peuvent être appliquées afin de couvrir la variabilité prévisible des plans de chargement du combustible susceptibles d'être retenus en exploitation et les aléas de gestion du combustible.

2.3. CONDITIONS INITIALES

Les conditions initiales pour les études PCC correspondent à un fonctionnement en régime établi. Le régime établi correspond à l'état de la tranche stationnaire, avec tous les matériels, systèmes et régulations fonctionnant normalement, en conformité avec les procédures de conduite normale. Pour chaque domaine d'étude le régime établi le plus pénalisant vis-à-vis des critères de sûreté à respecter pour l'ensemble du transitoire est considéré. Chacun des paramètres cibles relatifs aux critères à vérifier est pénalisé en considérant, le cas échéant, plusieurs états initiaux pour un même événement initiateur.

La définition des PCC implique la définition du domaine d'étude à considérer. Les domaines d'étude sont décrits dans la section relative au domaine couvert (voir [§ 1.](#)).

Dans un domaine d'étude donné, les conditions sont choisies pénalisantes vis-à-vis du respect des critères d'acceptation PCC, par exemple, fonctionnement à pleine puissance pour l'APRP en état A (fonctionnement en puissance), ou la pression primaire maximale du domaine de fonctionnement pour l'APRP en état C (fonctionnement ISBP en mode RA).

Les paramètres physiques (notamment les paramètres neutroniques) se situent dans les limites des régulations de la tranche ou des conditions limites de fonctionnement. On considère une combinaison pénalisante des paramètres incluant incertitudes, bandes mortes et temps de réponse. Pour chaque événement PCC, le cas le plus pénalisant est présenté.

La liste des événements PCC couvre toutes les conditions de fonctionnement de la tranche, y compris les états à l'arrêt, comme conditions initiales potentielles des transitoires, incidents et accidents de référence.

2.4. PRISE EN COMPTE DES ACTIONS OPÉRATEUR

Les principes de conduite incidentelle et accidentelle sont détaillés dans le sous-chapitre 13.3 du Rapport de Sûreté.

□

2.5. PRISE EN COMPTE DES SYSTÈMES MÉCANIQUES, ÉLECTRIQUES ET DE CONTRÔLE-COMMANDE

Le concept de classement de sûreté et la dénomination correspondante sont définis dans le sous-chapitre relatif au Classement des Ouvrages, Matériels et Systèmes (voir sous-chapitre 3.2).

Dans les études PCC, on établit une distinction entre deux types de systèmes :

- les systèmes F1, comprenant les systèmes F1A et F1B ;
- les systèmes non-F1, comprenant les systèmes F2 et NC.

Systèmes F1

Les systèmes classés F1 peuvent être utilisés dans les études PCC.

Dans les études PCC, les performances des systèmes F1 considérés sont conservatives, c'est-à-dire que l'efficacité de ces systèmes est pénalisée par la prise en compte :

- des incertitudes sur les caractéristiques des équipements ;
- des incertitudes sur les points de consigne ;
- des conditions d'environnement les plus pénalisantes, etc.

Les études PCC montreront que :

- l'état contrôlé peut être atteint en s'appuyant uniquement sur des systèmes F1A (l'utilisation exceptionnelle de systèmes F1B peut être acceptée suivant les conditions précisées à la section 3.2.1) ;
- le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr peut se faire en s'appuyant uniquement sur des systèmes F1A et/ou F1B (l'utilisation exceptionnelle de systèmes non-F1 peut être acceptée suivant les conditions précisées à la section 3.2.1).

Systèmes non F1

Les principes suivants s'appliquent aux systèmes F2 et NC utilisés dans les études PCC :

- un système F2 ou NC dont l'activation au cours du transitoire conduirait à une action bénéfique vis-à-vis des critères de sûreté ne doit pas être pris en compte ;
- il convient de prendre en compte un système F2 ou NC dont le fonctionnement attendu est pénalisant sur le déroulement complet du transitoire ;
- si le transitoire n'a pas d'impact sur les performances d'un système F2 ou NC (pas de changement d'état, pas de changement des conditions de fonctionnement et d'environnement), et si le système est en service avant le déclenchement de l'initiateur, le système est supposé continuer à fonctionner normalement ; aucun ordre intempestif venant du contrôle-commande ne doit être supposé dans ces conditions.
Exemple 1 : en l'absence de manque de tension externe (MDTE), les GMPP ainsi que l'injection aux joints des GMPP sont supposés fonctionner normalement.
Exemple 2 : en situation de RTGV, la régulation de niveau GV, non classée F1 et non impactée par l'événement initiateur, est supposée continuer à fonctionner correctement jusqu'à l'isolement de l'ARE classé F1. En particulier, elle ne génère pas d'ordre intempestif entraînant une ouverture ou une fermeture complète des vannes de l'ARE.
- un système F2 ou NC est supposé fonctionner correctement lorsqu'il est pris en compte. Tout fonctionnement intempestif ou erratique est exclu ;
- les vannes de déclenchement turbine ne sont pas classées F1 mais elles sont supposées se fermer normalement après un Arrêt Automatique du Réacteur ; ceci est justifié par la robustesse de leur conception ainsi que par la surveillance en exploitation. Le découplage de l'alternateur après le déclenchement de la turbine est également supposé se passer normalement.
- pour l'atteinte et le maintien de l'état d'arrêt sûr, des exceptions très limitées peuvent être acceptées pour l'utilisation d'équipements non-F1 favorables pour le transitoire si des exigences appropriées sont appliquées à ces équipements ;
- l'absence d'effet falaise quand ces équipements non-F1 ne sont pas pris en compte dans la démonstration de sûreté doit être démontrée.

2.6. PRISE EN COMPTE D'UN AGGRAVANT

Pour les études PCC, un aggravant doit être pris en compte : c'est une défaillance unique, active ou passive, indépendante de l'événement initiateur postulé, qui affecte tout ou partie d'un équipement utilisé pour ses effets bénéfiques sur le transitoire étudié. Ceci s'applique aux équipements nécessitant un changement d'état pour assurer leur fonction.

Pour l'étude de chaque PCC, on retient un seul aggravant (défaillance unique active ou défaillance unique passive), qui doit être le plus pénalisant vis-à-vis du (des) critère(s) de sûreté à respecter. L'aggravant (défaillance unique) est appliqué selon les mêmes dispositions que le Critère de Défaillance Unique pour la conception des systèmes (voir section 3.1.1), tout en tenant compte des éléments suivants :

- en ce qui concerne la défaillance unique passive, on doit vérifier dans l'étude PCC qu'une défaillance unique sous la forme d'une fuite où que ce soit dans l'enveloppe sous pression et les défaillances qui en découlent ne remettent pas en cause l'accomplissement de la fonction de sûreté ;
- le débit de fuite est pris conventionnellement à une valeur de 200 L/min. Si la fuite ne peut pas être détectée ou isolée, elle est considérée comme susceptible de se développer jusqu'à un débit correspondant à une rupture complète de la tuyauterie.

De plus :

- la défaillance unique peut être postulée sur une partie quelconque des systèmes nécessaires à la réalisation de la fonction de sûreté ;
- les défaillances qui découlent de l'aggravant sont considérées comme faisant partie de l'aggravant ;

- si nécessaire, des études de sensibilité sont réalisées pour un événement PCC donné avec application de la défaillance unique à différents composants afin de déterminer la défaillance unique la plus pénalisante vis-à-vis des critères de sûreté ;
- la défaillance unique active est considérée dès le début de l'étude ;
- la défaillance unique passive est considérée au-delà d'un délai de 24 heures ;
- toute exception au principe de prise en compte d'un aggravant est indiquée et doit être justifiée ;
- une grappe coincée est considérée comme un aggravant ;
- l'ouverture intempestive d'une soupape de sûreté est considérée comme un événement initiateur, et non comme un aggravant ;
- la non-fermeture d'une soupape de sûreté VVP après sa sollicitation est considérée comme un aggravant ;
- les défaillances suivantes sont exclues lors de l'application de l'aggravant unique :
 - la défaillance à l'ouverture des clapets des accumulateurs ;
Ces clapets à battant sont conçus avec une grande fiabilité intrinsèque qui leur confère un risque très faible de défaillance à l'ouverture. Selon la Règle Fondamentale de Sûreté (RFS) n° I.3.a relative à l'utilisation du critère de défaillance unique dans l'analyse de sûreté des REP, dont les principes s'appliquent à l'EPR, « pour les clapets [...] le refus d'ouverture d'un clapet simple (par exemple, clapet simple à battant) n'est pas une défaillance à prendre en compte dans l'application du critère de défaillance unique ». De plus, les clapets qui équipent les lignes d'injection des accumulateurs RIS de l'EPR FA3 sont des clapets à battant d'une technologie identique à ceux qui équipent les fonctions équivalentes du palier N4, pour lesquels aucun cas de blocage n'a été identifié en exploitation.
 - la défaillance à la fermeture des vannes d'isolement des accumulateurs RIS ;
La mise en place d'interconnexions électriques post-accidentelles permet de pallier à une défaillance électrique ; seule la défaillance mécanique (absence de redondance des vannes) conduit à une non-fermeture de ces vannes. Les robinets assurant la fonction d'isolement des accumulateurs RIS sont des vannes motorisées véhiculant de l'eau borée, qui relèvent d'une bonne fiabilité.
Cette fiabilité est assurée au travers des exigences de classement, de la qualification aux conditions de fonctionnement du matériel, et de la définition du programme de maintenance préventive établi de façon à maintenir la robustesse de l'équipement durant la durée de vie de la tranche. Ce programme prévoit notamment des essais de manoeuvrabilité à chaque cycle et un enregistrement des paramètres électriques à chaque manoeuvre, dont le traitement permet une détection anticipée des éventuelles dégradations.
Par ailleurs, la prise en compte d'un aggravant sur la fermeture d'une vanne de pied d'accumulateur n'engendre pas d'effet falaise sur les études d'accidents. En effet, pour les transitoires PCC qui nécessitent une réserve d'eau suffisante des bâches ASG pour rejoindre l'état d'arrêt sûr, l'aggravant pris en compte couvre le cas de l'aggravant consistant en une non-fermeture d'une vanne de pied d'accumulateur.
Pour les cas d'APRP ■ pour lesquels la défaillance de la vanne aux pieds des accumulateurs pourrait entraîner l'injection dans le primaire d'azote en provenance de ces accumulateurs, il est démontré que la dégradation de l'échange au niveau des GV ne remet pas en cause l'atteinte de l'état sûr.
 - la défaillance à la fermeture d'une vanne d'isolement des tuyauteries de vapeur principale en cas de rupture d'un ou plusieurs tubes de générateurs de vapeur ;
La description des vannes d'isolement vapeur est précisée au sous-chapitre 10.3. Il s'agit de robinet à actionneur oléopneumatique (chambre supérieure de l'actionneur remplie d'azote sous pression et chambre inférieure remplie d'huile). La conception de ces vannes via la redondance des deux lignes de commande et une fermeture de type « passif » de la vanne leur confère une grande fiabilité à la fermeture. Ces vannes sont du même type que celles installées sur les paliers N4 et P4 du parc en exploitation, pour lesquels il n'a pas été rencontré de blocage mécanique tel que la vanne ne puisse se fermer via un deuxième essai de fermeture ou une intervention rapide en local. Par ailleurs, la défaillance à la fermeture de ces vannes en cas de RTGV fait l'objet de l'étude RRC-A du sous-chapitre 19.1.3Fsl1.
 - la non re-fermeture d'une soupape de sûreté du pressuriseur après sa sollicitation.

La description des soupapes de sûreté est précisée à la section 5.4.7. Il s'agit de soupapes pilotées de type SEMPELL [] (de type « à pression sur le clapet »), munie chacune de deux pilotes « chauds » à ressort [] et d'un pilote solénoïde [] (ce pilote se compose de deux robinets solénoïdes en série).

La technologie de la soupape SEMPELL [] est une technologie éprouvée sur de nombreuses tranches en exploitation, dont les réacteurs de type Konvoi. Le retour d'expérience sur les soupapes de sûreté SEMPELL [] avec un autre pilote à ressort [] montre qu'aucune défaillance à la fermeture n'est directement imputable à la soupape SEMPELL [].

En outre, la conception du pilote « chaud » à ressort [] a pris en compte ce retour d'expérience afin d'améliorer la conception de ce type de pilote à ressort. Ce pilote a fait l'objet d'un programme de validation approfondi complété par un programme de qualification et des essais de robustesse [] afin de démontrer la fiabilité de ce pilote.

Un programme de maintenance préventive de ces soupapes a été mis au point de façon à maintenir la robustesse de l'équipement durant 60 ans et à garantir sa fiabilité. Ce programme prévoit notamment des inspections visuelles et des essais de manœuvrabilité des soupapes à chaque cycle.

Par ailleurs, une AMDEC a été réalisée de façon à identifier les modes de défaillance les plus critiques et à s'assurer que des moyens adaptés permettent de prévenir et/ou de détecter les modes de défaillances les plus critiques.

L'ensemble de ces éléments concourent à démontrer la fiabilité élevée de la soupape et des pilotes « chauds » à ressort [] à l'ouverture et à la fermeture.

Cette fiabilité élevée à laquelle s'ajoute une faible fréquence de sollicitation attendue des soupapes, compte tenu des dispositions de conception de l'EPR (e.g. écart accru entre la pression de consigne du primaire et le point de tarage des soupapes, volume vapeur accru du pressuriseur, fonctions de limitations automatiques vis-à-vis de la pression primaire) conduisent à rendre peu probable une défaillance à la fermeture d'une soupape après sollicitation. Enfin, il est démontré que le blocage ouvert d'une soupape suite à sa sollicitation lors d'un événement PCC ne conduirait pas à des conséquences inacceptables.

2.7. PRISE EN COMPTE DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Maintenance préventive pendant le fonctionnement en puissance

Pendant la maintenance préventive, l'équipement est considéré comme indisponible.

Si la nature de la maintenance préventive est telle que le système peut être rendu opérationnel à court terme (de sorte que la fonction de sûreté nécessaire peut être assurée en cas de demande), le système est considéré comme disponible. Ceci concerne par exemple les opérations de maintenance légère telles qu'une vidange d'huile, un remplacement de filtre pour certains systèmes supports.

Si la maintenance préventive d'un système de sûreté F1 est prévue pendant le fonctionnement en puissance, dans les études de sûreté, un train est supposé hors service pour maintenance préventive.

Maintenance préventive pendant les états d'arrêt

Si la maintenance préventive d'un système de sûreté F1 est prévue dans les états d'arrêt, on supposera dans les études de sûreté qu'un ou plusieurs trains sont hors service pour maintenance préventive, en conformité avec le planning de maintenance préventive à l'arrêt.

2.8. PRISE EN COMPTE DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

La pratique actuelle du cumul MDTE dans les études PCC correspond à une prise en compte conventionnelle et enveloppe des effets d'un séisme vu comme initiateur possible de ces PCC (en effet, l'analyse est proposée même lorsque l'initiateur étudié résulte de la défaillance d'un équipement classé au séisme). Le MDTE, survenant par perte du réseau extérieur, est alors considéré comme une conséquence du séisme a priori simultanée à l'initiateur PCC. Il a été admis que ce MDTE pouvait être légèrement différé et que le cas le plus pénalisant serait présenté dans l'étude. La démarche qui conduit à considérer le plus pénalisant des trois instants MDTE est la suivante :

- la prise en compte à $t=AAR$ et/ou $t=IS$ permet de maximiser l'impact sur la mise en œuvre des systèmes de protection ou de sauvegarde ;
- la prise en compte à $t=0$ permet de maximiser l'impact sur la réduction du débit primaire dû à la perte d'alimentation des GMPP.

Pour les études PCC présentées dans le Rapport de Sûreté, deux cas différents (avec ou sans cumul du MDTE) sont considérés pour chaque PCC.

Les PCC-2 sont étudiés dans un premier temps sans cumul du MDTE (avec les règles et critères généraux décrits dans les paragraphes précédents), puis avec cumul MDTE (selon les règles spécifiques mentionnées ci-dessous). Ces deux études sont systématiquement présentées dans le Rapport de Sûreté.

Les PCC-3 et 4 (sauf ceux initiés par des actions humaines) sont analysés avec ou sans cumul du MDTE. En PCC-3, suivant le critère technique d'acceptation étudié, le cas le plus pénalisant ou les deux cas avec et sans cumul du MDTE sont présentés dans le Rapport de Sûreté. En PCC-4, seul le cas le plus pénalisant est explicité dans le Rapport de Sûreté.

Les cas avec cumul du MDTE sont étudiés selon les règles spécifiques suivantes :

- pour tous les états initiaux :
 - seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté ;
 - les critères de sûreté à respecter sont ceux de la catégorie PCC-4 ;
- pour les événements PCC survenant en puissance et concernant le cœur du réacteur :
 - le MDTE est postulé à l'instant le plus pénalisant : événement initiateur, arrêt automatique du réacteur ou signal d'injection de sécurité ;
 - un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré ;
- pour les événements PCC intervenant dans les états d'arrêt, ou qui ne concernent pas le cœur du réacteur, le MDTE est postulé à l'événement initiateur.

3. RÈGLES D'ÉTUDES SPÉCIFIQUES AUX ÉVÉNEMENTS PCC LIÉS À LA PISCINE DE DÉSACTIVATION

Des règles d'étude légèrement différentes des règles d'analyse spécifiées pour les autres événements PCC sont définies pour les événements relatifs à la piscine de désactivation. En effet, pour cette partie de l'installation, les phénomènes physiques mis en jeu sont différents (absence de pression, évolution très lente des paramètres physiques par rapport aux transitoires dans le circuit primaire...).

3.1. CRITÈRES D'ACCEPTATION

Les critères de sûreté pour les PCC-2 à 4 relatifs à la piscine BK sont :

- le maintien permanent de la sous-criticité,
- l'absence de découplage des assemblages de combustible.

Pour les PCC hors vidange accidentelle de la piscine de désactivation, un critère complémentaire est le maintien d'une marge significative vis-à-vis de l'ébullition de l'eau de la piscine. On retient comme découplage que la température de l'eau des piscines doit être maintenue inférieure à 80 °C.

Pour les PCC correspondant à la vidange accidentelle de la piscine, un critère complémentaire est le maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau de la piscine. On retient comme découplage que la température finale de l'eau des piscines doit être inférieure à 80 °C, avec le cas

échéant possibilité d'incursion limitée, en amplitude et en durée, au-delà de 80 °C, sans toutefois atteindre 100 °C.

Ces critères s'appliquent également à la piscine du bâtiment réacteur.

3.2. ÉTATS PHYSIQUES

L'état contrôlé est caractérisé par :

- le combustible en piscine est sous-critique
- l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme. Pour les initiateurs de perte de refroidissement, compte tenu des délais de grâce importants avant un éventuel découverture du combustible, l'état contrôlé est considéré comme atteint dès l'instant initial. Pour les initiateurs de vidange, l'état contrôlé correspond à un inventaire en eau stabilisé, sans dénoyage d'un élément combustible.
- les rejets radioactifs restent tolérables

L'état sûr est caractérisé par :

- le combustible en piscine est sous-critique
- l'évacuation durable de la puissance résiduelle du combustible en boucle fermée est assurée, avec une marge significative vis-à-vis de l'ébullition de l'eau de la piscine (température inférieure à 80 °C).
- les rejets radioactifs restent tolérables

Pour chaque PCC, l'analyse de sûreté doit être réalisée jusqu'à la démonstration que l'état sûr peut être atteint.

3.3. CONDITIONS INITIALES

Les conditions initiales pour l'analyse des transitoires correspondent à un régime établi.

Trois conditions initiales de fonctionnement de la centrale sont considérées dans les études des événements PCC relatifs à la piscine de désactivation : "Début De Cycle (DDC)", "Fin Du Cycle (FDC)" et "Rechargement".

Elles sont caractérisées comme suit :

- « Rechargement » : après le déchargement complet du cœur, la piscine est supposée être remplie d'éléments combustibles : assemblages combustibles usés à peine déchargés, assemblages combustibles neufs (pour le cycle suivant), et assemblages combustibles déchargés à l'issue des cycles précédents.

Nota : A la fin du dernier cycle, la piscine de désactivation peut être remplie d'éléments combustibles usés.

- « DDC » : le contenu de la piscine de désactivation équivaut à la différence entre le contenu de l'état « rechargement » et le contenu du cœur à peine rechargé en réacteur pour le cycle suivant,
- « FDC » : le contenu de la piscine de désactivation est identique à celui de la condition « DDC », à la différence près que la puissance résiduelle à prendre en considération est calculée au moment où la maintenance préventive commence à être mise en œuvre (voir [§ 3.7.](#)),

Par souci de conservatisme, le calcul de la température atteinte dans la piscine en fin de transitoire est effectué en prenant en compte des incertitudes sur la puissance résiduelle.

3.4. PRISE EN COMPTE DES ACTIONS OPÉRATEUR

Dans les études PCC, une action manuelle depuis la Salle de Commande peut être prise en compte, au plus tôt 30 minutes après que la première information significative a été transmise à l'opérateur. Une action manuelle locale, c'est-à-dire une action manuelle qui doit être effectuée à l'extérieur de la Salle de Commande, peut être prise en compte au plus tôt 1 heure après la première information significative.

Compte tenu de la présence en local du personnel d'exploitation avant l'initiateur, la durée forfaitaire retenue pour la mise en position sûre de l'assemblage combustible en cours de manutention est de 30 minutes. En outre, le temps de réparation pour un équipement défaillant peut être introduit dans l'analyse de sûreté.

3.5. PRISE EN COMPTE DES SYSTÈMES MÉCANIQUES, ÉLECTRIQUES ET DE CONTRÔLE-COMMANDE

Les deux trains principaux du PTR sont classés F1B. Les règles générales des études PCC spécifient que l'analyse de sûreté des événements PCC doit reposer uniquement sur l'utilisation des systèmes F1.

Néanmoins, en raison de la spécificité de la piscine de désactivation (inertie thermique, pression faible...), quelques exceptions peuvent être introduites dans cette règle pour la mitigation d'un nombre limité d'événements PCC particuliers. Pour ces événements, les systèmes F2 ayant des effets bénéfiques peuvent être utilisés dans l'analyse de sûreté. L'utilisation de ces systèmes F2 doit être justifiée précisément et des exigences adéquates doivent être définies pour l'équipement concerné.

3.6. PRISE EN COMPTE D'UN AGGRAVANT

Pour l'analyse des événements PCC relatifs aux piscines, l'aggravant à prendre en compte est compris comme toute défaillance unique active, telle que définie dans le § 2.6., indépendante de l'événement initiateur envisagé, affectant tout ou partie d'un équipement utilisé dans le transitoire analysé.

En raison de la spécificité du refroidissement de l'eau des piscines (pression faible, programme de visite en service...), aucune défaillance passive n'est considérée sur le PTR lui-même dans l'analyse de sûreté des événements PCC liés à la piscine de désactivation.

3.7. PRISE EN COMPTE DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Si la maintenance préventive d'un système de sûreté F1 est prévue dans les états d'arrêt, on supposera dans les études de sûreté qu'un ou plusieurs trains sont hors service pour maintenance préventive, en conformité avec le planning de maintenance préventive à l'arrêt.

La maintenance préventive du PTR est programmée lorsque le délai de grâce avant l'ébullition dans la piscine de désactivation, qui dépend à la fois de la puissance résiduelle et de la température de la source froide, est long.

Dans les études PCC, la maintenance préventive est supposée être exécutée à la fin du cycle (FDC), lorsque la puissance résiduelle dans la piscine de désactivation est la plus basse, mais en considérant une température de source froide conservatrice (élevée).

En pratique, une puissance résiduelle supérieure peut être parfaitement compensée par une température de source froide inférieure, de manière à ce que la maintenance préventive du PTR puisse être programmée plus tôt dans le cycle.

Pendant les arrêts pour rechargement, il n'y a pas de maintenance préventive sur le PTR mais elle peut être effectuée sur les systèmes support. Des dispositions adéquates doivent être mises en œuvre sur les systèmes support afin de maintenir la séparation des voies.

Les Essais Périodiques (EP) sont supposés être effectués pendant le fonctionnement en puissance dans le cadre du basculement d'un train PTR sur l'autre train PTR. En conséquence, les EP n'ont aucun impact sur les études d'accidents.

3.8. PRISE EN COMPTE DU MANQUE DE TENSION EXTERNE (MDTE)

Le MDTE doit être cumulé, lorsque cela est pénalisant, à tous les événements PCC-2 à PCC-4. Pour le cas spécifique du refroidissement de l'eau des piscines, le cumul du MDTE est considéré à l'instant de l'apparition de l'événement initiateur.

Certaines règles spécifiques sont appliquées à ces études :

- les équipements F1 et F2 peuvent être utilisés pour la démonstration de sûreté, sous réserve d'être classés sismiques,
- vis-à-vis du refroidissement, le critère de découplage à vérifier est l'atteinte d'une température finale de l'eau des piscines inférieure à 80 °C, avec le cas échéant possibilité d'incursion limitée, en amplitude et en durée, au delà de 80 °C, sans toutefois atteindre 100 °C.
- aucun aggravant n'est appliqué, sauf si l'initiateur peut résulter de la défaillance d'un composant non classé sismique (dans le cas contraire, le MDTE lui-même est considéré comme un aggravant indépendant de l'événement initiateur).



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 0

PAGE 24/26

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Note D305913012728 : Justification de la liste des conditions de fonctionnement de référence (PCC)

[2] Note ENSNDR/07-0072 A : EPR – justification des initiateurs de vidange de la piscine BK retenus dans la liste des conditions de fonctionnement de référence (PCC).



TAB-15.0.1 DOMAINES D'ÉTUDES

□

TAB-15.0.2 SOUS-ÉTATS DES DOMAINES D'ÉTUDES

□

SOMMAIRE

.15.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE PRISES EN COMPTE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS	5
1. DONNÉES GÉOMÉTRIQUES DE LA TRANCHE	5
2. MODE D'EXPLOITATION	5
3. CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE	5
4. COEFFICIENTS DE RÉACTIVITÉ	7
5. FISSION ET PUISSANCE RÉSIDUELLES APRÈS L'ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR (AAR)	7
6. CHAINES DE PROTECTION	8
6.1. CHAINES DE PROTECTIONS NUCLÉAIRES	9
6.2. CHAÎNE DE PROTECTION BAS RFTC	10
6.3. CHAÎNE DE PROTECTION NOMBRE ÉLEVÉ DE COLLECTRONS DÉFAILLANTS	11
6.4. CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE LINÉIQUE ÉLEVÉE	11
6.5. CHAÎNE DE PROTECTION INTERACTION PASTILLE GAINE	11
6.6. CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE THERMIQUE ÉLEVÉE	11
6.7. CHAÎNE DE PROTECTION BAS ET TRÈS BAS DÉBIT BOUCLE	11
6.8. CHAÎNE DE PROTECTION BASSE VITESSE GMPP	12
6.9. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT (PAS DE GMPP EN SERVICE)	12
6.10. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT STANDARD	12
6.11. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION EN PUISSANCE	13
6.12. CHAINES DE PROTECTION CONTRE LES VARIATIONS ANORMALES DE PRESSION ET DE NIVEAU DANS LE PRESSURISEUR	13
6.13. CHAINES DE PROTECTION CONTRE LES DÉFAUTS D'ALIMENTATION DES GV	14
6.14. MISE EN SERVICE DES SYSTÈMES DE SAUVEGARDE	14
6.15. PROTECTIONS RELATIVES À LA PRESSION ENCEINTE	18
6.16. PROTECTIONS RELATIVES AU NIVEAU PISCINE BK	19

6.17. MODIFICATION DES SEUILS DE PROTECTION EN PROLONGATION DE CYCLE	19
7. FONCTIONS LCO	19
7.1. LCO CŒUR	19
7.2. LCO P/S	21
8. PERMISSIFS	23
9. CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DE SÛRETÉ	23
9.1. SYSTEMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F1A CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT	24
9.2. SYSTEMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F1B CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT	27
9.3. SYSTÈMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F2 CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT	30
10. CODES DE CALCUL UTILISÉS	31
11. APPROCHE UTILISÉE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS CONCERNANT LE RAPPORT DE FLUX THERMIQUE CRITIQUE (RFTC)	31
12. DÉMARCHE DE PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT DES FLUCTUATIONS DE FLUX NEUTRONIQUE DANS LA DEMONSTRATION DE SÛRETÉ	33
LISTE DES RÉFÉRENCES.	34

TABLEAUX :

TAB-15.1.1	PRINCIPALES DONNÉES GÉOMÉTRIQUES	35
TAB-15.1.2	CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE INCERTITUDES MAXIMALES EN ÉTAT PERMANENT EN CYCLE NATUREL	36
TAB-15.1.3	CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE.....	38
TAB-15.1.4	COEFFICIENT DE RÉACTIVITÉ	40
TAB-15.1.5	CONCENTRATION EN BORE DANS LE CIRCUIT PRIMAIRE	41
TAB-15.1.6	PUISSANCE RÉSIDUELLE (TERME B+C).....	42
TAB-15.1.7	PUISSANCE RÉSIDUELLE (TERME A+B+C) (%PN).....	45
TAB-15.1.8	CARACTÉRISTIQUES DE LA CHUTE DES GRAPPES (ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR).....	47
TAB-15.1.9	ANTIRÉACTIVITÉ APPORTÉE PAR L'AAR	48
TAB-15.1.10	INSERTIONS LIMITES DES GROUPES DE CONTRÔLE.....	49
TAB-15.1.11	CHAÎNES DE PROTECTION RELATIVES AU CŒUR.....	59
TAB-15.1.12	CHAÎNES DE PROTECTION RELATIVES AUX CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	63
TAB-15.1.13	DÉMARRAGE DU SYSTÈME D'INJECTION DE SÉCURITÉ	67
TAB-15.1.14	MISE EN SERVICE DU SYSTÈME D'ISOLEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE	68
TAB-15.1.15	MISE EN SERVICE DU SYSTÈME D'ISOLEMENT DES LIGNES VAPEUR	70
TAB-15.1.16	MISE EN SERVICE ET ISOLEMENT DU SYSTÈME D'ALIMENTATION DE SECOURS DES GV.....	71
TAB-15.1.17	AUTRES SIGNAUX	72
TAB-15.1.18	ACTIONS DES CHAÎNES DE PROTECTION	81
TAB-15.1.19	DÉLAIS DES ACTIONS DE PROTECTION	85
TAB-15.1.20	INCERTITUDES POUR LES SEUILS DE PROTECTION SUR NIVEAU GV GAMME ÉTROITE	86
TAB-15.1.21	INCERTITUDES POUR LES SEUILS DE PROTECTION SUR NIVEAU GV GAMME LARGE	87
TAB-15.1.22	FONCTIONS LCO	88
TAB-15.1.23	PERMISSIFS	89

TAB-15.1.24	CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ISMP)	94
TAB-15.1.25	CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ISBP).....	95
TAB-15.1.26	CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ACCU)	96
TAB-15.1.27	CARACTÉRISTIQUES DU RIS (IRWST)	97
TAB-15.1.28	CARACTÉRISTIQUES DE L'ASG	98
TAB-15.1.29	CONTOURNEMENT VIV.....	99
TAB-15.1.30	CARACTÉRISTIQUES DES VDA	100
TAB-15.1.31	CARACTÉRISTIQUES DES SOUPAPES SÛRETÉ GV.....	101
TAB-15.1.32	CARACTÉRISTIQUES DU RBS.....	102
TAB-15.1.33	CARACTÉRISTIQUES DES SOUPAPES DE SURETÉ DU PZR ET DU RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR	103
TAB-15.1.34	CARACTÉRISTIQUES DU PTR	104
TAB-15.1.35	CARACTÉRISTIQUES DU JPI	105
TAB-15.1.36	CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES NON-F1	106
TAB-15.1.37	PUISSANCE RÉSIDUELLE DANS LA PISCINE DE STOCKAGE.....	108
TAB-15.1.38	CARACTÉRISTIQUES DU RIS EN MODE RA, DU RRI ET DU SEC	109
TAB-15.1.39	CARACTERISTIQUES DES PISCINES BR ET BK	110

FIGURES :

FIG-15.1.1	SCHÉMA DU GV.....	111
FIG-15.1.2	SCHÉMA DU PRESSURISEUR.....	112
FIG-15.1.3	PRINCIPE DE CHUTE DE PRESSION DU GV.....	113
FIG-15.1.4	PRINCIPAUX SYSTÈMES FLUIDES F1A (SCHÉMA FONCTIONNEL SIMPLIFIÉ).....	114
FIG-15.1.5	COURBES DE FUEL CENSUS.....	115

.15.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE PRISES EN COMPTE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS

Dans ce sous-chapitre sont indiquées les caractéristiques de la tranche qui s'appliquent aux études de sûreté du chapitre 15. Les caractéristiques spécifiques à une étude de sûreté donnée sont précisées dans la section consacrée à la description de cette étude.

Les caractéristiques de la tranche prises en compte dans les études concernent :

- les données géométriques de la tranche,
- les conditions initiales de la tranche (prenant en compte les différents modes d'exploitation de la tranche),
- les coefficients de réactivité,
- la puissance résiduelle,
- les signaux d'instrumentation et de contrôle relatifs à l'Arrêt Automatique du Réacteur et au fonctionnement des systèmes de sûreté,
- les caractéristiques des systèmes de sécurité.

Ces caractéristiques sont données avec mention de leur valeur conservative (minimale ou maximale, conformément aux règles des études PCC de la section 15.0.2) et prises en compte dans les études PCC du sous-chapitre 15.2.

1. DONNÉES GÉOMÉTRIQUES DE LA TRANCHE

Le [TAB-15.1.1](#) répertorie les principales données géométriques relatives au circuit primaire et aux générateurs de vapeur pour le circuit secondaire.

Les [FIG-15.1.1](#) et [FIG-15.1.2](#) représentent les géométries du GV (générateur de vapeur) et du PZR (pressuriseur), et précisent les mesures de niveau correspondantes.

2. MODE D'EXPLOITATION

Les modèles neutroniques, les modèles thermomécaniques et les distributions de puissance utilisés pour analyser le comportement du cœur dans les diverses situations normales et accidentelles relatives aux études de sûreté représentent les modes d'exploitation suivants :

- le fonctionnement en base,
- le fonctionnement en suivi de réseau journalier avec télé réglage superposé,
- le fonctionnement prolongé à puissance réduite dans les limites données par les spécifications techniques d'exploitation,
- le fonctionnement en prolongation de cycle à hauteur de 70 JEPP,
- l'anticipation de cycle à hauteur de 30 JEPP.

3. CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE

Dans les études, on obtient les conditions initiales en ajoutant ou soustrayant (selon ce qui est pénalisant d'après les règles des études PCC) aux valeurs nominales les incertitudes maximales de l'état permanent.

L'incertitude de l'état permanent comprend l'erreur de mesure, les fluctuations du permanent, et le cas échéant, la bande morte de régulation ainsi que l'incertitude procédé en ce qui concerne le niveau dans les générateurs de vapeur.

Les valeurs nominales et les incertitudes maximales qui leurs sont associées sont définies dans le [TAB-15.1.2](#) pour tous les paramètres concernés :

- puissance cœur,
- pression pressuriseur,
- température moyenne primaire,
- niveau pressuriseur,
- niveau GV,
- masse d'eau dans les GV.

La puissance nominale du cœur retenue dans les études desûreté est de 4300 MWth.

Pour les PCC BK, des valeurs spécifiques de puissance résiduelle correspondant à une puissance 4500MWth sont utilisées. Elles sont présentées dans le [TAB-15.1.37](#).

La réponse transitoire du réacteur dépend de la distribution initiale de la puissance. La conception neutronique du cœur du réacteur permet de minimiser la distribution de puissance par l'intermédiaire des grappes de contrôle et par le respect des consignes d'exploitation.

Les répartitions de puissance les plus pénalisantes qui puissent exister en fonctionnement normal sont prises comme conditions initiales de l'évènement. Elles correspondent aux limites des seuils de la densité de puissance linéique maximale et du bas RFTC.

On considère plusieurs points de fonctionnement :

- un point de fonctionnement au débit thermohydraulique (égal au débit « best estimate » - $\square\%$), sans bouchage et sans encrassement de tube GV,
- un point de fonctionnement au débit thermohydraulique avec $\square\%$ de tubes GV bouchés et encrassés,
- un point de fonctionnement au débit mécanique (égal au débit « best estimate » + $\square\%$), sans bouchage et sans encrassement de tube GV,
- un point de fonctionnement au débit mécanique avec $\square\%$ de tubes GV bouchés et encrassés.

Le [TAB-15.1.3](#) donne la description des points de fonctionnement énoncés ci-dessus. En prolongation de cycle les paramètres de fonctionnement sont fournis à 100%PN, 90%PN, 80%PN et 70%PN.

Le mélange des débits dans la cuve du réacteur est pris en compte de la façon suivante :

Lorsqu'un mélange minimisé constitue une condition initiale pénalisante, on prend en compte un mélange réduit entre les débits boucle à l'intérieur de la cuve du réacteur, \square :

\square

Quand un important mélange des débits boucle dans la cuve du réacteur est pénalisant, un mélange parfait est pris en compte dans la cuve du réacteur : les températures des 4 quarts du cœur sont identiques et égales à la valeur moyenne.

De même, lorsque le mélange des débits boucle dans la cuve n'a pas d'impact significatif, l'hypothèse d'un mélange parfait est prise en compte.

4. COEFFICIENTS DE RÉACTIVITÉ

La réponse transitoire du réacteur dépend des effets des contre-réactions neutroniques, en particulier du coefficient de température du modérateur et du coefficient Doppler. Le chapitre 4 traite en détail de ces coefficients de réactivité et de leurs valeurs.

Dans l'étude de certains scénarios, l'approche conservative implique l'utilisation de valeurs de coefficients de réactivité maximales, alors que dans d'autres études, elle implique l'utilisation de valeurs de coefficients de réactivité minimales. Les valeurs utilisées sont indiquées dans le [TAB-15.1.4](#). □

La concentration en bore dans le circuit primaire à l'état initial (conditions de fonctionnement nominales) et la concentration en bore de l'état d'arrêt sûr sont indiquées dans le [TAB-15.1.5](#).

5. FISSION ET PUISSANCE RÉSIDUELLES APRÈS L'ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR (AAR)

Dans un cœur sous-critique, la puissance résiduelle est constituée :

- des fissions résiduelles dues aux neutrons retardés (terme A),
- de la désintégration des produits de capture U239 et Np239 (terme B),
- de la désintégration des produits de fission et des actinides à l'exception de l'U239 et du Np239 (terme C).

La puissance thermique due aux fissions résiduelles (terme A) suite à l'arrêt automatique du réacteur dépend du nombre de neutrons générés par les différentes sources de neutrons dans le cœur, comprenant :

- la désintégration des précurseurs des neutrons retardés,
- les fissions spontanées d'actinides,
- les réactions (α, n).

La puissance thermique résiduelle due à la désintégration des produits de fissions et des actinides (terme B+C) dépend de la quantité de ces produits au moment de l'AAR. Les principaux paramètres ayant une influence sur la composition nucléide du cœur sont liés au type de combustible et à la gestion du combustible :

- l'enrichissement initial du combustible,
- le nombre de lots de combustible dans le cœur,
- l'enrichissement et l'épuisement des différents lots,
- l'historique de l'épuisement (séquences d'irradiation) de chacun des lots (longueur du cycle, puissance spécifique d'irradiation).

□

Le [TAB-15.1.6](#) présente les trois évolutions de puissance résiduelle prévues et liées au terme B+C, elles sont enveloppes de l'ensemble des cycles de la première gestion retenue pour FA3.

Le terme A est fonction des caractéristiques des neutrons instantanés et des neutrons retardés et de la variation du facteur de multiplication effective K du cœur pendant et après l'AAR :

- Les paramètres cinétiques concernant les neutrons instantanés et les six groupes de neutrons retardés sont définis.

- La variation du facteur de multiplication en fonction du temps $K(t)$ dépend des caractéristiques de l'AAR (valeur de réactivité de la grappe de commande en fonction du temps, basée sur la caractéristique de descente indiquée dans le [TAB-15.1.8](#)) et des paramètres thermo-hydrauliques du cœur.

Dans la plupart des études de sûreté, le terme A est directement évalué en transitoire avec le modèle neutronique associé à la méthodologie retenue pour le cas d'étude considéré. Dans ce cas, les hypothèses utilisées et les résultats obtenus sont spécifiques à chaque cas d'étude.

Dans certaines études, le terme A est calculé au préalable avec des hypothèses enveloppes découplées de l'étude. Dans ce cas, les hypothèses utilisées et les résultats obtenus sont génériques.

□

Le terme A+B+C □ avec et sans séisme pour N et N-1 grappes chutées est présenté dans le [TAB-15.1.7](#). Les valeurs sont enveloppes de l'ensemble des cycles de la première gestion retenue pour FA3 (puissance 4300 MWth).

□

Pour les PCC BK, hors état E avec tube de transfert ouvert, des valeurs spécifiques de puissance résiduelle sont utilisées. Les hypothèses suivantes sont retenues pour caractériser la puissance résiduelle des événements PCC-2 à PCC-4 relatifs à la piscine BK :

- La puissance thermique de la chaudière nucléaire prise en compte est de 4500 MW en considérant 100% de la puissance nominale.
- La gestion combustible est du MOX.
- La totalité du cœur est déchargée à chaque déchargement.
- Toutes les alvéoles de la piscine de désactivation sont occupées.
- La puissance résiduelle est calculée en prenant en compte d'une incertitude de 1.645σ .

Par ailleurs, les études PCC BK ne considèrent pas la décroissance de la puissance résiduelle au cours du temps.

Les valeurs reprises dans les études d'accidents relatives au BK (hors état E avec tube de transfert ouvert) sont présentées dans le tableau [TAB-15.1.37](#).

Pour les études en état E avec le tube de transfert ouvert, des valeurs de puissance résiduelle à 4300MWth sont retenues et sont également présentées dans le tableau [TAB-15.1.37](#).

6. CHAINES DE PROTECTION

Les signaux de contrôle-commande pris en compte dans les études PCC concernent l'activation de l'AAR ou des systèmes classés F1 (certains signaux non classés F1 peuvent être considérés si cela est conforme aux règles d'études).□

Les signaux F1 associés aux chaînes de protections relatives au cœur qui sont utilisés dans les études PCC, sont répertoriés dans le [TAB-15.1.11](#). Ce tableau donne la logique et les permissifs associés au signal, ainsi que les points de consigne et les incertitudes associés.

Les [TAB-15.1.12](#) à [TAB-15.1.17](#) présentent les mêmes informations concernant les chaînes de protection déclenchées par les signaux F1 relatifs aux circuits primaires et secondaires.

Certains signaux non F1 apparaissent dans les [TAB-15.1.11](#) et [TAB-15.1.12](#). Ces signaux ne sont pas pris en compte pour les études PCC s'ils ont un effet bénéfique vis-à-vis des critères de sûreté. Par contre, si l'activation d'un système non F1 par le scénario considéré aggrave les conséquences

vis-à-vis des critères de sûreté, l'étude PCC est réalisée en considérant que le système fonctionne normalement.

Les caractéristiques des systèmes F1 des soupapes de sûreté du pressuriseur, du réservoir de décharge du pressuriseur et du GV, sont indiquées respectivement dans les [TAB-15.1.33](#) et [TAB-15.1.31](#).

Les listes de signaux F1 mentionnées ci-dessus n'intègrent pas les actions F1 ; celles-ci sont abordées, dans la section traitant de l'étude considérée.

Les actions sont récapitulées dans le [TAB-15.1.18](#).

Les temps apparaissant dans les tableaux correspondent aux délais de réponse globale T des chaînes I&C que ce soit pour un AAR ou une action d'un système de sauvegarde. Le délai de réponse globale des chaînes I&C $T = T_1 + T_2$ comprend un temps T_1 de réponse de la chaîne de mesure et un temps T_2 de traitement du signal du système de protection. De plus, il figure également les temps T_{action} (noté T_{AAR} dans le cas d'un arrêt automatique du réacteur) incluant la durée de manœuvre des actionneurs comme par exemple la chute des grappes (dans le cas d'un arrêt automatique du réacteur) ou l'atteinte de la vitesse nominale pour une pompe ou l'ouverture à 100% en ce qui concerne une vanne. Les valeurs mentionnées sont des valeurs maximales. Dans les études où un temps d'action minimal est pénalisant, l'action peut être considérée comme instantanée.

Les délais des actions ne figurant pas dans les tableaux de description des chaînes de protection se trouvent dans le [TAB-15.1.19](#).

Les incertitudes portant sur les seuils de protection relatives aux niveaux GV en gamme étroite et gamme large prenant en compte les incertitudes procédés sont indiquées respectivement dans les [TAB-15.1.20](#) et [TAB-15.1.21](#).

6.1. CHAINES DE PROTECTIONS NUCLÉAIRES

Le rôle de ces chaînes est de limiter les conséquences des événements d'insertion de réactivité dans les différents niveaux de flux neutronique en utilisant l'instrumentation excore. Les principales caractéristiques des protections nucléaires sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

Les protections nucléaires comportent 3 types de chaînes :

chaînes de Niveau Source (CNS)

Les signaux CNS sont utilisés pour éviter l'atteinte de la criticité à la suite d'une augmentation excessive de réactivité depuis un état d'arrêt. Elles génèrent une alarme et un démarrage automatique du système de boratation de sécurité (RBS).

Le signal des CNS est inhibé pour un flux (signal de niveau intermédiaire) supérieur à la valeur du permissif P5 (validation manuelle) ou pour un flux (signal de niveau puissance) supérieur à la valeur P2 (automatique).

Ce signal est validé pour un flux (signal de niveau puissance) inférieur à la valeur du permissif P2 (automatique) ou pour un flux (signal de niveau intermédiaire) inférieur à la valeur du permissif P5 (automatique).

chaînes de niveau intermédiaire (CNI)

Le rôle des CNI est de protéger le réacteur contre une augmentation excessive de flux à partir d'un état à puissance nulle ou à faible puissance.

Les CNI génèrent deux signaux de protection :

- protection (AAR) par haut flux nucléaire niveau intermédiaire,

- protection (AAR) par faible temps de doublement.

Les signaux de protection (AAR) peuvent être inhibés \square pour un flux (signal de niveau puissance) supérieur à la valeur du permissif P6 et sont validés automatiquement si le flux est inférieur à P6.
Nota : En cas de fonctionnement à 3 boucles, le permissif P6 est remplacé par le permissif P2.

chaînes de niveau puissance (CNP)

Le rôle des CNP est de protéger le réacteur contre les risques liés à l'apparition de la crise d'ébullition ou à la fusion du combustible pour des transitoires très rapides.

Les CNP génèrent un signal d'arrêt automatique du réacteur par taux élevé d'augmentation de flux nucléaire.

6.2. CHAÎNE DE PROTECTION BAS RFTC

Cette chaîne a pour rôle de protéger le cœur contre le risque de la crise d'ébullition pendant les événements qui conduisent à une baisse incontrôlée du RFTC. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

Le RFTC est calculé en ligne dans le système de protection \square en utilisant les paramètres suivants :

- la distribution axiale de puissance du canal chaud (issue des signaux des collectrons),
- la température d'entrée (issue de la mesure de température en BF/GE),
- la pression (issue de la mesure de pression au pressuriseur),
- le débit primaire (issu de la mesure de vitesse relative des GMPP).

Cette chaîne génère un signal d'AAR bas RFTC \square .

Elle génère également un signal d'AAR qualité élevée en sortie de canal chaud (AAR_{XOUT}).

La valeur étude du seuil d'AAR bas RFTC retenue pour le réacteur EPR FA3 est la suivante :

- valeur étude DNBRT = \square .

Les seuils de protection site sont décalés s'il y a détection de défaillance d'une ou de plusieurs cannes collectrons \square .

La valeur étude du seuil d'AAR qualité élevée retenue pour le réacteur EPR FA3 est la suivante :

- valeur étude XRT = \square .

En cas de détection d'une séquence anormale d'insertion des grappes, le signal d'AAR est élaboré en utilisant un seuil spécifique : DNBRT_{AS}.

Dans les cas suivants, le signal d'AAR est également élaboré en utilisant des seuils spécifiques :

- détection d'une chute de grappes en logique 2/4 ou activation d'un signal de Partial Trip parmi ceux issus des chaînes de protection puissance linéique élevée, bas RFTC et interaction pastille gaine (le seuil correspondant s'intitule DNBRT_{rod drop}),
- détection d'un déséquilibre de puissance entre deux collectrons symétriques (imbalance) ou détection d'une chute de grappe en logique 1/4 (le seuil correspondant s'intitule DNBRT_{imb/rod drop})
- détection de franchissement des insertions limites de protection (le seuil correspondant s'intitule DNBRT_{IL}).

Le permissif \square valide ces signaux d'AAR lorsque le niveau de puissance est supérieur à une valeur fixée.

6.3. CHAÎNE DE PROTECTION NOMBRE ÉLEVÉ DE COLLECTRONS DÉFAILLANTS

Cette chaîne a pour rôle de déclencher l'arrêt automatique du réacteur lorsque trop de collectrons sont déclarés défaillants.

Le permissif valide le signal d'AAR lorsque le niveau de puissance est supérieur à une valeur fixée. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

6.4. CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE LINÉIQUE ÉLEVÉE

Cette chaîne a pour rôle de protéger le cœur contre le risque de fusion au centre de la pastille de combustible pour les scénarios conduisant à une augmentation incontrôlée de la puissance linéique. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

La valeur de puissance linéique maximale est issue directement des signaux des 72 collectrons de l'instrumentation nucléaire incore qui sont liés aux 4 divisions du système de protection.

Le seuil de protection site est décalé automatiquement lorsque des défaillances collectrons sont détectées.

En cas de détection d'une séquence d'insertion anormale des grappes, le signal d'AAR est élaboré en utilisant un seuil spécifique.

Le permissif valide le signal d'AAR lorsque le niveau de puissance est supérieur à une valeur fixée.

6.5. CHAÎNE DE PROTECTION INTERACTION PASTILLE GAINÉ

Cette chaîne a pour rôle de protéger le cœur contre le risque de rupture par interaction pastille gainé lors d'une augmentation incontrôlée de la puissance linéique.

Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

6.6. CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE THERMIQUE ÉLEVÉE

Cette chaîne permet de limiter les conséquences d'une augmentation excessive de réactivité. La puissance thermique est calculée par bilan enthalpique. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

Deux signaux d'AAR sont élaborés dans cette chaîne : un signal d'AAR sur puissance thermique élevée et un signal d'AAR sur faible marge à la saturation en BC.

Le permissif valide le signal d'AAR lorsque le niveau de puissance est supérieur à une valeur fixée, en dessous de la quelle la protection n'est pas nécessaire.

6.7. CHAÎNE DE PROTECTION BAS ET TRÈS BAS DÉBIT BOUCLE

Ces chaînes ont pour rôle de provoquer un AAR en cas de diminution de débit primaire pour éviter le phénomène de crise d'ébullition. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.12](#).

La chaîne très bas débit provoque un AAR .

La fonction est inhibée en dessous du permissif (absence de risque de crise d'ébullition).

La chaîne bas débit provoque un AAR .

La fonction est inhibée en dessous du permissif .

6.8. CHAÎNE DE PROTECTION BASSE VITESSE GMPP

Cette chaîne a pour rôle de protéger le cœur en cas de diminution de débit primaire due à un problème affectant les quatre GMPP.

Elle provoque un AAR et est inhibée dans les états d'arrêts (P12). Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.12](#).

6.9. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT (PAS DE GMPP EN SERVICE)

Cette chaîne a pour rôle de limiter les conséquences d'une dilution hétérogène externe lorsque les pompes primaires sont à l'arrêt.

Elle assure également la protection contre une dilution homogène initiée dans un état en puissance ou en état d'arrêt standard avec cumul du MDTE et contre la plupart des dilutions homogènes passant par la charge du RCV dans les états d'arrêt où les pompes primaires sont à l'arrêt. Elle garantit l'isolement de la source de dilution et le maintien du cœur dans un état sous critique.

La concentration en bore vue par le boremètre est comparée à la valeur seuil . Le franchissement de ce seuil entraîne la fermeture automatique des vannes redondantes en aval du réservoir du système RCV et le basculement de l'aspiration des pompes de charge vers le réservoir IRWST.

Dans le cas du signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt, on procède également à un isolement automatique (classé F1A) de la décharge basse pression RCV par fermeture des vannes en aval du soutirage au RIS en fonctionnement RA.

Associé à un signal de bas niveau PZR et à un signal de MDTE, le franchissement de ce seuil entraîne un isolement automatique (classé F1A) de la décharge haute pression RCV.

Associé à un signal de MDTE, le franchissement de ce seuil entraîne la mise en service automatique du système RBS en cas d'AAR.

Les actions de protection sont validées par le permissif ou par un signal ATWS dû au blocage mécanique des grappes en puissance. Le permissif inhibe les actions d'isolement de la décharge haute pression RCV et de mise en service du RBS.

Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

6.10. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT STANDARD

Cette chaîne a pour rôle de limiter les conséquences d'une dilution homogène initiées en état d'arrêt standard, avec les pompes primaires en service et d'une dilution homogène initiée dans un état en puissance et engendrant un AAR.

Elle garantit l'isolement de la source de dilution et le maintien du cœur dans un état sous critique.

La détection de la dilution est basée sur une reconstruction en ligne de la concentration en bore du réfrigérant primaire.

Cette reconstruction utilise les données suivantes :

- la concentration en bore de la ligne de charge du RCV fournie par le boremètre,
- le débit de charge du système RCV,
- la température d'entrée fournie par la mesure en BF,
- la température du RCV pour corriger la valeur de concentration en bore.

La concentration calculée est comparée à un seuil dépendant de la température. Le franchissement de ce seuil entraîne la fermeture automatique des vannes redondantes en aval du réservoir du système RCV et le basculement de l'aspiration des pompes de charge vers le réservoir IRWST.

Associé à un signal de bas niveau PZR, le franchissement de ce seuil entraîne l'isolement automatique (classé F1A) de la décharge RCV. Associé à un signal d'AAR, le franchissement de ce seuil entraîne l'isolement automatique de l'alimentation en eau des GV et la mise en service automatique du système RBS.

Les actions de protection sont validées par le permissif et inhibées par le permissif . Le permissif inhibe les actions d'isolement de la décharge RCV, d'isolement de l'ARE et la mise en service automatique du RBS.

Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

6.11. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION EN PUISSANCE

Cette chaîne a pour rôle de limiter les conséquences d'une dilution homogène initiée à partir d'un état en puissance.

Elle garantit l'isolement de la source de dilution et le maintien d'une marge d'anti-réactivité suffisante (par les grappes) pour ramener le cœur en conditions d'AAC même avec la grappe la plus anti-réactive coincée en haut du cœur.

La détection de la dilution est basée sur une reconstruction en ligne de la concentration en bore du réfrigérant primaire basée sur un processus itératif.

Cette reconstruction utilise les données suivantes :

- la concentration en bore de la ligne de charge du RCV fournie par le boremètre,
- le débit de charge du système RCV,
- la température du RCV pour corriger la valeur de concentration en bore.

La concentration calculée est comparée à un seuil correspondant à la concentration en AAC avec la grappe la plus anti-réactive coincée en haut du cœur et sans considération du xénon. Le seuil prend en compte également l'incertitude globale de la reconstruction de concentration en bore et des pénalités. Le franchissement de ce seuil entraîne la fermeture automatique des vannes redondantes en amont des pompes de charge du système RCV et le basculement de l'aspiration des pompes de charge vers l'IRWST.

Associé à un signal de bas niveau PZR, le franchissement de ce seuil entraîne l'isolement automatique (classé F1A) de la décharge RCV. Associé à un signal d'AAR, le franchissement de ce seuil entraîne l'isolement automatique de l'alimentation en eau des GV et la mise en service automatique du système RBS.

Les actions de protection sont inhibées par le permissif .

Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au [TAB-15.1.11](#).

6.12. CHAINES DE PROTECTION CONTRE LES VARIATIONS ANORMALES DE PRESSION ET DE NIVEAU DANS LE PRESSURISEUR

Les principales caractéristiques des protections contre les variations anormales de température et pression primaires sont rappelées dans le tableau [TAB-15.1.12](#).

Ces protections comportent 3 chaînes qui fournissent chacune un signal d'AAR :

- la chaîne de protection par basse pression dans le pressuriseur,

- la chaîne de protection par haute pression dans le pressuriseur,
- la chaîne de protection par haut niveau dans le pressuriseur.

Au titre de la diversification, il y a également une chaîne de protection par basse pression primaire qui utilise les mesures de pression en BC et qui fournit un signal d'AAR.

6.13. CHAINES DE PROTECTION CONTRE LES DÉFAUTS D'ALIMENTATION DES GV

Les principales caractéristiques des protections contre les défauts d'alimentation des GV sont rappelées dans le [TAB-15.1.12](#).

La protection est assurée par les chaînes suivantes qui fournissent chacune un signal d'AAR :

- chaîne de protection par baisse rapide de pression dans un GV,
- chaîne de protection par basse pression GV,
- chaîne de protection par haute pression GV,
- chaîne de protection par haut niveau dans un GV,
- chaîne de protection par bas niveau dans un GV.

signaux de baisse rapide de pression GV

Trois signaux de baisse rapide de pression GV correspondent à la mitigation des brèches secondaires.

La [FIG-15.1.3](#) illustre le principe de génération des signaux : □.

□

6.14. MISE EN SERVICE DES SYSTÈMES DE SAUVEGARDE

Le [TAB-15.1.18](#) fait la synthèse des actions des différentes chaînes de protection et de sauvegarde.

Quelques explications sont données ci-dessous en ce qui concerne les signaux spécifiques d'instrumentation et de contrôle.

signaux d'IS

Pour les études du chapitre 15, les signaux de mise en service de l'injection de sécurité sont les suivants :

- dans l'état A : "pression du pressuriseur < MIN3p",
- dans l'état B et l'état C GMPP ES : " ΔP_{sat} branche chaude < MIN1p",
- dans l'état C GMPP HS et l'état D : "niveau branche chaude boucle primaire < MIN1p".

Ces signaux s'appuient sur les capteurs suivants :

- pour la « pression pressuriseur » : 4 capteurs de pression pressuriseur avec une logique en 2 sur 4.
- pour " ΔP_{sat} " : 4 capteurs de température en branche chaude (1 par boucle) et 4 capteurs de pression de branche chaude (1 par boucle), avec une logique en 2 sur 4 (2 boucles sur 4).
 ΔP_{sat} est défini comme : $\Delta P_{sat} = P_{BC}$ effective - P_{sat} (T_{BC} effective).
- pour le « niveau boucle primaire » : 4 mesures de niveau ΔP (1 par boucle), avec des lignes de détection situées respectivement en bas et en haut de la branche chaude, avec une logique en 2 sur 4 (2 boucles sur 4).

Ces données sont synthétisées dans le [TAB-15.1.13](#).

Les composants du RIS activés sont :

- dans l'état A, et l'état B avant isolement des accumulateurs :
 - le démarrage de toutes les pompes ISMP et ISBP dans les branches froides du circuit primaire,
 - la confirmation de l'ouverture des vannes des accumulateurs dans l'état A, ces vannes restant ouvertes dans l'état B.
- dans l'état B après isolement des accumulateurs :
 - le démarrage de toutes les pompes ISMP et ISBP dans les branches froides du circuit primaire,
 - les vannes des accumulateurs restent fermées.
- dans les états C et D :
 - le démarrage de toutes les pompes ISMP dans les branches froides du circuit primaire,
 - les pompes ISBP restent en mode de fonctionnement RA ou en arrêt momentané,
 - les vannes des accumulateurs restent fermées.
- Au moment de la connexion des trains RIS BP en mode RA, les changements suivants sont mis en place dans le système de soupape de sécurité du pressuriseur et pour les trains RIS MP :
 - les valeurs de consigne des trois soupapes de sécurité du pressuriseur sont diminuées □,
 - la grande ligne à débit minimum de chaque pompe ISMP est ouverte, de manière à faire baisser la pression d'appoint par les ISMP dans le circuit primaire jusqu'à environ 40 bar.

L'activation du signal IS conduit à l'isolement du circuit primaire principal :

- isolement de la ligne de dégazage du pressuriseur,
- isolement de la ligne d'évent pressuriseur,
- isolement de la ligne d'évent cuve¹,
- isolement de la ligne de décharge du RCV,
- isolement des lignes d'injection du RBS (sauf en cas d'activation du RBS, l'activation étant prioritaire sur l'isolement),
- isolement de la ligne d'injection de nitrogène,
- isolement des lignes de connexion entre le RCV et le RIS-RA en mode RA,
- isolement de la ligne de vidange utilisée pour collapser la bulle dans le pressuriseur,
- isolement enceinte phase 1.

L'activation du signal IS entraîne l'isolement de la charge du RCV.

refroidissement partiel

Au moment du signal de démarrage de l'IS, dans l'état A et dans l'état B, un refroidissement partiel démarre automatiquement □.

1. Si la manchette de l'évent cuve est déposée lors du chantier d'ouverture de cuve (sous-état Cb2), la fermeture de l'évent sur signal d'IS ne peut être garantie

En effet, comme la pression de refoulement de l'ISMP est basse , en raison de l'existence du critère de "non sollicitation des soupapes de sûreté GV en cas de RTGV", un refroidissement du circuit primaire est nécessaire pour assurer l'injection d'ISMP.

Ce refroidissement est réalisé par le secondaire et il consiste à abaisser le point de consigne des VDA des 4 GV .

Parallèlement, le point de consigne du GCT est réduit selon le même gradient. Le refroidissement partiel par l'intermédiaire du GCT est réalisable mais n'est pas classé F1.

Le refroidissement partiel est également démarré sur signal « Haut Niveau GV MAX2p ».

Certaines fonctions d'instrumentation et de contrôle utilisent le signal de « refroidissement partiel achevé » : la fin du refroidissement partiel est détectée lorsque la pression dans les 4 GV est inférieure à l'objectif fixé pour la pression .

isolement de l'ARE

Pour chaque GV, la ligne ARE principale est divisée en trois lignes parallèles où se trouvent les vannes du circuit principal d'alimentation en eau : la ligne à grand débit, la ligne à petit débit et la ligne à très petit débit :

- En fonctionnement à l'arrêt , la régulation du débit est assurée uniquement par la vanne réglante de la ligne très petit débit.
- En fonctionnement à l'arrêt, la régulation du débit est assurée uniquement par la vanne réglante de la ligne petit débit.
- En fonctionnement à l'arrêt, la régulation du débit est assurée également par la vanne réglante de la ligne petit débit, cependant, pour ces niveaux de puissance, la vanne grand débit ARE est prépositionnée à un taux d'ouverture fixe.
- En fonctionnement en puissance, la vanne petit débit est pleine ouverte et la régulation du débit est assurée par la vanne réglante de la ligne grand débit.

L'isolement de la ligne ARE est exécuté en deux étapes successives :

- D'abord, l'isolement de la ligne ARE grand débit, réalisé par la fermeture des deux vannes installées en série sur la ligne à grand débit. L'ARE est alors partiellement isolée, la ligne ARE petit débit restant ouverte.
- Ensuite, l'isolement de la ligne ARE petit débit et très petit débit, réalisé par la fermeture des deux vannes installées en série sur la ligne petit débit. L'ARE est alors entièrement isolée.

Sur intervention de n'importe quel signal d'AAR, la ligne ARE grand débit est isolée dans tous les GV. La ligne ARE petit débit n'est isolée qu'en cas de nécessité, cet isolement étant lié au GV.

Les principales caractéristiques des chaînes provoquant la mise en service du système d'isolement de l'eau alimentaire normale sont détaillées dans le [TAB-15.1.14](#).

isolement VIV

L'isolement des lignes vapeur est réalisé par la fermeture rapide des robinets principaux et la fermeture des vannes de dérivation et des vannes de purge.

Les principales caractéristiques des chaînes provoquant la mise en route du système d'isolement des lignes vapeur sont rappelées dans le [TAB-15.1.15](#).

activation ASG

Les principales caractéristiques des chaînes provoquant le démarrage des motopompes ASG sont données dans le [TAB-15.1.16](#).

Le démarrage des motopompes est déclenché par l'un quelconque des signaux suivants :

- bas niveau dans un générateur de vapeur MIN2p (GL),
- perte totale des alimentations électriques externes et signal IS.

L'isolement ASG est demandé lorsque le niveau dans un générateur de vapeur devient supérieur à MAX1p (GL).

déclenchement des GMPP

Dans la conception du réacteur EPR, un signal de déclenchement des GMPP intervient en cas d'APRP. La mise en place de ce signal vise à améliorer la mitigation d'un événement de type APRP en évitant d'avoir un déclenchement GMPP retardé, susceptible de pénaliser la diminution de l'inventaire en eau du primaire, et par conséquent l'échauffement du cœur. Le signal de déclenchement des GMPP considéré est activé sur « $\Delta P_{GMPP} < MIN1p$ et signal d'IS ». L'association au signal d'IS a pour objectif d'éviter les déclenchements intempestifs des GMPP. Le ΔP se rapporte à la différence de pression entre l'entrée de la pompe primaire (pression de branche en U) et la sortie de la pompe primaire (pression de branche froide). □

Un signal de déclenchement des GMPP intervient également en cas de RTE. Pour limiter l'échauffement du circuit primaire et la décharge du fluide par les soupapes du pressuriseur, tous les GMPP sont arrêtés lorsque 3 générateurs de vapeur sont presque vides. Le signal de déclenchement des GMPP intervient donc lorsque les boucles □ ont détecté un niveau gamme large inférieur au seuil MIN3p□.

Un signal de déclenchement des GMPP est également introduit pour limiter la puissance cœur et les échanges primaire/secondaire en cas de RTV. Les signaux « chute de pression GV > MAX1p » ou « basse pression GV < MIN1p » caractérisent la dépressurisation du circuit secondaire. La combinaison de l'un de ces deux signaux avec un signal de haute pression enceinte anticipé permet d'éviter un déclenchement intempestif des GMPP durant lesscénarios conduisant à la dépressurisation du circuit secondaire autres que des brèches secondaires intérieur enceinte. Une temporisation après l'obtention des « baisse rapide de pression GV > MAX1p » ou « basse pression GV < MIN1p » est considérée afin de ne pas pénaliser le RFTC pour les cas initiés en puissance.

Par ailleurs, le déclenchement des GMPP est également obtenu lors de l'isolement enceinte phase 2.

L'arrêt automatique des GMPP est classé F1A.

mise en service automatique du RBS

La mise en service est activée sur le signal de basse pression pressuriseur MIN4p. Ce signal n'a pas la priorité sur les signaux d'isolement.

La mise en service est aussi activée dès que □ capteurs d'une des quatre lignes vapeur détectent une pression inférieure au seuil MIN5p. Ce signal est prioritaire sur un isolement par haut niveau GV.

La description de ces signaux est fournie au [TAB-15.1.17](#).

La mise en service est aussi activée sur le signal de Protection Anti-Dilution dans les états d'arrêt standard et en puissance associé à un AAR, et dans les états d'arrêt sans GMPP associé à un AAR et un signal MDTE.

Le RBS est également mis en service sur signal haut flux niveau source.

isolement du RBS

Le RBS est isolé sur le signal de :

- haut niveau pressuriseur supérieur à MAX1p,

- haut niveau GV supérieur à MAX3p (GE).

La description de ces signaux est fournie au [TAB-15.1.17](#).

isolement d'un train RIS-RA en mode RA

Afin d'isoler une brèche extérieure enceinte sur un train RIS-RA en mode RA, l'isolement du train correspondant est demandé sur haut niveau dans le BAS MAX1p. Ce signal est décrit au [TAB-15.1.17](#).

En état E, le signal d'isolement des trains RIS-RA sur bas niveau piscine BR MIN1 permet d'isoler une brèche sur un train RIS-RA en mode RA à l'intérieur de l'enceinte. Contrairement au signal sur haut niveau dans le BAS MAX1p, le signal sur bas niveau piscine BR isole tous les trains RIS-RA en fonctionnement. Ce signal est décrit au [TAB-15.1.17](#).

isolement de la charge RCV

La charge du RCV peut être isolée sur les signaux suivants :

- haut niveau dans le pressuriseur MAX1p,
- haute pression en branche chaude MAX0p,
- haut niveau dans un générateur de vapeur MAX2p (GE) validé par la fin du refroidissement partiel,
- signal IS,
- baisse rapide de pression GV MAX2p.

Pour les trois premiers signaux l'isolement de la charge RCV est accompagné de l'isolement de l'injection aux joints des pompes primaires.

La description de ces signaux est fournie au [TAB-15.1.17](#).

isolement de la décharge RCV

La décharge du RCV peut être isolée sur les signaux suivants :

- bas niveau pressuriseur MIN1p et signal d'AAR,
- signal PAD dans les états d'arrêt (pas de GMPP en service) avec signal MDTE et bas niveau pressuriseur MIN PAD,
- signal PAD dans les états d'arrêt standard et bas niveau pressuriseur MIN PAD,
- signal PAD en puissance et bas niveau pressuriseur MIN PAD.

La description de ces signaux est fournie au [TAB-15.1.11](#) et au [TAB-15.1.17](#).

consommateurs vapeur et vannes ADG

Après AAR, les consommateurs vapeur sont isolés et les vannes de contrôle de l'ADG sont verrouillées.

purge des GV (APG)

La purge des GV est isolée sur bas niveau GV < MIN1p (GE).

6.15. PROTECTIONS RELATIVES À LA PRESSION ENCEINTE

Les signaux relatifs à la pression enceinte sont synthétisés dans le [TAB-15.1.18](#) et décrits dans les [TAB-15.1.14](#) et [TAB-15.1.17](#).

6.16. PROTECTIONS RELATIVES AU NIVEAU PISCINE BK

Les signaux relatifs au niveau piscine BK sont fournis dans le [TAB-15.1.17](#).

6.17. MODIFICATION DES SEUILS DE PROTECTION EN PROLONGATION DE CYCLE

Les seuils de protection modifiés en prolongation de cycle sont indiqués dans les [TAB-15.1.11](#) à [TAB-15.1.17](#) pour les points de fonctionnement décrits dans le [TAB-15.1.3](#).

7. FONCTIONS LCO

Les LCO sont des fonctions de contrôle-commande permettant d'assurer le caractère enveloppe des conditions initiales utilisées dans les études de sûreté. Pour cela, chaque paramètre contrôlé par une chaîne de régulation contrôle-commande déclenche une alarme lorsqu'il dépasse durablement les seuils d'alarme LCO, permettant ainsi de garantir le domaine de variation de ce paramètre par rapport à sa consigne de régulation. Une LCO ne correspond pas forcément à un paramètre régulé comme c'est le cas pour le RFTC par exemple.

Les conditions initiales prises en compte dans les études sont alors définies par les limites LCO qui incluent les valeurs des seuils d'alarme LCO ainsi que les incertitudes de mesure engendrées par les capteurs, la chaîne d'acquisition et les actionneurs. En effet, les limites LCO définissent le domaine dans lequel se trouvent les paramètres physiques de la tranche en fonctionnement normal. De manière générale, les seuils d'alarme LCO sont donc validés par l'ensemble des études qui les prennent en compte en tant que conditions initiales.

Les chaînes de surveillance relatives au Primaire et au Secondaire (P/S) possèdent un seul seuil d'activation LCO alors que celles relatives au cœur possèdent en général deux seuils d'activation LCO1 et LCO2. La valeur du premier seuil LCO1 est définie de telle façon que pour les différents événements PCC, le scénario postulé ne conduit pas à un dépassement du critère de sûreté associé. Le franchissement du premier seuil LCO1 entraîne l'apparition d'une alarme en salle de commande et la mise en œuvre de mesures passives (par exemple blocage de l'extraction des grappes). Si ces mesures passives ne permettent pas de ramener le paramètre surveillé dans le domaine de fonctionnement normal, des mesures actives (par exemple insertion des grappes) sont mises en œuvre si le deuxième seuil LCO2 est franchi.

Il convient de souligner que les LCO P/S sont des alarmes (aucune action automatique) alors que les LCO cœur enclenchent des actions automatiques passives ou actives. De plus, il faut distinguer la surveillance LCO qui est assurée par les régulations (qui peuvent être non classées) des fonctions LCO qui correspondent à des alarmes (classées F2), avec ou sans actions automatiques derrière.

Les valeurs des limites LCO du cœur et du système P/S en cycle naturel et prolongation de cycle permettant de définir les conditions initiales des études sont également données dans le [TAB-15.1.22](#).

Les fonctions LCO sont décrites dans les paragraphes ci-dessous.

7.1. LCO CŒUR

□

puissance thermique primaire

Le rôle de la LCO puissance thermique élevée est de limiter la puissance en fonctionnement normal à des conditions cohérentes avec les hypothèses retenues pour les études.

Les entrées de la chaîne sont :

- la température branche froide,

- la température branche chaude,
- la pression primaire,
- la vitesse des pompes primaires.



puissance linéique

Le rôle de la LCO puissance linéique élevée est d'une part de limiter la densité de puissance linéique en fonctionnement normal par rapport aux conséquences d'un accident de perte de réfrigérant primaire, et permet donc de respecter les critères de sûreté associés à cet événement.

D'autre part, la LCO puissance linéique élevée surveille les conditions initiales des événements par rapport à la protection du combustible contre la fusion au centre de la pastille de combustible lors de scénarios pour lesquels la fonction de protection puissance linéique élevée n'est pas efficace. Elle assure également le respect des conditions initiales en puissance linéique des études du Rapport de Sûreté valorisant la chaîne de protection puissance linéique élevée.

La valeur de puissance linéique est directement issue des mesures de l'instrumentation incore par les collectrons.

Les seuils de surveillance site sont décalés automatiquement lorsque des défaillances collectrons sont détectées.

Cette chaîne de LCO est inhibée pour les faibles niveaux de puissance.

RFTC

Le rôle de la LCO bas RFTC est de surveiller les conditions pré-accidentelles vis-à-vis du risque lié à l'apparition de la crise d'ébullition pendant les transitoires pour lesquels la chaîne de protection bas RFTC n'est pas efficace.

Ainsi la valeur site du seuil DNB_{LCO} prend en compte la variation maximale de RFTC au cours des scénarios pour lesquels la chaîne de protection bas RFTC n'est pas efficace ainsi que les incertitudes liées à la méthode de calcul du RFTC. Le scénario pour lequel cette variation est la plus grande est la perte totale des alimentations électriques externes (PTAEE).

Les données d'entrée de la chaîne de surveillance du RFTC sont les mêmes que celles de la chaîne de protection bas RFTC présentée au [§ 6.2.](#)

La valeur étude du seuil LCO bas RFTC retenue pour le réacteur EPR FA3 est la suivante :

- valeur étude $DNB_{LCO} = \square$.

Les seuils de surveillance site sont décalés en cas de défaillance d'une ou de plusieurs cannes collectrons \square .

Cette chaîne de LCO est inhibée pour les faibles niveaux de puissance.

interaction pastille gaine (IPG)

Le rôle de la LCO IPG est de prévenir le risque de déclenchement de l'arrêt automatique du réacteur sollicité par la chaîne de protection IPG.

Cette chaîne de LCO est inhibée pour les faibles niveaux de puissance.

marge d'arrêt (Insertions limites)

L'objectif de cette LCO est de vérifier que les insertions des groupes de contrôle sont conformes avec :

- la disponibilité d'une marge d'antiréactivité suffisante pour ramener le cœur dans un état sous critique si un AAR a lieu,
- la position des grappes considérée dans les études PCC.

Les insertions limites à respecter dépendent du niveau de puissance. Le dépassement de ce seuil LCO entraîne dans un premier temps le signal « éviter la dilution » et un blocage de l'augmentation de puissance au secondaire et l'injection de bore dans un deuxième temps.

Les valeurs des insertions limites en cycle naturel et prolongation de cycle sont données dans le [TAB-15.1.10](#) . Les insertions limites de fin de vie sont applicables en prolongation de cycle (hypothèse de découplage).

déséquilibre axial de puissance

Le rôle de cette LCO est de limiter les conséquences des événements pour lesquels un AO en limite de domaine est pénalisant (par exemple un AO en bord droit pour l'APRP, l'éjection de grappe).

Les données d'entrée de la chaîne sont les mesures des collectrons.

Le domaine d'AO est délimité par une limite droite et une limite gauche.



Les seuils de surveillance site sont décalés automatiquement lorsque des défaillances collectrons sont détectées.

Cette chaîne de LCO est inhibée pour les faibles niveaux de puissance.

désalignement de grappe

Le rôle de cette LCO est de surveiller la position des grappes afin de détecter les désalignements d'une grappe par rapport à son groupe.

déséquilibre azimutal de puissance

Le rôle de cette LCO est de surveiller la différence de puissance nucléaire entre les 4 quadrants du cœur et de vérifier qu'elle ne dépasse pas une certaine valeur.

Cette valeur maximale est prise en compte :

- soit dans les états initiaux des transitoires si la chaîne de protection associée ne voit pas ce déséquilibre azimutal,
- soit dans la conception des chaînes qui voient ce déséquilibre azimutal à travers les seuils et incertitudes considérés.

La valeur du déséquilibre azimutal est calculée en utilisant l'instrumentation excore (niveau de puissance). Elle génère une alarme qui demande à l'opérateur de baisser le niveau de puissance.

Le seuil LCO est modifié en cas de fonctionnement en puissance intermédiaire.

7.2. LCO P/S

température moyenne primaire

En fonctionnement normal, le rôle de l'alarme est d'informer l'opérateur d'un dépassement de température moyenne primaire en dehors de la bande de température primaire définie pour les hypothèses retenues dans les études.

La surveillance et les fonctions LCO sont assurées par différents paramètres P/S selon le niveau de puissance :

- en dessous de $\square\%$ Pn, la surveillance LCO de la température moyenne primaire est assurée par la régulation de pression des lignes vapeur principales grâce à la fonction contrôle commande du GCT,
- au-dessus de $\square\%$ Pn, la surveillance LCO est assurée par la régulation de la température moyenne primaire grâce à la fonction contrôle commande de contrôle des grappes.

En ce qui concerne la surveillance LCO assurée par la régulation du barillet vapeur, \square une alarme émise par la fonction LCO lorsque la pression du barillet vapeur sort du domaine de fonctionnement normal. Les entrées de cette chaîne sont (les 4 premières permettent de déterminer la puissance primaire) :

- la température branche froide,
- la température branche chaude,
- la pression primaire,
- la vitesse des pompes primaires,
- la pression du barillet vapeur.

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors de l'état A1 (entre l'arrêt à chaud et la puissance nominale) et pour une puissance thermique du réacteur supérieure à $\square\%$ Pn.

En ce qui concerne la surveillance LCO assurée par la régulation de la température moyenne primaire par les grappes de contrôle, \square une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque la température moyenne primaire sort du domaine de fonctionnement normal. Afin de calculer la température moyenne primaire, les entrées de cette chaîne sont :

- la température branche froide,
- la température branche chaude.

Cette chaîne de LCO est inhibée pour une puissance thermique du réacteur inférieure à $\square\%$ Pn.

pression primaire

Le rôle de cette LCO est de surveiller la pression primaire en fonctionnement normal et de détecter tout dépassement en dehors de la bande de pression primaire définie dans les hypothèses retenues pour les études.

\square une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque la pression primaire sort du domaine de fonctionnement normal. L'entrée de cette chaîne est :

- la pression primaire (mesurée au PZR).

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors de l'état A1 (entre l'arrêt à chaud et la puissance nominale).

niveau PZR

Le rôle de cette LCO est de surveiller le niveau du PZR en fonctionnement normal et de détecter tout dépassement en dehors de la bande de niveau pressuriseur définie dans les hypothèses retenues pour les études.

□ une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque le niveau du PZR sort du domaine de fonctionnement normal. Les entrées de cette chaîne sont :

- le niveau PZR,
- la température branche froide,
- la température branche chaude.

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors de l'état A1 (entre l'arrêt à chaud et la puissance nominale).

niveau GV

Le rôle de cette LCO est de surveiller le niveau des GV en fonctionnement normal et de détecter tout dépassement en dehors de la bande de niveau GV définie dans les hypothèses retenues pour les études.

□ une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque le niveau GV sort du domaine de fonctionnement normal. L'entrée de cette chaîne est le niveau GV.

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors de l'état A1 (entre l'arrêt à chaud et la puissance nominale).

niveau des boucles primaires

Le rôle de cette LCO est de surveiller le niveau des boucles primaires en fonctionnement normal et de détecter tout dépassement en dehors de la bande de niveau boucle primaire définie dans les hypothèses retenues pour les études.

□ une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque le niveau des boucles primaires sort du domaine de fonctionnement normal. Les entrées de cette chaîne sont :

- le niveau boucle primaire,
- la température branche froide.

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors du fonctionnement en $\frac{3}{4}$ boucles dans les conditions d'arrêt à froid.

8. PERMISSIFS

Les principales caractéristiques fonctionnelles des permissifs sont regroupées dans le [TAB-15.1.23](#).

Ce tableau donne pour chaque permissif :

- la logique du permissif,
- le type de mesure effectuée,
- le point de consigne du seuil,
- le type d'action,
- toutes les actions initiées.

9. CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DE SÛRETÉ

Dans les études d'accidents PCC, les systèmes pris en compte pour atténuer les conséquences d'un événement sont classés F1.

La liste des systèmes mécaniques F1 pris en compte dans les études PCC comprend :

- les grappes d'arrêt du cœur, qui exécutent les Arrêts Automatiques du Réacteur,
- les organes d'isolement du circuit primaire et des GV,
- les circuits d'injection dans le circuit primaire et les GV hors RCV,
- les systèmes de décharge du circuit primaire et des GV,
- l'aspersion normale du pressuriseur,
- les vannes d'isolement du réservoir de contrôle RCV.

Dans le chapitre 15, ces systèmes sont pris en compte en respectant les règles d'études PCC conservatives et définies dans la section correspondante (voir section 15.0.2) :

- efficacité minimale garantie,
- prise en compte de l'aggravant le plus pénalisant,
- prise en compte de la plus pénalisante des indisponibilités dues à la maintenance préventive.

Les [TAB-15.1.24](#) à [TAB-15.1.36](#) ainsi que [TAB-15.1.38](#) indiquent les caractéristiques minimales et/ou maximales des circuits fluides F1 pris en compte dans les études de sûreté. Les informations concernant ces systèmes sont utilisées non seulement dans les études PCC du chapitre 15, mais aussi dans les études du sous-chapitre 3.6 concernant la protection contre les surpressions.

D'après le sous-chapitre 15.0, on montrera dans les études PCC que :

- l'état contrôlé peut être atteint en s'appuyant uniquement sur des systèmes F1A. L'utilisation exceptionnelle de systèmes F1B peut être acceptée suivant les conditions précisées dans la section 3.2.1 du RDS) ;
- le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr peut se faire en s'appuyant uniquement sur des systèmes F1A et / ou F1B (l'utilisation exceptionnelle de systèmes non-F1 peut être acceptée suivant les conditions précisées dans la section 3.2.1 du RDS).

9.1. SYSTEMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F1A CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT

Les systèmes requis pour assurer les fonctions F1A considérées dans les études (les systèmes supports, comme le RRI et le SEC, n'étant pas mentionnés) sont :

- système APG :
 - isolement des purges d'un GV
 - isolement enceinte phase 1
- système ARE
 - isolement grand débit
 - isolement petit débit ²
 - isolement GV
- système ASG :
 - isolement d'une file ASG
 - protection pompe ASG contre les surdébits
 - mise en service d'une file ASG (auto)

2. L'isolement petit débit assure également l'isolement de la ligne « très petit débit » ARE.

- système DWK :
 - confinement du hall de manutention combustible BK
- système EVU :
 - isolement enceinte phase 1
 - isolement Haute Activité Primaire
- système GSE :
 - déclenchement de la turbine et d'auxiliaires (dont ADG)
- système JPI :
 - isolement enceinte phase 1
- système KRT :
 - détection d'activité dans le Hall piscine BK
 - détection d'activité dans le Hall piscine BR
 - détection d'activité secondaire VVP
 - isolement enceinte phase 1
 - détection d'activité primaire
- système PTR :
 - isolement des pieds de compartiments BK
 - isolement des pieds de compartiments BR
 - isolement de l'aspiration des pompes principales PTR □
 - Isolement de l'aspiration du troisième train PTR □
 - détection d'une baisse de niveau piscine □
 - détection d'une baisse de niveau piscine de désactivation □
 - isolement enceinte phase 1
 - isolement Haute Activité Primaire (HAP)
 - dépose du système d'écémage □
 - retour de la piscine BR dans l'IRWST via la ligne de trop-plein □
- système RBS :
 - injection d'eau borée (manuel/auto)
 - stockage d'eau borée
 - isolement enceinte phase 2
 - isolement du CPP
 - mise hors service d'un train d'injection RBS
- système RCP :
 - ouverture/Fermeture mécanique des soupapes pressuriseur
 - ouverture/Fermeture pilotée des soupapes pressuriseur (auto)
 - mise hors service d'un GMPP
 - isolement du CPP

- système RCV :
 - isolement aval du ballon RCV et de la station d'hydrogénation
 - isolement de la charge RCV
 - isolement de la décharge haute pression (isolement CPP)
 - isolement de la ligne d'injection aux joints
 - isolement enceinte phase 1
 - isolement enceinte phase 2
 - isolement passif de la charge et de l'aspersion auxiliaire (isolement CPP)
 - isolement HAP
- système REN :
 - isolement enceinte phase 1
 - isolement enceinte phase 2
 - isolement HAP
- système RES :
 - isolement enceinte phase 2
- système RGL :
 - chute des grappes
 - mesure de la position des grappes
- système RIC :
 - mesure du flux neutronique local dans le cœur avec les collecteurs SPND
- système RIS-RA (RIS-MP, RIS-BP, accumulateurs, IRWST) :
 - injection ISMP avec grande ligne à débit minimum fermée
 - injection ISBP en branche froide
 - injection par les accumulateurs
 - injection ISMP avec grande ligne à débit minimum ouverte
 - isolement de l'aspiration RIS-RA en mode RA
 - stockage, filtration et récupération d'eau borée dans l'IRWST
 - mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA
 - refroidissement de l'IRWST
 - isolement passif du CPP
 - appoint au primaire par IRWST (via le RIS MP)
 - isolement de la décharge basse pression
 - isolement de la liaison RIS-RCV (isolement CPP)
- système RPE :
 - isolement enceinte phase 1
 - fermeture automatique des vannes d'isolement enceinte des drains de plancher 1 et 2 du BR
 - isolement HAP

- système RPN :
 - mesure du flux nucléaire par les chaînes de mesure niveau source (CNS)
 - mesure du flux nucléaire par les chaînes de mesure niveau intermédiaire (CNI)
 - mesure du flux nucléaire par les chaînes de mesure niveau puissance (CNP)
- système RPR :
 - initier l'arrêt du réacteur
 - initier les dispositions de sauvegarde pour atteindre l'état contrôlé
 - initier les dispositions support et diesels
 - élaborer des signaux de permissifs
- système VDA :
 - isolement de la décharge à l'atmosphère
 - relèvement automatique du point de consigne VDA
 - ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère et contrôle de la pression GV
- système VVP :
 - isolement vapeur principale
 - ouverture/Fermeture des soupapes GV
- divers systèmes traversant l'enceinte :
 - isolement enceinte phase 1
 - isolement enceinte phase 2

9.2. SYSTEMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F1B CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT

Les systèmes (les systèmes supports, comme le RRI et le SEC, n'étant pas mentionnés) requis pour assurer les fonctions F1B (autres que celles précédemment mentionnées) considérées dans les études sont :

- système APG :
 - isolement des purges GV
 - ouverture des lignes de transfert d'une paire de GV
 - isolement enceinte phase 1
- système ARE :
 - isolement grand débit
 - isolement petit débit ³
 - isolement GV
- système ASG :
 - mise en service d'une file ASG
 - réglage du niveau GV par ASG (auto)

3. L'isolement petit débit assure également l'isolement de la ligne « très petit débit » ARE.

- relignage de l'aspiration des pompes ASG
- relignage du refoulement des pompes ASG
- système EVU :
 - alcalinisation de l'IRWST
 - isolement enceinte phase 1
- système JAC :
 - distribution d'eau pour l'appoint à la piscine BK
- système JPI :
 - distribution d'eau pour l'appoint à la piscine BK
 - isolement enceinte phase 1
- système JPD :
 - appoint à la piscine BK
- système JPV :
 - appoint à la piscine BK
- système KRT :
 - surveillance du débit de dose dans l'enceinte
 - isolement enceinte phase 1
 - détection d'activité secondaire RES
 - détection d'activité secondaire VVP (auto)
 - détection d'activité dans le hall piscine BK
 - détection d'activité dans le hall piscine BR
- système PTR :
 - mise en service d'une file principale de refroidissement PTR
 - déclenchement des trains principaux PTR (auto)
 - appoint à la piscine BK
 - isolement enceinte phase 1
 - vidange gravitaire de la piscine BR dans l'IRWST
- système RBS :
 - mise hors service d'un train d'injection RBS
 - isolement enceinte phase 2
 - isolement du CPP
 - isolement d'une ligne d'injection RBS dans une boucle inactive
- système RCP :
 - ouverture/fermeture pilotée des soupapes pressuriseur
 - mise en service de l'aspersion normale du pressuriseur (sauf séisme et ambiance dégradée)

- mise hors service des chaufferettes pressuriseur ☐
- mise hors service d'un GMPP ☐
- isolement du CPP ☐
- isolement de la barrière thermique d'un GMPP (auto)
- ouverture du relignage vers l'IRWST du retour de la ligne de fuite des joints des GMPP (auto/manu)
- système RCV :
 - isolement de la charge RCV ☐
 - Isolement aval du ballon RCV et de la station d'hydrogénation ☐
 - isolement de la décharge haute pression (isolement CPP) ☐
 - isolement enceinte phase 1 ☐
 - isolement enceinte phase 2 ☐
 - isolement de la ligne d'injection aux joints ☐
- système REN :
 - isolement ☐ d'une ligne d'échantillonnage du RCP/ [RIS-RA] ☐
 - isolement enceinte phase 1 ☐
 - isolement enceinte phase 2 ☐
- système RES :
 - isolement enceinte phase 2 ☐
 - isolement de l'échantillonnage d'un GV ☐
- système RIC :
 - mesure de la température maximale en sortie du cœur T RIC MAX
 - mesure du niveau de la cuve du réacteur
- système RIS-RA :
 - injection ISMP avec grande ligne à débit minimum fermée ☐
 - injection ISBP en branche froide ☐
 - injection ISMP avec grande ligne à débit minimum ouverte ☐
 - mise hors service d'un train ISMP ☐
 - mise en service d'un train RIS-RA en mode RA ☐
 - mise en service d'un train RIS-RA en mode RA réduit ☐
 - mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA ☐
 - isolement de l'aspiration d'un train RIS-RA en mode RA ☐
 - isolement des accumulateurs ☐
 - refroidissement de l'IRWST ☐
 - isolement des traversées du RIS ☐
 - basculement de l'injection ISBP en BF vers la BC ☐
 - mise hors service d'un train RIS BP en mode IS ☐
 - isolement de la décharge basse pression ☐

- isolement de la liaison RIS-RCV (isolement CPP)
- ouverture/Fermeture du bypass de la ligne d'aspiration en branche chaude
- système RPE :
 - isolement enceinte phase 1
- système RPR :
 - contribution à la réalisation des dispositions post-accidentelles pour atteindre et maintenir l'état d'arrêt sûr
 - contribuer aux dispositions élaborées au PAS/SAS
- système VDA :
 - isolement de la décharge à l'atmosphère
 - ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère et contrôle de la pression GV
 - ouverture/fermeture en local des vannes de décharge à l'atmosphère
 - relèvement manuel du point de consigne VDA
- système VVP :
 - isolement vapeur principale
 - ouverture de la ligne de bypass VVP

Les caractéristiques des barres de commande d'arrêt sont déjà indiquées dans le [TAB-15.1.9](#).

En plus des systèmes F1 ci-dessus, des systèmes non F1 peuvent être considérés dans les études PCC conformément aux règles d'études PCC. Ainsi, si l'événement n'a pas d'impact sur les performances d'un système F2 ou NC (pas de changement d'état, pas de changement des conditions de fonctionnement et d'environnement), et si le système est en service avant le déclenchement de l'initiateur, le système est supposé continuer à fonctionner normalement. Aucun ordre intempestif venant du contrôle-commande ne doit être supposé dans ces conditions.

Ces systèmes peuvent également être utilisés dans les études concernant la protection contre les surpressions.

Leurs principales caractéristiques présentant un intérêt dans ce cadre sont précisées dans le [TAB-15.1.36](#) et le [§ 9.3.](#).

Sur la [FIG-15.1.4](#) est représenté un schéma fonctionnel simplifié des principaux circuits fluides F1A : RIS, ASG, soupapes de sûreté du pressuriseur et des GV, VDA, isolement vapeur, isolement de l'ARE.

9.3. SYSTÈMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F2 CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT

Les systèmes (les systèmes supports, comme le RRI et le SEC, n'étant pas mentionnés) requis pour assurer les fonctions F2 considérées dans les études sont :

- Poste de Manutention Combustible :
 - Mise en position sûre manuelle de l'assemblage en cours de manutention
- Système PTR :
 - Mise en place d'un dispositif d'obturation de la troisième file PTR
 - Mise en service de la troisième file PTR

- Fermeture de la porte pivotante entre la piscine combustible et le compartiment adjacent rempli

10. CODES DE CALCUL UTILISÉS

Des descriptions sommaires des principaux codes utilisés pour la réalisation des études sont données dans l'Annexe 15A. D'autres codes, en particulier des codes très spécialisés dans lesquels la modélisation a été développée pour simuler un phénomène spécifique pour un scénario donné, comme ceux employés pour le calcul des efforts hydrauliques en cas de brèche primaire ou secondaire (voir section 3.6.1), sont décrits dans les chapitres qui traitent des études en question.

Pour chaque étude présentée dans le chapitre 15, le code utilisé pour la réalisation des calculs est précisé.

11. APPROCHE UTILISÉE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS CONCERNANT LE RAPPORT DE FLUX THERMIQUE CRITIQUE (RFTC)

L'approche générale est détaillée dans le chapitre traitant de la conception thermohydraulique du cœur (voir sous-chapitre 4.4).

Dans le cadre des calculs de pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition, des courbes de fuel census sont utilisées. Les scénarios concernés sont les événements PCC3 et PCC4 (avec ou sans cumul MDTE) ainsi que les événements PCC2 avec cumul du MDTE.

Une courbe de fuel census représente le pourcentage de crayons ayant une puissance supérieure à un $F\Delta H$ donné. Elle dépend de la distribution radiale de puissance du cœur et donc du cycle, du niveau de puissance, de la position des grappes et de l'épuisement considéré.

Deux types de courbes de fuel census sont généralement utilisés : la courbe de fuel census dite « enveloppe » et la courbe de fuel census dite « spécifique ». Ces courbes sont présentées dans la figure [FIG-15.1.5](#). □

Une étude s'intéressant à l'aspect RFTC dépend :

- du type de fonction de protection activée (protection bas RFTC ou protection spécifique),
- des conditions limites de fonctionnement prises en compte pour limiter les conditions initiales (condition limite de fonctionnement bas RFTC ou pas),
- de la manière de combiner les incertitudes de RFTC.

Les événements sont répartis en trois catégories :

- événements de Type I : événements en puissance pour lesquels la protection bas RFTC est efficace.
- événements de Type II : événements en puissance pour lesquels la protection bas RFTC n'est pas efficace mais qui valorisent la chaîne de surveillance du RFTC.
- événements de Type III : événements pour lesquels les chaînes de protection et de surveillance du RFTC sont inefficaces.

Les événements présentés dans le chapitre 15 qui s'intéressent au RFTC sont classés comme suit :

événements de Type I :

- défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit de l'eau alimentaire, initié en puissance (PCC2) (15.2.2c)

- augmentation excessive du débit vapeur (État A – PCC2) (15.2.2d)
- retrait incontrôlé de groupes initié en puissance (PCC2) (15.2.2m)
- mauvais positionnement et chute de grappe(s), sans limitation (PCC2) (15.2.2p)
- défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (État A – PCC2)⁴ (15.2.2r)
- dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation ou une diminution de l'inventaire du circuit primaire (PCC2) (15.2.2s)
- transitoires de pression du côté primaire (aspersion intempestive au pressuriseur, réchauffement intempestif du pressuriseur – PCC2) (15.2.2t)
- ouverture intempestive d'une soupape pressuriseur (état A) (15.2.3c)
- ouverture intempestive d'une vanne de contournement à l'atmosphère ou d'une soupape GV (état A) (15.2.3d)
- retrait incontrôlé d'une grappe (État A - PCC3) (15.2.3p)
- rupture de tuyauterie vapeur dans l'état A, pour les brèches intermédiaires (PCC3 et PCC4) (15.2.4b)

événements de Type II :

- perte de l'eau alimentaire normale (perte des 4 pompes ARE et de la pompe AAD – PCC2) (15.2.2i)
- perte du vide au condenseur (PCC2) (15.2.2g)
- perte totale d'alimentation électrique externe de courte durée (<2h), états A à F (PCC2) (15.2.2h)
- perte d'une pompe primaire sans AAR partiel (PCC2) (15.2.2k)
- retrait incontrôlé de groupes initié en puissance – pour les vitesses d'insertion de réactivité très élevées (PCC2) (15.2.2m)
- fermeture intempestive d'une vanne ou de toutes les vannes d'isolement vapeur (PCC3) (15.2.3g)
- réduction forcée du débit primaire, 4 pompes (PCC3) (15.2.3i)
- rupture de tuyauterie vapeur dans l'état A, pour les grosses brèches (PCC4) (15.2.4b)
- éjection de grappe initiée en puissance ⁵ (PCC4) (15.2.4e)
- défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué) (PCC4) (15.2.4h)
- rupture de l'arbre d'une pompe primaire (PCC4) (15.2.4i)

événements de Type III :

- défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit de l'eau alimentaire initié à puissance nulle (PCC2) (15.2.2c)
- retrait incontrôlé de groupes initié à puissance nulle dans l'état A (PCC2) (15.2.2m)
- retrait incontrôlé de groupes dans les états B, C ou D (PCC3) (15.2.3m)
- rupture de tuyauterie vapeur (État B - PCC4) (15.2.4b)
- éjection de grappe initiée à puissance nulle (PCC4) (15.2.4e)

4. En ce qui concerne le comportement du RFTC pendant ces événements initiés en puissance, les événements sont enveloppés par le retrait incontrôlé d'un groupe en puissance.

5. De manière pénalisante cet accident est étudié comme les événements de type III.

12. DÉMARCHE DE PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT DES FLUCTUATIONS DE FLUX NEUTRONIQUE DANS LA DEMONSTRATION DE SÛRETÉ

Le démarrage des premiers EPR a mis en évidence une amplitude importante des fluctuations des signaux mesurés par les détecteurs CNP et collectrons, en augmentation au fur et à mesure de l'avancement dans le cycle.

Ce phénomène n'est pas un défaut de mesure mais résulte de réelles Fluctuations de Flux Neutronique (FFN) au sein du cœur. Ces FFN proviennent d'un couplage entre les fluctuations de débit en entrée du cœur et de mouvements coordonnés des assemblages combustibles sous débits transverses.

La prise en compte de l'impact des FFN sur la démonstration de sûreté est étudiée et justifiée ■ en considérant les impacts suivants :

- impact sur les performances des fonctions de protection basées sur les CNP et les collectrons ;
- impact sur le combustible et notamment les facteurs de point chaud ;
- impact sur les données neutroniques.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 34/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 35/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.1 PRINCIPALES DONNÉES GÉOMÉTRIQUES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 36/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.2 CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE
INCERTITUDES MAXIMALES EN ÉTAT PERMANENT EN
CYCLE NATUREL

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 37/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 38/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.3 CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 39/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 40/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.4 COEFFICIENT DE RÉACTIVITÉ

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 41/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.1.5 CONCENTRATION EN BORE DANS LE CIRCUIT
PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 42/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.6 PUISSANCE RÉSIDUELLE (TERME B+C)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 43/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 44/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 45/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.1.7 PUISSANCE RÉSIDUELLE (TERME A+B+C) (%
PN)**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 46/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 47/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.8 CARACTÉRISTIQUES DE LA CHUTE DES GRAPPES (ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 48/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.9 ANTIRÉACTIVITÉ APPORTÉE PAR L'AAR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 49/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.1.10 INSERTIONS LIMITEES DES GROUPES DE
CONTRÔLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 50/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 51/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 52/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 53/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 54/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 55/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 56/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 57/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 58/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□

TAB-15.1.11 CHAÎNES DE PROTECTION RELATIVES AU CŒUR

□



□



□



□

TAB-15.1.12 CHAÎNES DE PROTECTION RELATIVES AUX CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	65/115

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	66/115

□

TAB-15.1.13 DÉMARRAGE DU SYSTÈME D'INJECTION DE SÉCURITÉ

□



TAB-15.1.14 MISE EN SERVICE DU SYSTÈME D'ISOLEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE

□



□

TAB-15.1.15 MISE EN SERVICE DU SYSTÈME D'ISOLEMENT DES LIGNES VAPEUR

□

TAB-15.1.16 MISE EN SERVICE ET ISOLEMENT DU SYSTÈME D'ALIMENTATION DE SECOURS DES GV

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	72/115

TAB-15.1.17 AUTRES SIGNAUX

□



□



□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	75/115

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	76/115

□



□



□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	79/115

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	80/115

□

TAB-15.1.18 ACTIONS DES CHÂÎNES DE PROTECTION

□



□

□

(a) : Fermeture des vannes d'isolement de la ligne grand débit de tous les GV

(b) : Fermeture de la vanne d'isolement de la ligne petit débit du GV affecté (isolement total ARE)

□

(a) : Fermeture des vannes d'isolement de la ligne grand débit de tous les GV

(b) : Fermeture de la vanne d'isolement de la ligne petit débit du GV affecté (isolement total ARE)

□

(a) : Fermeture des vannes d'isolement de la ligne grand débit de tous les GV

(b) : Fermeture de la vanne d'isolement de la ligne petit débit du GV affecté (isolement total ARE)

□

(a) : Fermeture des vannes d'isolement de la ligne grand débit de tous les GV

(b) : Fermeture de la vanne d'isolement de la ligne petit débit du GV affecté (isolement total ARE)

□

- (a) : Fermeture des vannes d'isolement de la ligne grand débit de tous les GV
- (c) : Fermeture de la vanne d'isolement de la ligne petit débit de tous les GV

□

- (a) : Fermeture des vannes d'isolement de la ligne grand débit de tous les GV
- (c) : Fermeture de la vanne d'isolement de la ligne petit débit de tous les GV

□

- (a) : Fermeture des vannes d'isolement de la ligne grand débit de tous les GV



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 85/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.19 DÉLAIS DES ACTIONS DE PROTECTION

□

TAB-15.1.20 INCERTITUDES POUR LES SEUILS DE PROTECTION SUR NIVEAU GV GAMME ÉTROITE

□

TAB-15.1.21 INCERTITUDES POUR LES SEUILS DE PROTECTION SUR NIVEAU GV GAMME LARGE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 88/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.22 FONCTIONS LCO

□



TAB-15.1.23 PERMISSIFS

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	90/115

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	91/115

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	92/115

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	1
			CHAPITRE	15	PAGE	93/115

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 94/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.24 CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ISMP)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 95/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.25 CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ISBP)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 96/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.26 CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ACCU)

□

TAB-15.1.27 CARACTÉRISTIQUES DU RIS (IRWST)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 98/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.28 CARACTÉRISTIQUES DE L'ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 99/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.29 CONTOURNEMENT VIV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 100/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.30 CARACTÉRISTIQUES DES VDA

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 101/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.31 CARACTÉRISTIQUES DES SOUPAPES
SÛRETÉ GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 102/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.32 CARACTÉRISTIQUES DU RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 103/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.33 CARACTÉRISTIQUES DES SOUPAPES DE SURETÉ DU PZR ET DU RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR

□

TAB-15.1.34 CARACTÉRISTIQUES DU PTR

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 105/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.35 CARACTÉRISTIQUES DU JPI

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 106/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.1.36 CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES NON-F1

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 107/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 108/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.1.37 PUISSANCE RÉSIDUELLE DANS LA PISCINE
DE STOCKAGE**

□

**TAB-15.1.38 CARACTÉRISTIQUES DU RIS EN MODE RA,
DU RRI ET DU SEC**

Caractéristiques du RIS en mode RA

Etat	C1	C2	C3	D
Trains RIS-RA en mode RA initialement en fonctionnement	2 / 4 (2 en attente)	3 ou 4 / 4	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP)	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP)
Débit dans les trains RIS-RA en mode RA (m ³ /h)	□	□	□	□
Incertitude (m ³ /train)	□	□	□	□

□

□

TAB-15.1.39 CARACTERISTIQUES DES PISCINES BR ET BK

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 111/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.1.1 SCHÉMA DU GV

□

FIG-15.1.2 SCHÉMA DU PRESSURISEUR



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 113/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.1.3 PRINCIPE DE CHUTE DE PRESSION DU GV

□
□
□

FIG-15.1.4 PRINCIPAUX SYSTÈMES FLUIDES F1A
(SCHÉMA FONCTIONNEL SIMPLIFIÉ)





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 1

PAGE 115/115

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.1.5 COURBES DE FUEL CENSUS

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE : 15

SECTION : 2

PAGE : 1/1

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

15.2 ÉTUDES D'ACCIDENTS

15.2.1 ÉTUDE DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE

15.2.2 TRANSITOIRES PCC-2

15.2.3 TRANSITOIRES PCC-3

15.2.4 TRANSITOIRES PCC-4

SOMMAIRE

.15.2.1 ÉTUDE DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE	3
1. HYPOTHÈSE DE DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE SUR LE SEC, LE RRI ET LE DEL	4
1.1. ETUDE DE LA DÉFAILLANCE PASSIVE SUR LE RRI	4
1.2. ETUDE DE LA DÉFAILLANCE PASSIVE SUR LE SEC	4
1.3. ETUDE DE LA DÉFAILLANCE PASSIVE SUR LE DEL	5
2. HYPOTHÈSE DE DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE SUR LE RIS-RA	5
2.1. ÉVÉNEMENTS INITIATEURS	5
2.2. HYPOTHÈSE DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE	5
2.3. ÉTUDE DES DIFFÉRENTS CAS DE DÉFAILLANCE PASSIVE	6
2.3.1. CIRCUIT PRIMAIRE INTÈGRE	6
2.3.2. CIRCUIT PRIMAIRE NON INTÈGRE	11
2.4. CONCLUSION	17
3. HYPOTHÈSE DE DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE SUR L'ASG	17
3.1. CAS DE DIMENSIONNEMENT AVEC DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE	18
3.1.1. DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE ENTRAÎNANT UNE FUITE SUR UN BARILLET	19
3.1.2. DÉFAILLANCES UNIQUES PASSIVES ENTRAÎNANT UNE RESTRICTION DU DÉBIT OU UN BOUCHON	21
3.1.3. ANALYSE DES CAS DE DIMENSIONNEMENT	21
3.2. CONCLUSION	24

TABLEAUX :

TAB-15.2.1.1	LISTE DES DEFAILLANCES PASSIVES POSSIBLES SUR LE RIS-RA SUIVANT L'ETAT CONSIDERE – ÉLÉMENTS DU RIS POUVANT ETRE AFFECTES PAR LA DEFAILLANCE PASSIVE SUIVANT L'ETAT INITIAL DE FONCTIONNEMENT AVEC UN CIRCUIT PRIMAIRE INTEGRE.....	25
TAB-15.2.1.2	LISTE DES DEFAILLANCES PASSIVES POSSIBLES SUR LE RIS-RA SUIVANT L'ETAT CONSIDERE – ÉLÉMENTS DU RIS POUVANT ETRE AFFECTES PAR LA DEFAILLANCE PASSIVE SUIVANT L'ETAT INITIAL DE FONCTIONNEMENT AVEC UN CIRCUIT PRIMAIRE NON INTEGRE – APRP PB.....	26
TAB-15.2.1.3	SCENARIO EN CAS DE DEFAILLANCE PASSIVE DEGENERANT EN RUPTURE TOTALE – SCENARIO EN CAS DE DEFAILLANCE PASSIVE SUR LE RIS-RA DEGENERANT EN RUPTURE TOTALE SUIVANT L'INITIATEUR ET L'ETAT INITIAL DE FONCTIONNEMENT DU REACTEUR AVEC UN CIRCUIT PRIMAIRE INTEGRE	27
TAB-15.2.1.4	SCENARIO EN CAS DE DEFAILLANCE PASSIVE DEGENERANT EN RUPTURE TOTALE – SCENARIO EN CAS DE DEFAILLANCE PASSIVE SUR LE RIS-RA DEGENERANT EN RUPTURE TOTALE SUIVANT L'INITIATEUR ET L'ETAT INITIAL DE FONCTIONNEMENT DU REACTEUR AVEC UN CIRCUIT PRIMAIRE NON INTEGRE – APRP PB.....	29

FIGURES :

FIG-15.2.1.1	ASG : COMPARAISON ENTRE DÉFAILLANCE UNIQUE ACTIVE ET PASSIVE.....	34
FIG-15.2.1.2	ASG : CAS DE DIMENSIONNEMENT PERTE ARE/AAD AVEC DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE – PRESSION ET TEMPÉRATURE PRIMAIRES	35
FIG-15.2.1.3	ASG : CAS DE DIMENSIONNEMENT PERTE ARE/AAD AVEC DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE – NIVEAUX GV ET PRESSURISEUR.....	36
FIG-15.2.1.4	ASG : CAS DE DIMENSIONNEMENT PERTE ARE/AAD AVEC DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE – CONSOMMATION ASG.....	37

.15.2.1 ÉTUDE DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE

Les études du chapitre 15 doivent démontrer que les objectifs et critères de sûreté présentés dans le paragraphe 2 du sous-chapitre 15.0 sont bien respectés malgré la défaillance unique la plus pénalisante. La défaillance unique envisagée peut être active ou passive.

Les études des sections 15.2.2 (PCC-2), 15.2.3 (PCC-3) et 15.2.4 (PCC-4) tiennent compte de la défaillance unique active. Elles démontrent que l'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr sont atteints, tous les critères de sûreté étant respectés, en dépit de la défaillance unique active la plus pénalisante.

La démonstration que les objectifs et critères de sûreté présentés dans le paragraphe 2 du sous-chapitre 15.0 sont bien respectés malgré une défaillance unique passive est faite dans cette section 15.2.1. Les critères techniques d'acceptation à respecter pour un événement donné avec prise en compte d'une défaillance passive sont identiques à ceux considérés pour ce même événement étudié avec une défaillance unique active.

Les hypothèses prises en compte pour l'analyse de la défaillance passive dans la section 15.2.1 sont les suivantes :

Conformément aux Directives Techniques, la défaillance passive s'applique après 24 heures de fonctionnement, aux systèmes de sûreté F1 véhiculant un fluide et dont la mise en service est nécessaire en situation PCC.

Toutefois, si le système F1 est muni d'un barillet passif, c'est-à-dire d'un barillet inter train qui n'était pas en service avant l'initiateur et dont la mise en service est requise pour gérer un PCC, la défaillance passive sur le barillet est considérée à court terme.

Un taux de fuite conventionnel de 200 l/mn est pris en compte jusqu'à l'isolement de la fuite. Une telle fuite est, si elle n'est pas détectée et isolée, supposée s'accroître jusqu'au débit correspondant à une rupture totale.

Compte tenu de ces hypothèses, la défaillance passive est étudiée :

- 1) Après 24 heures sur les systèmes F1 requis en PCC :
Au bout de 24 h, l'état d'arrêt sûr est déjà atteint pour tous les événements de PCC-2 à PCC-4. La puissance résiduelle est évacuée durablement par la chaîne de refroidissement F1 RISRA/ RRI/SEC. Si nécessaire (en cas d'APRP), l'inventaire en réfrigérant primaire est garanti par le RIS-RA. La conséquence de la défaillance unique passive sur les systèmes suivants est étudiée aux [§ 1.](#) et [§ 2.](#), avec mention des mesures techniques permettant de détecter et de contrôler la fuite résultant de la défaillance unique passive :
 - Circuit d'eau brute secourue (SEC),
 - Circuit de réfrigération intermédiaire (RRI),
 - Circuit de distribution d'eau glacée de sûreté (DEL),
 - Système d'injection de sécurité (RIS-RA).
- 2) Sur les systèmes F1 munis de barillets passifs mis en service pour gérer un PCC :
L'Alimentation de Secours des GV (ASG) est le seul système fluide F1 muni d'interconnexions fluides entre tous les trains secourus qui sont assimilables à des barillets passifs. Par conséquent, bien que le fonctionnement de l'ASG soit limité à la phase court terme (moins de 24 heures) des PCC, la défaillance unique passive sur les barillets de l'ASG est étudiée au [§ 3.](#)

1. HYPOTHÈSE DE DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE SUR LE SEC, LE RRI ET LE DEL

1.1. ETUDE DE LA DÉFAILLANCE PASSIVE SUR LE RRI

L'analyse consiste à évaluer l'impact de la défaillance passive sur l'état sûr et doit démontrer qu'en cas de défaillance passive sur le RRI, il est possible de maintenir ou de rétablir l'état sûr en s'appuyant sur les démonstrations des études d'accident du sous-chapitre 15.2 du Rapport de Sûreté.

Le RRI est constitué de 4 trains indépendants, interconnectés. Chaque train RRI est implanté dans une division du BAS séparée géographiquement des autres divisions. Les équipements principaux du RRI que sont les pompes, les échangeurs, la bêche et les vannes inter-train se trouvent disposés dans l'un des 4 BAS selon le train auquel ils sont affectés.

Le RRI est protégé de l'assèchement en cas de fuite par un automatisme de détection de fuite et d'isolement des communs. Cet automatisme est géré par la surveillance du niveau des baches RRI classé F1A. Les vannes d'isolement des communs sont classées F1B.

La conséquence de la défaillance passive envisagée à long terme sur le système RRI est limitée à une seule division. Elle n'affecte pas le maintien de l'état sûr de la tranche par une chaîne de refroidissement RIS-RA/RRI/SEC en cas de transitoire PCC 2 à 4.

Le système RRI comprend plusieurs barillets permettant :

- Le basculement d'un train sur l'autre pour l'alimentation des communs A (PTR) ou B,
- La mise en communication des barrières thermiques.

La conséquence de la défaillance unique passive envisagée à court terme sur les barillets d'alimentation des communs A (PTR) est sans impact, le niveau de redondance du système PTR permettant de garantir le refroidissement de la piscine de désactivation.

La conséquence de la défaillance unique passive envisagée à court terme sur les barillets d'alimentation des communs B et des barrières thermiques n'est pas étudiée, cette partie du système étant initialement en service.

1.2. ETUDE DE LA DÉFAILLANCE PASSIVE SUR LE SEC

L'analyse consiste à évaluer l'impact de la défaillance passive sur l'état sûr et doit démontrer qu'en cas de défaillance passive sur le SEC, il est possible de maintenir ou de rétablir l'état sûr en s'appuyant sur les études d'accident du sous-chapitre 15.2 du Rapport de Sûreté.

Le système SEC est composé de quatre trains identiques indépendants et séparés géographiquement. Chaque train du circuit SEC assure le refroidissement de son échangeur RRI/SEC associé.

Une défaillance passive sur un train SEC entraîne une baisse du débit SEC qui peut conduire à une perte partielle de la capacité de refroidissement et générer à terme une indisponibilité complète d'un train SEC. L'échangeur RRI/SEC et le train RRI associé à cet échangeur sont alors eux aussi indisponibles.

Le système SEC dispose d'un automatisme permettant la détection d'un dysfonctionnement du SEC, le déclenchement de la pompe SEC et de la pompe RRI associée ainsi que l'enclenchement des pompes SEC et RRI du train interconnecté. Cet automatisme est géré par la surveillance de la pression au refoulement des pompes SEC classée F1A.

La conséquence de la défaillance passive sur la partie F1 du système SEC étant limitée à une seule division, son impact sur l'accomplissement des fonctions de sûreté est, dans tous les cas, enveloppé par l'application de la défaillance active. Par conséquent, la considération d'une défaillance unique passive sur le système SEC ne remet pas en cause le rétablissement et le maintien de l'état d'arrêt sûr.

La conséquence de la défaillance unique passive envisagée à court terme sur la ligne de banalisation SEC n'est pas étudiée, cette partie du système n'étant pas mise en service pour gérer un PCC.

1.3. ETUDE DE LA DÉFAILLANCE PASSIVE SUR LE DEL

Le système DEL de production et de distribution d'eau glacée est constitué de 4 trains indépendants qui fonctionnent quel que soit le régime de fonctionnement de la tranche. Ce système n'est pas mis en service pour gérer un PCC, la défaillance unique passive n'est donc pas appliquée aux matériels qui le composent.

2. HYPOTHÈSE DE DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE SUR LE RIS-RA

La défaillance passive du RIS-RA est envisagée à long terme, après atteinte de l'état d'arrêt sûr en situation post-accidentelle sur un train RIS-RA.

Le train RIS-RA peut être utilisé en mode IS ou en mode RA.

L'analyse consiste à évaluer l'impact de la défaillance passive sur cet état d'arrêt sûr et doit démontrer qu'en cas de défaillance passive sur le RIS-RA, il est possible de maintenir ou de rétablir l'état d'arrêt sûr en s'appuyant sur les démonstrations des études d'évènement du sous-chapitre 15.2 du Rapport de Sûreté.

2.1. ÉVÉNEMENTS INITIATEURS

Pour les besoins de l'analyse de la défaillance passive, les différents événements PCC conduisant à des situations post-accidentelles où le RIS-RA est utilisé pour maintenir l'état d'arrêt sûr sont regroupés de la façon suivante :

- événements avec circuit primaire intègre (états A, B, C, D et E).
- événements avec circuit primaire non intègre :
 - APRP Petite brèche (états A, B, C, D et E),
 - APRP Brèche intermédiaire ou Grosse Brèche (états A, B).

2.2. HYPOTHÈSE DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Pour toute l'étude, les indisponibilités des systèmes vis-à-vis de la maintenance préventive dépendent de l'état du réacteur à l'occurrence de l'évènement initiateur PCC ayant conduit à la situation post-accidentelle.

- Pour les événements initiateurs dont l'occurrence se situe en état A ou B du réacteur, une maintenance préventive est considérée en cours sur un train RIS-RA. De ce fait un train RIS-RA est considéré indisponible à ce titre.
- Pour les événements initiateurs dont l'occurrence se situe dans les états C et D, aucune maintenance préventive n'est considérée sur les trains RIS-RA en cohérence avec les études PCC initiées dans ces états de tranche.
- Pour les événements initiateurs dont l'occurrence se situe en état E « commande groupée non activée », une maintenance préventive est considérée sur un train ISMP en cohérence avec les études PCC initiées dans ces états de tranche.
- Pour les événements initiateurs dont l'occurrence se situe en état E « commande groupée activée », une maintenance préventive est considérée en cours sur un train RIS-RA. De ce fait un train RIS-RA est considéré indisponible à ce titre.

2.3. ÉTUDE DES DIFFÉRENTS CAS DE DÉFAILLANCE PASSIVE

L'occurrence d'une défaillance passive est considérée uniquement sur un train RIS-RA initialement à l'arrêt et mis en service après l'événement initiateur pour rejoindre et/ou maintenir l'état d'arrêt sûr.

Une fuite de la ligne d'aspiration IRWST située dans la double-enveloppe entre l'IRWST et les embouts en partie basse de la vanne 3 voies d'isolement est contenue par la double-enveloppe. Cette fuite conduit à la perte d'un volume d'eau très faible, bien inférieur à celui qui serait perdu en cas de fuite située dans le BAS. De plus, la double-enveloppe étant étanche, cette fuite ne nécessite pas de mesure d'isolement □, Cette fuite particulière est donc sans conséquence et n'est plus considérée dans la suite de l'analyse.

Les accumulateurs n'étant requis qu'à court terme, ne sont donc pas étudiés au titre de la défaillance passive.

L'occurrence d'une défaillance passive est donc considérée uniquement sur la partie d'un train RIS-RA isolable vis-à-vis du circuit primaire et de l'IRWST.

2.3.1. Circuit primaire intègre

Dans ce paragraphe sont considérés les initiateurs ne conduisant pas à une perte de l'intégrité du circuit primaire (PCC hors APRP).

2.3.1.1. État initial avant la défaillance passive

Suivant l'état de fonctionnement considéré, un ou deux trains RIS-RA sont indisponibles dès l'initiateur. Cette indisponibilité résulte :

- de la maintenance préventive sur un train RIS-RA pour les PCC initiés en état A, B ou E « commande groupée activée »,
- de l'initiateur pouvant conduire à la perte d'un train RIS-RA pour les PCC initiés en état C à E.

Pour les initiateurs PCC avec circuit primaire intègre initiés en état A à E « commande groupée non activée », lorsque l'état d'arrêt sûr est atteint, la configuration du système RIS-RA est telle que :

- les pompes ISMP sont arrêtées, 2 à 3 trains ISMP sont disponibles pour un fonctionnement en injection branche froide avec leur ligne à grand débit nul ouverte,
- 3 trains RIS-RA sont disponibles dont au moins un train est connecté en mode RA aspirant en branche chaude et injectant en branche froide pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle.

En état E « commande groupée activée », lorsque l'état d'arrêt sûr est atteint, la configuration du système RIS-RA est telle que :

- un train ISMP est en service avec sa ligne à grand débit nul ouverte et assure la recirculation. Un à deux autres trains ISMP sont disponibles,
- 2 trains RIS-RA sont disponibles et connectés en mode RA aspirant en branche chaude et injectant en branche froide pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle.

En cas d'indisponibilité du RCV, les fuites aux joints des pompes primaires sont alors compensées, si nécessaire, par un train RIS-RA en mode IS. Ces cas sont couverts par les cas de petites brèches primaires analysés au [§ 2.3.2.](#)

Le tableau [TAB-15.2.1.1](#) présente les éléments du système RIS susceptibles d'être affectés par la défaillance passive en fonction de l'état de fonctionnement de la tranche. Le tableau [TAB-15.2.1.3](#) résume la séquence des événements ayant lieu suite à la dégénérescence de la défaillance passive en rupture totale en fonction de l'état de fonctionnement de la tranche, de l'initiateur et de l'élément du RIS affecté par la défaillance passive. L'impact d'un débit de fuite de 200 l/min sur le fonctionnement

du réacteur étant limité, seul le cas d'une fuite dégénérant en rupture totale est résumé dans ce tableau. D'autre part, seule une défaillance passive localisée à l'intérieur de l'enceinte est considérée dans ce tableau. En effet, en cas de défaillance passive localisée dans le BAS, la gestion des scénarios de défaillance passive suivant l'état de fonctionnement et l'initiateur considéré sont similaires et ne nécessitent donc pas d'éléments supplémentaires à ceux présentés dans les paragraphes [§ 2.3.1.2.1.](#), [§ 2.3.1.3.1.](#) et [§ 2.3.1.4.1.](#)

L'analyse suivante doit être adaptée suivant l'état de fonctionnement dans lequel se trouve la tranche au moment de l'initiateur.

2.3.1.2. Etats A à C

Pour un évènement PCC initié en état A à C, l'analyse suivante considère une défaillance passive survenant sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA.

2.3.1.2.1. Défaillance passive dans un BAS

Une défaillance passive sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA localisée dans un BAS, entraîne une perte d'inventaire primaire hors enceinte. Le fluide primaire perdu est collecté dans les puisards du BAS (bâtiment des auxiliaires de sauvegarde) concerné.

Détection de la fuite :

La détection de la fuite est effectuée par les mesures du niveau puisard dans le BAS concerné (voir section 3.4.8 et sous-chapitre 6.3). Le temps de détection est maximal pour les petites brèches dans des états à faible pression.

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

Sur atteinte d'un haut niveau dans les puisards d'un BAS (Max1p), un signal, classé F1A, d'isolement automatique du train RIS-RA fonctionnant en mode RA déclenche la fermeture automatique des vannes d'isolement de la ligne d'aspiration branche chaude et isole ainsi le circuit primaire de la fuite. Ce signal entraîne également l'arrêt de la pompe ISBP du train. Après isolement de la fuite, le train RIS-RA complet est considéré indisponible.

Conséquences :

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train RIS-RA, son impact sur le nombre de trains disponibles pour assurer les fonctions de sûreté du RIS-RA et sur les conditions thermohydrauliques (avec une puissance résiduelle moindre), est dans tous les cas enveloppé par la conséquence de la défaillance unique active, prise en compte dans la démonstration du passage en état d'arrêt sûr pour l'évènement initiateur considéré.

Le volume de fluide primaire relâché dans le BAS conduit à un rejet hors enceinte dont l'impact est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.1.2.2. Défaillance passive dans l'enceinte

Une défaillance passive sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA localisée dans l'enceinte, entraîne une perte d'inventaire primaire dans l'enceinte. L'évènement s'apparente à celui décrit lors d'une brèche sur le système RIS-RA en mode RA avec, en particulier, l'émission d'un signal d'IS, puis l'arrêt automatique du ou des trains en mode RA si la fuite dégénère en rupture totale et du train RA affecté après son identification si cette dernière est possible (voir section 15.2.4q).

Le fluide primaire est collecté in fine dans l'IRWST. Ce volume récupéré peut ainsi être utilisé pour rétablir l'inventaire primaire par l'injection de sécurité.

Détection de la fuite :

un signal IS et éventuellement par le déclenchement des pompes RIS des trains RIS-RA en mode RA si le débit brèche devient suffisamment important (voir sous-chapitre 15.1).

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

En cas de fuite dans le bâtiment réacteur, l'identification du train affecté n'est pas réalisée automatiquement. L'opérateur doit rechercher le train affecté pour isoler la fuite.

Dans le cas où le RCV est hors service ou ne suffit pas à compenser la fuite, un signal IS est émis sur bas ΔP_{sat} ou bas niveau boucle. P14 étant validé, seules les pompes ISMP disponibles sont automatiquement mises en service avec leur ligne à grand débit nul ouverte pour rétablir le niveau primaire.

Les pompes ISBP des trains RIS-RA connectés en mode RA peuvent être déclenchées automatiquement sur le signal de protection très bas ΔP_{sat} ou très bas niveau boucle primaire. L'arrêt du ou des trains en mode RA entraîne une perte de refroidissement du fluide primaire et sa montée en température.

Si les pompes ISBP des trains RIS-RA connectés en mode RA sont automatiquement déclenchées, un premier temps les trains RIS-RA. Puis, lorsque le niveau et la pression du primaire sont stabilisés, un test d'intégrité primaire par dé-isolement séquentiel des trains RIS-RA. Ainsi, reconnecte séquentiellement les trains RIS-RA disponibles en mode RA pour rechercher le train affecté (voir section 15.2.4q).

Si le débit de fuite reste suffisamment faible pour ne pas conduire à un déclenchement automatique des pompes ISBP des trains RIS-RA connectés en mode RA, l'opérateur procède à un test d'intégrité primaire par isolement séquentiel. Ainsi, l'opérateur isole séquentiellement les trains RIS-RA disponibles en mode RA pour rechercher le train affecté.

Enfin, si le débit brèche est inférieur au débit de charge RCV et que le RCV n'est pas utilisable, le TIP n'est pas efficace et ne permet pas d'identifier le train portant la défaillance passive. A la suite du TIP, le primaire est donc déclaré non intègre et le train RIS-RA portant la défaillance passive est remis en service. Les appoints en eau restent en fonctionnement. Par la suite, la défaillance passive peut éventuellement dégénérer en rupture totale. Le débit brèche sera alors plus important que le débit d'injection des pompes ISMP disponibles. La situation se traite de façon similaire au [§ 2.3.2.1.3.1.](#)

Si le train RIS-RA en mode RA affecté a pu être identifié, le circuit primaire de la fuite par la fermeture des vannes d'isolement sur la ligne d'aspiration en branche chaude. Ce train RIS-RA est déclaré indisponible. alors les trains RIS-RA sains en mode RA si ces derniers ont été automatiquement arrêtés.

Conséquences :

Dans le cas où le TIP est efficace, la conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train RIS-RA, son impact sur le nombre de trains disponibles pour assurer les fonctions de sûreté du RIS-RA et sur les conditions thermohydrauliques (avec une puissance résiduelle moindre), est dans tous les cas enveloppé par la conséquence de la défaillance unique active, prise en compte dans la démonstration du passage en état d'arrêt sûr de l'évènement initiateur considéré.

Dans le cas où le TIP n'est pas efficace, le train affecté par la défaillance passive ne peut être identifié et la situation se traite de façon similaire au [§ 2.3.2.1.3.1.](#)

Le volume de fluide primaire relâché dans l'enceinte est couvert par les cas d'APRP pour lesquels la brèche primaire n'est pas isolée et dont l'impact des rejets est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.1.3. États D et E « commande groupée non activée »

Pour un évènement PCC initié en états D et E « commande groupée non activée », l'analyse suivante considère une défaillance passive survenant sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA.

2.3.1.3.1. Défaillance passive dans un BAS

Le cas de la défaillance passive dans un BAS sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA se traite de façon similaire au [§ 2.3.1.2.1.](#)

2.3.1.3.2. Défaillance passive dans l'enceinte

Une défaillance passive sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA localisée dans l'enceinte, entraîne une perte d'inventaire primaire dans l'enceinte. Le fluide primaire est collecté in fine dans l'IRWST. Ce volume récupéré peut ainsi être utilisé pour rétablir l'inventaire primaire par l'injection de sécurité. Si la fuite causée par la défaillance passive n'est pas détectée, cette dernière est susceptible de dégénérer en rupture totale.

Détection de la fuite :

□

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

En cas de fuite dans le bâtiment réacteur, l'identification du train affecté n'est pas réalisée automatiquement. L'opérateur doit rechercher le train affecté pour isoler la fuite. Dans ces états de fonctionnement du réacteur, l'identification, et par conséquent l'isolement, du train affecté par la défaillance passive n'est pas réalisable. □ les appoints en eau pour compenser le débit de fuite, ce dernier pouvant devenir important si la fuite dégénère en rupture totale.

Gestion de la fuite :

Suite à l'apparition de la fuite, un signal IS est émis sur bas niveau boucle, provoquant le démarrage automatique des trains ISMP disponibles. Les pompes RIS des trains RIS-RA connectés en mode RA peuvent être déclenchées automatiquement sur le signal de très bas niveau boucle.

Afin de compenser le débit de la fuite et de maintenir un niveau primaire satisfaisant, □ une surveillance du niveau de la piscine BR et ajuste le nombre de trains ISMP en service. Si nécessaire, □ à démarrer un train RIS-RA en mode IS à débit réduit. Ces moyens d'injection sont alors suffisants pour compenser le débit de la fuite.

Conséquences :

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train RIS-RA, au moins un train RIS-RA reste en service en mode RA et assure l'évacuation de la puissance résiduelle (voir section 15.2.2w). Par ailleurs, le débit d'IS est suffisant pour compenser le débit de fuite ce qui permet de maintenir un niveau d'eau dans les boucles suffisant pour assurer le fonctionnement des trains RIS-RA sains en mode RA. Le respect des critères techniques d'acceptation est donc démontré.

Le volume de fluide primaire relâché dans l'enceinte est couvert par le cas des événements d'APRP pour lesquels la brèche primaire n'est pas isolée et dont l'impact des rejets est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.1.4. État E « commande groupée activée »

Pour un événement PCC initié en état E « commande groupée activée », l'analyse suivante considère une défaillance passive survenant sur le train ISMP assurant la recirculation dans cet état de fonctionnement.

2.3.1.4.1. Défaillance passive dans un BAS

Une défaillance passive sur un train ISMP dans un BAS, entraîne une perte d'inventaire en eau de l'IRWST qui doit être limitée pour garantir le maintien d'un inventaire en eau suffisant dans l'IRWST afin d'assurer le fonctionnement ultérieur en mode IS des trains RIS-RA ou ISMP non affectés.

Détection de la fuite :

□

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

Le train affecté correspond au BAS concerné par l'alarme.

Pour isoler la fuite, [] la vanne d'isolement 3 voies sur la ligne d'aspiration de l'IRWST du train affecté (maintien de l'inventaire en eau de l'IRWST), isoler les autres traversées enceinte du RIS à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte, et arrêter les pompes ISBP et ISMP du train affecté.

Après isolement de la fuite, le train RIS-RA complet est considéré indisponible. [] met en service un des trains ISMP disponibles afin de maintenir la recirculation en service.

Conséquences :

Le volume d'eau perdu dans le BAS avant isolement de la brèche est inférieur à 100 m³. La recirculation reste donc assurée puisque les études réalisées dans cet état de fonctionnement avec prise en compte d'une défaillance active valorisent un volume de rétention de 500 m³ alors qu'il n'est que de 400 m³ dans le cadre de l'étude de défaillance passive en état E.

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train RIS-RA, son impact sur le nombre de trains disponibles pour assurer les fonctions de sûreté du RIS-RA et sur les conditions thermohydrauliques (avec une puissance résiduelle moindre), est enveloppé par la conséquence de la défaillance unique active, prise en compte dans la démonstration du passage en état d'arrêt sûr de l'évènement initiateur considéré.

Le volume de fluide primaire relâché dans le BAS conduit à un rejet hors enceinte dont l'impact est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.1.4.2. Défaillance passive dans l'enceinte

La défaillance passive étant située dans l'enceinte, le fluide est collecté in fine dans l'IRWST. Ce volume récupéré peut ainsi être utilisé pour rétablir l'inventaire primaire à l'aide du RIS avec recirculation sur l'IRWST.

Une défaillance passive de 200l/min sur le train ISMP assurant la recirculation n'affecte pas significativement le débit d'injection dans le circuit primaire. Si elle n'est pas détectée, un accroissement de la fuite pourrait entraîner la perte de l'efficacité de l'injection du train ISMP.

Détection de la fuite :

La défaillance passive sur le train ISMP en service peut être compensée par le débit du train ISMP compte tenu de son débit pris conventionnellement à 200 l/mn. Le cas où la défaillance passive ne peut être détectée et isolée doit être envisagé. Dans ce cas, conformément aux Directives Techniques, la fuite est supposée s'accroître jusqu'au débit correspondant à une rupture totale.

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

En cas de fuite dégénéralant en rupture totale, l'ISMP cesse d'injecter dans le circuit primaire. La recirculation est alors interrompue mais le niveau de la piscine BR reste stable puisque le circuit primaire est intègre.

La défaillance passive n'ayant pas d'impact notable sur l'inventaire en eau primaire ni sur l'inventaire de l'IRWST, [].

Conséquences :

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train ISMP, son impact sur le nombre de trains RIS-RA disponibles pour assurer les fonctions de sûreté du RIS-RA et sur les conditions thermohydrauliques (avec une puissance résiduelle moindre), est enveloppé par la conséquence de la défaillance unique active, prise en compte dans la démonstration du passage en état d'arrêt sûr de l'évènement initiateur considéré.

La défaillance passive conduisant à relâcher dans l'enceinte l'eau de l'ISMP préalablement prélevée dans l'IRWST, elle ne conduit pas à un apport d'énergie supplémentaire dans l'enceinte et l'activité

relâchée dans l'enceinte est couverte par le cas des évènements d'APRP dont l'impact des rejets est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.2. Circuit primaire non intègre

2.3.2.1. APRP Petite brèche

L'analyse suivante concerne les APRP Petite brèche (états A, B, C, D et E).

Compte tenu de la configuration initiale similaire, elle est transposable aux brèches intérieur enceinte sur un train RIS-RA en mode RA pour lesquelles la brèche ne peut être localisée et isolée par la réalisation d'un test d'intégrité primaire (états Cb2 et Cb3).

2.3.2.1.1. Etat initial avant la défaillance passive

Comme indiqué au [§ 2.2.](#) au moins un train RIS-RA est indisponible du fait d'une maintenance préventive ou du fait de l'initiateur.

En cas d'APRP Petite Brèche initié en état A à C, lorsque l'état d'arrêt sûr est atteint, la configuration RIS-RA est telle que :

- les trains ISMP disponibles peuvent être, soit en service avec leur ligne à grand débit nul ouverte, soit en attente et disponibles pour un fonctionnement en injection IS avec leur ligne à grand débit nul ouverte (démarrage automatique sur signal $\Delta P_{sat} < MIN1p$ ou niveau boucle $< MIN1p$). Ainsi, en fonction de la maintenance préventive (exclu en état C) et de la localisation de la brèche APRP initiale, entre deux et quatre trains ISMP sont initialement en service ou à l'arrêt et disponibles pour l'injection en BF avec leur ligne à grand débit nul ouverte,
- suivant l'initiateur et l'état initial considéré, un train RIS-RA peut fonctionner en mode IS aspirant l'eau de l'IRWST et injectant dans la branche froide pour le maintien de l'inventaire du fluide primaire. Cette injection compense la perte d'inventaire en eau postulée,
- et au moins un train RIS-RA est connecté en mode RA aspirant en branche chaude et injectant en branche froide pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle.

En état D et E, « CG non activée » lorsque l'état d'arrêt sûr est atteint, la configuration du système RIS-RA est telle que :

- Un train ISMP est en service avec sa ligne à grand débit nul ouverte et assure la recirculation. Un à deux autres trains ISMP sont disponibles,
- Trois trains RIS-RA sont disponibles et connectés en mode RA aspirant en branche chaude et injectant en branche froide pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle.

En état E « CG activée » lorsque l'état d'arrêt sûr est atteint, la configuration du système RIS-RA est telle que :

- Un train ISMP est en service avec sa ligne à grand débit nul ouverte et assure la recirculation. Un autre train ISMP est disponible,
- Deux trains RIS-RA sont disponibles et connectés en mode RA aspirant en branche chaude et injectant en branche froide pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle.

La configuration des trains RIS-RA pour l'état d'arrêt sûr d'un PCC avec primaire intègre sans injection aux joints des GMPP est similaire. Par conséquent, l'analyse suivante s'applique également à ce cas de figure.

Deux cas de défaillance passive sont étudiés :

- sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA,
- sur un train ISMP ou RIS-RA fonctionnant en mode IS.

Le tableau [TAB-15.2.1.2](#) présente les éléments du système RIS susceptibles d'être affectés par la défaillance passive en fonction de l'état de fonctionnement de la tranche. Le tableau [TAB-15.2.1.4](#) résume la séquence des événements ayant lieu suite à la dégénérescence de la défaillance passive en fonction de l'état initial de fonctionnement de la tranche, de l'initiateur et de l'élément du RIS affecté par la défaillance passive. L'impact d'un débit de fuite de 200 l/min sur le fonctionnement du réacteur étant limité, seul le cas d'une fuite dégénéralant en rupture totale est résumé dans ce tableau. D'autre part, seule une défaillance passive localisée à l'intérieur de l'enceinte est considérée dans ce tableau. En effet, en cas de défaillance passive localisée dans le BAS, la gestion de la défaillance passive est similaire suivant l'état initial de fonctionnement et l'initiateur considéré et ne nécessite donc pas d'éléments supplémentaires à ceux présentés dans le [§ 2.3.2.1.2](#).

2.3.2.1.2. Défaillance passive dans un BAS

L'analyse d'une défaillance passive localisée dans un BAS pour les événements d'APRP est valable pour les états A, B, C, D et E.

Le cas de la défaillance passive dans un BAS sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA se traite de façon similaire au [§ 2.3.1.2.1](#) ci-avant. Ainsi, seul le cas de la défaillance passive sur un train fonctionnant en mode IS est analysé ci-après.

Une défaillance passive sur un train ISMP ou RIS-RA en mode IS dans un BAS, entraîne une perte d'inventaire en eau de l'IRWST qui doit être limitée pour garantir le maintien d'un inventaire en eau suffisant dans l'IRWST afin d'assurer le fonctionnement ultérieur en mode IS des trains RIS-RA ou ISMP non affectés.

Détection de la fuite :

□

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

Le train affecté correspond au BAS concerné par l'alarme.

Pour isoler la fuite, □ 3 voies sur la ligne d'aspiration de l'IRWST du train affecté (maintien de l'inventaire en eau de l'IRWST), isoler les autres traversées enceinte du RIS à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte, et arrêter les pompes ISBP et ISMP du train affecté, en ayant, si nécessaire, effectué au préalable une RAZ du signal IS sur ce train.

Après isolement de la fuite, le train RIS-RA complet est considéré indisponible.

□ un des trains ISMP disponibles afin de maintenir l'inventaire en eau du primaire ou d'assurer le maintien de la recirculation.

Conséquences :

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train RIS-RA, son impact sur le nombre de trains disponibles pour assurer les fonctions de sûreté du RIS-RA et sur les conditions thermohydrauliques (avec une puissance résiduelle moindre), est enveloppé par la conséquence de la défaillance unique active, prise en compte dans la démonstration du passage en état d'arrêt sûr de l'étude d'APRP Petite Brèche (états C, D et E) (voir section 15.2.4g).

L'ordre de grandeur du volume d'eau relâché dans les BAS (moins d'une centaine de m³) avant isolement de la brèche n'est pas de nature à remettre en cause les résultats des études de la section 15.2.4g (avec défaillance unique active), l'inventaire de l'IRWST restant suffisant pour assurer le fonctionnement des pompes RIS. Le volume d'eau relâché dans le BAS avant isolement de la fuite est faible par rapport à l'inventaire en eau de l'IRWST. A noter qu'en état E, le volume de rétentions utilisé dans le cadre de l'étude de défaillance passive est dépenalisé de 100 m³ par rapport à l'étude réalisée avec une défaillance active. Le volume d'eau primaire perdu dans le BAS étant inférieur à 100 m³, la recirculation reste donc assurée dans cet état de fonctionnement.

Les conséquences du relâchement dans un BAS sont couvertes par le cas de la brèche isolable sur le système RIS-RA en mode RA (états C, D et E) dont l'impact est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.2.1.3. Défaillance passive dans l'enceinte

L'analyse d'une défaillance passive localisée dans l'enceinte pour les événements d'APRP doit être adaptée suivant l'état de fonctionnement dans lequel se trouve la tranche au moment de l'initiateur.

2.3.2.1.3.1. Etat A à C

Une défaillance passive sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA entraîne une perte d'inventaire primaire dans l'enceinte. Dans ce cas, la perte d'inventaire primaire est initialement compensée par le train RIS-RA en mode IS ou par les trains ISMP déjà en fonctionnement.

Lorsque la défaillance passive se traduit par une fuite sur un train RIS en mode IS, les conséquences n'affectent pas significativement le débit d'IS.

Si elle n'est pas détectée, un accroissement de la fuite pourrait entraîner la perte de l'efficacité de l'injection du train RIS. La brèche APRP initiale ne serait plus compensée entraînant une perte de l'inventaire en eau du circuit primaire. Dans ce cas, si la défaillance passive affecte un train ISMP ou un train RIS-RA en mode IS, le non-découvrement du cœur est assuré par les pompes ISMP en service ou démarrées par le signal IS avec leur ligne à grand débit nul ouverte et par le train RIS-RA pouvant être en service en mode IS suivant l'initiateur. Dans le cas où la défaillance passive est portée par un train RIS-RA en mode RA, les trains ISMP et le train RIS-RA pouvant être en service en mode IS peuvent être insuffisants pour compenser le débit brèche ainsi que le débit de la défaillance passive. Toutefois, le niveau primaire ne descendra pas sous le bas des branches chaudes puisque la puissance résiduelle est très faible au moment de l'apparition de la défaillance passive et que les trains ISMP et ISBP en service compensent largement le débit de vaporisation du cœur.

Le fluide est collecté dans l'IRWST. Ce volume récupéré peut ainsi être utilisé pour rétablir l'inventaire primaire à l'aide du RIS avec recirculation sur l'IRWST.

Détection de la fuite :

La défaillance passive sur le train RIS-RA fonctionnant en mode IS, un train RIS-RA en mode RA ou un train ISMP en service peut être compensée par le débit IS du train RIS fonctionnant en mode IS ou du train ISMP compte tenu de son débit pris conventionnellement à 200 l/mn. Dans ce cas la défaillance passive n'a pas d'impact. Toutefois, le cas où elle ne peut être détectée et isolée doit être envisagé. Dans ce cas, conformément aux Directives Techniques, la fuite est supposée s'accroître jusqu'au débit correspondant à une rupture totale.

Si le débit IS du train en service est insuffisant pour compenser la fuite, l'activation du signal IS émis sur bas niveau boucle ou bas ΔP_{sat} démarrant .

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

Si la défaillance passive est compensée par le train RIS-RA fonctionnant en mode IS ou par les trains ISMP en service sans apparition d'un nouveau signal et sans démarrage de train ISMP supplémentaire, l'opérateur ne fait aucune action.

Si la défaillance passive est située sur le train RIS-RA fonctionnant en mode IS, et que l'accroissement de la fuite conduit à ne plus compenser la brèche primaire, les trains ISMP déjà en service ou disponibles et démarrés sur signal d'IS permettent de conserver à minima le non-découvrement du cœur. En effet, le circuit primaire est isolé de la fuite par la pression maintenue par l'injection du train ISBP puis par les clapets d'isolement primaire (en cas d'accroissement de la brèche jusqu'à la rupture totale). Si les trains ISMP sont insuffisants pour compenser le débit perdu à la brèche, les trains RIS-RA sont automatiquement déclenchés sur le signal de très bas niveau boucle. Toutefois, du fait de sa localisation, la brèche ne conduit pas à un découvrement du cœur puisque les trains ISMP en service compensent le débit de vaporisation du cœur. Le cœur reste donc couvert et l'évacuation de la puissance résiduelle est réalisée par le débit à la brèche initiatrice.

Si la défaillance passive est située sur un train ISMP en service, la brèche primaire restera compensée par le train RIS-RA pouvant être en service en mode IS suivant l'initiateur et l'état initial considéré et/ou par les autres trains ISMP en service, y compris en cas d'accroissement de la défaillance passive jusqu'à la rupture totale, le circuit primaire étant isolé de la fuite par la pression maintenue par l'injection du train ISMP puis par les clapets d'isolement primaire. Le refroidissement du circuit reste donc assuré par les trains RIS-RA en service en mode RA. A noter qu'en états Cb2 et Cb3, l'opérateur réalise une surveillance du niveau de la piscine BR afin de maintenir la recirculation.

Si la défaillance passive est située sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA, les trains ISMP en service ou disponibles démarrés sur signal d'IS ainsi que le train RIS-RA en mode IS, s'il est en service, injectent dans le circuit primaire et permettent d'éviter le découvrement du cœur. Selon la configuration et l'état initial considéré, le refroidissement du circuit primaire est assuré par les trains RIS-RA en mode RA tant qu'ils fonctionnent, par le train RIS-RA fonctionnant en mode IS, le débit à la brèche liée à la défaillance passive, le débit à la brèche initiatrice ainsi que par les GV s'ils sont encore disponibles.

Conséquences :

La conséquence de la défaillance passive est un démarrage automatique des trains ISMP dont le débit peut s'avérer insuffisant pour compenser le débit brèche, suivant l'élément du système RIS affecté par la défaillance. Les trains RIS-RA en service en mode RA peuvent alors être automatiquement déclenchés. La puissance résiduelle est évacuée par le ou les trains RIS-RA en mode RA tant qu'ils fonctionnent, par le train RIS-RA fonctionnant en mode IS, le débit à la brèche liée à la défaillance passive, le débit à la brèche initiatrice ainsi que par les GV s'ils sont encore disponibles. Du fait de sa localisation, la brèche ne conduit pas à un découvrement du cœur puisque les trains ISMP en service compensent le débit de vaporisation du cœur. Le cœur reste donc couvert. Ainsi, le respect des critères techniques d'acceptation est assuré.

L'activité relâchée dans l'enceinte est couverte par les événements d'APRP dont l'impact des rejets associés est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.2.1.3.2. Etats D à E « commande groupée non activée »

Une défaillance passive sur un train ISMP ou sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA localisée dans l'enceinte, entraîne une perte d'inventaire primaire dans l'enceinte. Le fluide primaire est collecté in fine dans l'IRWST. Ce volume récupéré peut ainsi être utilisé pour rétablir l'inventaire primaire par l'injection de sécurité.

Détection de la fuite :

L'opérateur exerce une surveillance du niveau de la piscine BR et détecte donc la fuite à la suite de la baisse de ce niveau.

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

Du fait de l'initiateur considéré, l'identification, et par conséquent l'isolement, du train affecté n'est pas réalisable. □ pour compenser le débit de la brèche ainsi que celui de la fuite, ce dernier pouvant devenir important si la fuite dégénère en rupture totale.

Gestion de la fuite :

Suite à l'apparition de la fuite, un signal IS est émis sur bas niveau boucle, provoquant le démarrage automatique des trains ISMP disponibles. Les pompes ISBP des trains RIS-RA connectés en mode RA peuvent être déclenchés automatiquement sur le signal de très bas niveau boucle.

Afin de compenser le débit de la fuite ainsi que celui de la brèche et de maintenir un niveau primaire satisfaisant, l'opérateur ajuste le nombre de trains ISMP en service. Si nécessaire (en cas de débit important de la fuite), □ démarrer un train RIS-RA en mode IS à débit réduit. Ces moyens d'injection sont alors suffisants pour compenser le débit de la fuite.

Conséquences :

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train RIS-RA, au moins un train RIS-RA reste en service en mode RA et assure l'évacuation de la puissance résiduelle (voir section 15.2.2w). Par ailleurs, le débit d'IS est suffisant pour compenser le débit de fuite ce qui permet de maintenir un niveau d'eau dans les boucles suffisant pour assurer le fonctionnement des trains RIS-RA sains en mode RA. Le respect des critères techniques d'acceptation est donc démontré.

L'activité relâchée dans l'enceinte est couverte par les événements d'APRP dont l'impact des rejets associés est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.2.1.3.3. Etat E « commande groupée activée »

Une défaillance passive sur le train ISMP en service assurant la recirculation et localisée dans l'enceinte, entraîne une perte d'inventaire primaire dans l'enceinte. L'eau perdue à la brèche est collectée in fine dans l'IRWST et le volume récupéré peut ainsi être utilisé pour rétablir l'inventaire primaire par l'injection de sécurité.

Une défaillance passive sur le train ISMP assurant la recirculation entraîne une baisse du débit d'injection dans le circuit primaire.

Détection de la fuite :

Le débit perdu au titre de la défaillance passive étant négligeable par rapport à celui du train ISMP en service et assurant la recirculation, la défaillance passive ne sera pas détectée. Dans ce cas et conformément aux directives techniques, la défaillance passive est supposée dégénérer en rupture totale.

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

La défaillance passive n'ayant pas d'impact notable sur l'inventaire en eau primaire ni sur l'inventaire de l'IRWST tant que la fuite n'a pas dégénéré en rupture totale, ¶.

En cas de fuite dégénérant en rupture totale, l'ISMP cesse d'injecter dans le circuit primaire. La brèche initiatrice n'est alors plus compensée et le niveau de la piscine BR décroît. ¶ assure une surveillance du niveau de la piscine BR isole et déclare définitivement inutilisable le train ISMP en service et met en service un autre train ISMP. La brèche causée par la défaillance passive est donc isolée et seule la brèche primaire est alors à considérer. La recirculation est assurée à l'aide du train ISMP mis en service.

Conséquences :

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train ISMP, son impact sur le nombre de trains RIS-RA disponibles pour assurer les fonctions de sûreté du RIS-RA et sur les conditions thermohydrauliques (avec une puissance résiduelle moindre), est enveloppé par la conséquence de la défaillance unique active, prise en compte dans la démonstration du passage en état d'arrêt sûr de l'évènement initiateur considéré.

La défaillance passive conduisant à relâcher dans l'enceinte l'eau de l'ISMP préalablement prélevée dans l'IRWST, elle ne conduit pas à un apport d'énergie supplémentaire dans l'enceinte et l'activité relâchée dans l'enceinte est couverte par le cas des événements d'APRP dont l'impact des rejets est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.2.2. APRP Brèche intermédiaire ou Grosse Brèche

2.3.2.2.1. Etat initial avant la défaillance passive

L'analyse considère les états réacteurs A et B où, du fait de la maintenance préventive, seuls 3 trains RIS-RA sont disponibles.

En cas d'APRP Brèche Intermédiaire ou Grosse Brèche lorsque l'état d'arrêt sûr est atteint, le cœur est refroidi par le RIS-RA dans la configuration suivante :

- tous les trains RIS-RA disponibles injectent en mode IS en branche chaude sauf si l'APRP est initié en état B et que la brèche initiatrice fait partie de la partie inférieure du spectre de brèches PCC-4. Pour cette partie du spectre, au moins un train RIS-RA est en fonctionnement en mode RA.
- les trains ISMP disponibles injectent dans la branche froide avec leur ligne à grand débit nul ouverte.

Ces moyens d'injection compensent la brèche postulée et la fuite aux joints des pompes primaires.

2.3.2.2.2. Défaillance passive dans un BAS

Le cas de la défaillance passive dans un BAS sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA se traite de façon similaire au [§ 2.3.1.2.1.](#) ci-avant.

Une défaillance passive sur un train ISMP ou RIS-RA en mode IS dans un BAS, entraîne une perte d'inventaire en eau de l'IRWST hors enceinte qui doit être limitée pour garantir un inventaire en eau suffisant de l'IRWST pour assurer le fonctionnement des pompes ISMP ou RIS-RA en mode IS.

En cas d'arrêt des pompes RIS du train affecté, du fait des conditions dégradées dans le BAS, la fuite est susceptible d'être alimentée depuis l'IRWST et/ou depuis la ligne d'injection en Branche Chaude.

Ce cas est identique au cas précédent (voir [§ 2.3.2.1.2.](#)) en termes de moyens de détection et d'isolement de la fuite.

Conséquences :

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train RIS-RA, son impact sur le nombre de trains disponibles pour assurer les fonctions de sûreté du RIS-RA et sur les conditions thermohydrauliques (avec une puissance résiduelle moindre), est dans tous les cas enveloppé par la conséquence de la défaillance unique active, prise en compte dans la démonstration du passage en état d'arrêt sûr de l'étude d'APRP Brèche Intermédiaire ou Grosse brèche (voir section 15.2.4f).

Le volume d'eau relâché dans le BAS est faible au regard de l'inventaire en eau de l'IRWST, dont le niveau reste suffisant pour assurer le fonctionnement des pompes RIS. Les caractéristiques du fluide perdu à la brèche sont susceptibles d'être différentes de celles du fluide primaire considérées dans le cas de brèche du RIS-RA en mode RA, en particulier l'activité du fluide primaire, plus importante en cas d'APRP GB. L'impact des rejets correspondants est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.3.2.2.3. Défaillance passive dans l'enceinte

La défaillance passive étant située dans l'enceinte, le fluide est collecté dans l'IRWST. Ce volume récupéré peut ainsi être utilisé pour rétablir l'inventaire primaire à l'aide du RIS avec recirculation sur l'IRWST.

Une défaillance passive sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA entraîne une perte d'inventaire primaire dans l'enceinte. Dans ce cas, la perte d'inventaire primaire est initialement (débit de fuite de 200 l/min) compensée par le train RIS-RA en mode IS et/ou par les trains ISMP déjà en fonctionnement.

Une défaillance passive sur un train ISMP ou RIS-RA en mode IS entraînera une baisse du débit d'injection dans le circuit primaire.

Détection de la fuite :

Avec un débit de 200 l/min, le débit perdu au titre de la défaillance passive étant négligeable par rapport à celui de l'APRP GB et le signal IS étant toujours présent, la défaillance passive ne sera pas détectée.

Identification du train affecté et isolement de la fuite :

La défaillance passive n'ayant pas d'impact notable sur l'inventaire en eau primaire ni sur l'inventaire de l'IRWST tant que la fuite n'a pas dégénéré en rupture totale, l'opérateur ne fait aucune action.

En cas de fuite dégénérant en rupture totale :

- si la défaillance passive est située sur un train RIS injectant uniquement en branche froide, le circuit primaire est isolé de la fuite par les clapets d'isolement primaire ;
- si la défaillance passive est située sur la partie d'un train RIS injectant en branche chaude, la défaillance passive n'est pas isolée automatiquement. Dans ce cas, l'injection des trains ISBP et ISMP disponibles permet de maintenir l'inventaire en eau primaire. En effet, en cas d'APRP de brèche intermédiaire et de grosse brèche le circuit primaire est suffisamment dépressurisé pour que les 2 pompes ISBP et 3 trains ISMP restants assurent le maintien de l'inventaire en eau du circuit primaire et la puissance résiduelle suffisamment faible après 24 heures pour être évacuée par les 3 échangeurs ISBP (hypothèse que la pompe affectée par la défaillance passive est toujours en service et gère la brèche) ;
- si la défaillance passive est située sur un train RIS-RA fonctionnant en mode RA, les trains ISMP en service ou disponibles (démarrés sur signal d'IS) ainsi que le train RIS-RA en mode IS (s'il est en service) injectent dans le circuit primaire et permettent d'éviter le découvrement du cœur. Selon la configuration et l'état initial considéré, le refroidissement du circuit primaire est assuré par le train RIS-RA en mode RA tant qu'il fonctionne, par le train RIS-RA fonctionnant en mode IS, le débit à la brèche induite par la défaillance passive et par le débit à la brèche initiatrice.

Conséquences :

La conséquence de la défaillance unique passive étant limitée à un train RIS-RA, son impact sur le nombre de trains disponibles pour assurer les fonctions de sûreté du RIS-RA et sur les conditions thermohydrauliques (avec une puissance résiduelle moindre), est enveloppé par la conséquence de la défaillance unique active, prise en compte dans la démonstration du passage en état d'arrêt sûr de l'étude d'APRP Brèche Intermédiaire ou Grosse brèche (voir section 15.2.4f).

La défaillance passive conduisant à relâcher dans l'enceinte l'eau du RIS-RA préalablement prélevée dans l'IRWST, elle ne conduit pas à un apport d'énergie supplémentaire dans l'enceinte et l'activité relâchée dans l'enceinte est couverte par l'APRP GB dont l'impact des rejets associés est évalué dans le sous-chapitre 15.3.

2.4. CONCLUSION

Dans les cas étudiés, la défaillance passive peut perturber l'état d'arrêt sûr du réacteur mais, après action opérateur, un état d'arrêt sûr peut être rejoint au moyen des systèmes F1, en respectant les critères techniques d'acceptation mentionnés dans le paragraphe 2 du sous-chapitre 15.0 :

- la sous-criticité est assurée par l'injection d'eau borée par les moyens ISMP et/ou ISBP disponibles,
- l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les échangeurs ISBP disponibles, que ce soit en mode RA ou en mode IS,
- le non-découvrement du cœur est assuré,
- les rejets dus à une défaillance passive sur un train RIS-RA en mode IS ou RA dans un BAS sont évalués au sous-chapitre 15.3.

3. HYPOTHÈSE DE DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE SUR L'ASG

Ce paragraphe étudie la tolérance du dimensionnement de l'ASG vis-à-vis de la défaillance unique passive dans la phase court terme d'un événement.

Cette démonstration consiste à vérifier qu'il reste possible, malgré la prise en compte d'une défaillance passive sur les barillets de l'ASG, d'atteindre les conditions de validation du permissif P14 et de connexion du RIS-RA en mode RA (pression inférieure à 32 bar, température inférieure à 180°C dans

deux branches chaudes au moins), mais également de couvrir les cas où le refroidissement sur les GV est mené jusqu'à 135°C lors du passage en état de repli en conduite incidentelle, avant épuisement des bâches ASG et passage de tous les niveaux GV en-dessous de leur seuil d'indisponibilité au sens de l'APE (c'est-à-dire 14%GL).

L'ASG est constituée de 4 trains indépendants, interconnectés par 2 « barillets passifs » (voir figure [FIG-15.2.1.1](#)) :

- Le barillet passif placé en amont des pompes ASG, permet d'utiliser la totalité de la quantité d'eau des 4 bâches ASG au moyen d'une seule pompe ASG.
- Le barillet passif placé en aval des pompes ASG, permet d'alimenter tout GV disponible à partir d'une pompe ASG disponible, en cas d'indisponibilité d'une ou plusieurs autres pompes ASG et/ou d'indisponibilité d'un ou plusieurs autres GV.

Ces barillets sont isolés en fonctionnement normal de la tranche, c'est-à-dire que toutes les vannes sont fermées à l'exception :

- De la vanne du barillet amont des pompes ASG située dans la division en maintenance préventive, qui peut être intentionnellement ouverte pour rendre la bâche disponible à tout autre train ASG,
- Des deux vannes implantées sur le barillet amont proprement dit (partie commune aux 4 bâches du barillet) qui sont ouvertes afin de garantir la disponibilité du relignage de l'aspiration des pompes ASG en cas d'inondation ou d'incendie.

. Cette connexion s'effectue pour le barillet amont (elle est envisageable 1 heure après l'Arrêt Automatique du Réacteur dans les études PCC). Les vannes du barillet aval des pompes ASG sont quant à elles motorisées, ce qui permet une ouverture du barillet aval au plus tard 30 minutes après la première information significative en salle de commande.

Les évènements PCC les plus pénalisants en ce qui concerne la conception et le dimensionnement de l'ASG sont :

- la Rupture de Tuyauterie d'Eau alimentaire (RTE),
- la Rupture de Tubes de Générateur de Vapeur (RTGV 1 tube et 2 tubes),
- la Perte de l'eau alimentaire normale (Perte ARE/AAD).

Seul le dimensionnement des bâches ASG est traité car c'est le seul dimensionnement de matériel concerné par la défaillance unique passive. En effet, le dimensionnement des pompes ASG n'est pas sensible à la défaillance unique passive et son adéquation vis-à-vis des objectifs de sûreté est démontrée dans l'étude des accidents PCC de RTE (voir section 15.2.4c).

L'impact de la fuite est également traité dans la section relative à « l'inondation interne » (voir section 3.4.8).

3.1. CAS DE DIMENSIONNEMENT AVEC DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE

En cas de défaillance unique passive, au moins trois trains VDA et deux trains RBS sont disponibles pour le passage sur le RIS-RA en mode RA, ce qui permet de réaliser le refroidissement du circuit primaire à une vitesse constante de -50°C/h lors du passage en arrêt à froid en conduite accidentelle (cas de la RTE et des RTGV). En revanche, lors du passage en état de repli en conduite incidentelle (potentiellement cas de la Perte ARE/AAD), même avec deux trains RBS disponibles, la procédure de conduite demande une réduction du gradient de refroidissement de -50°C/h à -25°C/h si le niveau pressuriseur passe en-dessous du seuil MIN2 PZR, afin de restaurer l'inventaire en eau.

Dans un premier temps, afin de déterminer la quantité d'eau ASG disponible, les différentes défaillances uniques passives possibles sont répertoriées et analysées dans les [§ 3.1.1.](#) et [§ 3.1.2.](#) La figure [FIG-15.2.1.1](#) en donne une illustration explicative.

Dans un deuxième temps, afin de vérifier que la quantité maximale d'eau ASG requise n'excède pas la quantité d'eau disponible, les différents cas de dimensionnement sont analysés dans le [§ 3.1.3.](#)

3.1.1. Défaillance unique passive entraînant une fuite sur un barillet

3.1.1.1. ¶ relatives aux barillets

Les conséquences d'une défaillance unique passive sont étudiées avec les hypothèses conservatives suivantes :

- Le barillet passif placé en amont des pompes, est ouvert avant vidange des bâches ASG attribuées aux pompes ASG disponibles. On suppose que les 4 vannes des 4 bâches sont ouvertes en même temps.
- Le barillet passif placé en aval des pompes, est ouvert pour alimenter au moins deux GV. Dans la plupart des cas, l'opération consiste à religner la pompe ASG disponible attribuée au GV affecté (par une RTE ou une RTGV) en direction du GV non alimenté dépendant de la division en maintenance préventive.

Plusieurs cas de figures peuvent être rencontrés par l'opérateur :

Défaillance unique passive sur le barillet ASG amont :

¶

Le débit maximal de fuite sur le barillet ASG amont est inférieur au débit maximal d'une fuite non détectée sur le barillet ASG aval. Ce cas ne représente donc pas le cas le plus pénalisant.

Défaillance unique passive sur le barillet ASG aval :

Si la défaillance unique passive a lieu sur le barillet ASG aval, ¶ pour la détection de la fuite sur le barillet aval est la suivante :

- si le débit ASG en amont du barillet aval est inférieur à ¶ m³/h (débit mesuré) : ¶ la conduite prévue dans le module de contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés, c'est-à-dire maintenir ou ramener le niveau GV à sa valeur de consigne.
- si le débit ASG en amont du barillet aval est supérieur à ¶ m³/h (débit mesuré) et :
 - si le débit sur un des GV alimentés par le barillet ASG est inférieur à ¶ m³/h (débit mesuré) alors un rondier est envoyé pour détecter la fuite en local;
 - si le débit sur chacun des deux GV alimentés par le barillet ASG est supérieur à ¶ m³/h (débit mesuré) alors le débit sur le capteur en amont du barillet ASG aval est comparé au débit sur les capteurs en aval de chacun des deux GV alimentés. De cette manière la fuite peut être localisée. Les mesures de débit en amont et en aval du barillet sont F1A.

En considérant la défaillance unique passive sur le barillet ASG aval et en prenant en compte les incertitudes sur la mesure de débit en amont et en aval du barillet, si la fuite est supérieure à ¶ m³/h (débit réel) elle peut être détectée¶. Après détection de la fuite, ¶ :

- Isoler le barillet ASG aval, de façon à arrêter la perte d'eau depuis plusieurs bâches,
- Localiser et isoler la fuite,
- Raligner le barillet amont ou aval, afin de disposer d'autant de pompes que possible.

Le cas d'une fuite supérieur à ¶ m³/h ne sera pas traité ici, car du fait de l'isolement du barillet ASG, il reste 4 bâches ASG et selon les événements 2 ou 3 GV pour atteindre l'état d'arrêt sûr (cf. figure [FIG-15.2.1.1](#)), ce qui est équivalent aux événements avec prise en compte d'un critère de défaillance unique active (sections 15.2.4c, 15.2.3f, 15.2.4k, 15.2.2i).

Si la fuite est inférieure à $1 \text{ m}^3/\text{h}$ elle ne peut pas être détectée. Les évènements de RTE, RTGV 1 tube, RTGV 2 tubes, Perte ARE/AAD avec prise en compte de la non détection de la fuite sont traités dans la suite en considérant une fuite maximale sur le barillet ASG aval de $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Si la fuite est supérieure à $1 \text{ m}^3/\text{h}$, elle sera détectée mais le volume d'eau perdu avant l'isolement de la brèche 1 (30 min) doit être pris en compte pour évaluer la consommation des bâches ASG. Les évènements de RTE, RTGV 1 tube, RTGV 2 tubes, Perte ARE/AAD considérant une fuite maximale non détectée sur le barillet ASG aval de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ doivent donc également couvrir les cas où la brèche serait amenée à dégénérer en une brèche 2A au cours de l'évènement (cas le plus pénalisant).

Dans la suite les calculs sont menés de façon à être enveloppe des cas où la fuite sur le barillet est supérieure à $1 \text{ m}^3/\text{h}$ (prise en compte du cas pénalisant d'une fuite de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ qui dégénère en une brèche 2A) en considérant un volume d'eau maximum perdu à la brèche correspondant à une pompe ASG injectant au débit maximum pendant 30 min (délai pour l'isolement de la brèche 1).

3.1.1.2. Localisations possibles d'une défaillance unique passive

Une défaillance unique passive peut s'envisager à n'importe quel endroit sur un barillet passif de l'ASG :

- Fuite sur le barillet passif placé en amont des pompes (localisation A sur la figure [FIG-15.2.1.1](#) « défaillance unique passive ») : La fuite ne sera pas détectée et ne sera donc pas isolée. Les 4 bâches ASG restent disponibles mais une partie de l'eau est perdue à la brèche. On considère une pompe en maintenance préventive, on dispose alors de 3 pompes ASG qui alimentent 3 GV (cas de la RTE et des RTGV) ou 4 GV (cas de la perte ARE) par le barillet aval des pompes.
- Fuite sur le barillet placé en aval des pompes (localisation B sur la figure [FIG-15.2.1.1](#) « défaillance unique passive ») :
 - si la fuite est détectée 1 , après isolement de la fuite, par isolement du barillet aval des pompes (toutes les vannes du barillet sont fermées), la pompe ASG attribuée au GV affecté n'est plus disponible, et l'alimentation du GV dans la division en maintenance préventive n'est plus possible. Les éléments qui restent disponibles sont 4 bâches ASG par le barillet amont des pompes, 2 pompes ASG qui alimentent 2 GV (cas de la RTE et des RTGV). Pour le transitoire de perte ARE, 3 pompes ASG sont disponibles et 3 GV restent alimentés. Les cas de fuites supérieures à $1 \text{ m}^3/\text{h}$ sont couverts par l'analyse d'une fuite de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ dégénérant en une brèche 2A une demi-heure 1 avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.
 - si la fuite n'est pas détectée 1 , il n'y a pas d'isolement du barillet ASG aval et la pompe ASG attribuée au GV affecté reste disponible. Mais une fuite de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ doit être prise en compte au moment de l'ouverture du barillet. Les éléments qui restent disponibles sont 4 bâches ASG, 3 pompes ASG qui alimentent 3 GV (cas de la RTE et des RTGV) ou 4 GV (cas de la perte ARE).

3.1.1.3. Conséquences de la fuite

Quel que soit le barillet où se situe la fuite dans l'ASG, il reste au moins 2 pompes ASG et 2 GV alimentés pour évacuer la puissance, en tenant compte de l'indisponibilité des équipements après isolement de la fuite (même disponibilité minimale après une défaillance unique active). Cela suffit à assurer la fonction d'évacuation de puissance dont on a besoin, en termes de débit d'injection d'eau et de débit d'évacuation de vapeur. Les fuites peuvent être séparées en 3 catégories distinctes, selon leur emplacement et selon leur effet sur la quantité d'eau ASG :

- Les fuites situées sur le barillet amont des pompes (localisation A sur la figure [FIG-15.2.1.1](#) « défaillance unique passive ») : il n'y a pas d'isolement de la fuite, donc 4 bâches ASG restent disponibles 1 et 3 pompes ASG alimentant 3 ou 4 GV selon l'évènement considéré. Dans ce cas la fuite n'est pas isolée mais le débit de fuite n'est pas dimensionnant pour cette étude 1 .
- Fuites situées sur le barillet aval des pompes avec un débit réel de fuite supérieur à $1 \text{ m}^3/\text{h}$ (localisation B sur la figure [FIG-15.2.1.1](#) « défaillance unique passive ») : après détection et

isolement de la fuite, 4 bâches ASG restent disponibles [] et 2 pompes ASG alimentant 2 GV (cas de la RTE et des RTGV) ou 3 pompes ASG alimentant 3 GV (cas de la perte ARE).

Les cas de RTE, RTGV 1 tube, RTGV 2 tubes, Perte ARE/AAD avec défaillance unique passive localisée en B (barillet aval) et détection de la fuite sont enveloppés par les études présentées dans les sections 15.2.4c, 15.2.3f, 15.2.4k, 15.2.2i, qui prennent en compte une défaillance unique active (aggravant sur une pompe RBS ou sur une pompe ASG dans le cas de la perte ARE) et une maintenance préventive sur une pompe ASG. Le volume d'eau perdu à la brèche pendant le temps d'isolement de la fuite est pris en compte dans le calcul enveloppe d'une fuite de [] m³/h dégénérant en une brèche 2A une demi-heure avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

- Fuites situées sur le barillet aval des pompes avec un débit réel de fuite inférieur à [] m³/h (localisation B sur la figure [FIG-15.2.1.1](#) « défaillance unique passive ») : la fuite n'est pas détectée et le barillet aval n'est pas isolé, 4 bâches ASG restent disponibles [] et 3 pompes ASG alimentant 3 GV ou 4 GV selon l'évènement considéré. La fuite n'étant pas isolée, un débit de fuite maximal de [] m³/h doit être pris en compte au moment de l'ouverture du barillet ASG. De manière pénalisante l'ouverture du barillet est considérée au moment du démarrage des pompes ASG jusqu'à la connexion du RIS-RA en mode RA.

De plus les analyses de le [§ 3.1.3.](#) sont menées de manière à ce qu'il reste [] m³ [] d'eau dans les bâches pour couvrir le cas d'une brèche initialement inférieure à [] m³/h dégénérant en une brèche 2A une demi-heure [] avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Les argumentaires de la RTE et des RTGV 1 tube, 2 tubes ainsi que le calcul de la perte ARE couvrent donc les cas de fuites supérieures à [] m³/h.

[]

3.1.2. Défaillances uniques passives entraînant une restriction du débit ou un bouchon

Les défaillances uniques passives entravant le cheminement normal du débit dans le circuit fluide, par exemple une restriction du débit ou un bouchon, sont moins pénalisantes que les défaillances uniques passives entraînant une fuite, car il y a moins de quantité d'eau ASG perdue pour l'évacuation de puissance. En termes de consommation de l'inventaire en eau des bâches ASG, ces cas sont enveloppés par la prise en compte d'une fuite de [] m³/h sur le barillet ASG aval. En termes de débit d'injection dans les GV, ces cas sont enveloppés par les études présentées dans les sections 15.2.4c, 15.2.3f, 15.2.4k, 15.2.2i, qui prennent en compte une défaillance unique active.

3.1.3. Analyse des cas de dimensionnement

3.1.3.1. Cas de dimensionnement RTE avec défaillance unique passive

L'étude présentée dans la section 15.2.4c, avec prise en compte d'un aggravant sur un train RBS (cas avec défaillance unique active), montre une consommation des bâches ASG de [] tonnes. Le refroidissement est effectué à une vitesse de -25°C/h, puis -50°C/h lorsque la concentration en bore du primaire est supérieure à la concentration requise en arrêt à froid.

Les résultats de l'étude RTE avec défaillance active (section 15.2.4c) sont réutilisables dans le cadre de la production d'un argumentaire visant à justifier la suffisance de la capacité des bâches ASG pour un cas avec défaillance passive. []

[]

Dans le cas d'une défaillance passive sur un barillet ASG, les 2 trains RBS restent disponibles (pas d'aggravant sur un train RBS) et les procédures de conduite vont demander un refroidissement à 50 °C/h. Les valeurs ci-dessus permettent de déduire la durée du refroidissement du cas avec défaillance passive sur un barillet ASG et donc le temps pendant lequel la fuite sur le barillet ASG aval doit être considérée (du démarrage de l'ASG jusqu'à la fin de l'accident).

Pour un cas de RTE avec défaillance unique passive, la quantité d'eau ASG requise pour le refroidissement est moindre puisqu'il durera moins longtemps (la disponibilité de 2 trains RBS permet d'effectuer un refroidissement à -50°C/h). []

[]

3.1.3.2. Cas de dimensionnement RTGV 1 tube avec défaillance unique passive

L'étude présentée dans la section 15.2.3f, avec prise en compte d'un aggravant sur un train RBS (cas avec défaillance unique active), montre une consommation des bâches ASG de [] tonnes. Le refroidissement est effectué à une vitesse de -25°C/h (interrompu lorsqu'un refroidissement partiel s'effectue sur le GV affecté suite à un signal de très haut niveau GV), puis -50°C/h lorsque la concentration en bore du primaire requise pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est atteinte.

Les résultats de l'étude RTGV 1 tube avec défaillance active (section 15.2.3f) sont réutilisables dans le cadre de la production d'un argumentaire visant à justifier la suffisance de la capacité des bâches ASG pour un cas avec défaillance passive. []

[]

Dans le cas d'une défaillance passive sur un barillet ASG, les 2 trains RBS restent disponibles (pas d'aggravant sur un train RBS) et les procédures de conduite vont demander un refroidissement à 50°C/h . Les valeurs ci-dessus permettent de déduire la durée du refroidissement du cas avec défaillance passive sur un barillet ASG et donc le temps pendant lequel la fuite sur le barillet ASG aval doit être considérée (du démarrage de l'ASG jusqu'à la fin de l'incident).

Pour un cas de RTGV 1 tube avec défaillance unique passive, la quantité d'eau ASG requise pour le refroidissement est moindre puisqu'il durera moins longtemps. []

[]

3.1.3.3. Cas de dimensionnement RTGV 2 tubes avec défaillance unique passive

L'étude présentée dans la section 15.2.4k, avec prise en compte d'un aggravant sur un train RBS (cas avec défaillance unique active), montre une consommation des bâches ASG de [] tonnes. Le refroidissement est effectué à une vitesse de -25°C/h (interrompu lorsqu'un refroidissement partiel s'effectue sur les 4 GV suite à un signal de très haut niveau GV sur le GV affecté), puis -50°C/h lorsque la concentration en bore du primaire requise pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est atteinte.

Les résultats de l'étude RTGV 2 tubes avec défaillance active (section 15.2.4k) sont réutilisables dans le cadre de la production d'un argumentaire visant à justifier la suffisance de la capacité des bâches ASG pour un cas avec défaillance passive. []

[]

Dans le cas d'une défaillance passive sur un barillet ASG, les 2 trains RBS restent disponibles (pas d'aggravant sur un train RBS) et les procédures de conduite vont demander un refroidissement à 50°C/h . Les valeurs ci-dessus permettent de déduire la durée du refroidissement du cas avec défaillance passive sur un barillet ASG et donc le temps pendant lequel la fuite sur le barillet ASG aval doit être considérée (du démarrage de l'ASG jusqu'à la fin de l'accident).

Pour un cas de RTGV 2 tubes avec défaillance unique passive, la quantité d'eau ASG requise pour le refroidissement est moindre puisqu'il durera moins longtemps. []

[]

3.1.3.4. Cas de dimensionnement Perte ARE/AAD avec défaillance unique passive

En considérant une Perte ARE/AAD avec défaillance unique passive, le cas le plus pénalisant par rapport à la consommation des bâches ASG restant à couvrir est le cas d'une brèche sur le barillet ASG aval de [] m^3/h , non détectée et dégénérant en une brèche 2A une demi-heure avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Ce cas est traité par un calcul long terme de perte ARE spécifique []. L'objectif de ce calcul est de dimensionner le seuil MIN3 qui initie le repli dans la conduite ainsi que la durée maximale de la phase

de stabilisation en conduite incidentelle en cas de perte ARE avec défaillance passive ASG, telle qu'il soit possible d'atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA en considérant une fuite de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ et en se stabilisant pendant plus de deux heures.

Ainsi, ce calcul est complémentaire à celui présenté dans la section 15.2.2i, qui dimensionne le seuil MIN3 et la durée maximale de la phase de stabilisation en conduite incidentelle en cas de perte ARE avec défaillance active. Le seuil de repli maximal et la durée de stabilisation minimale entre ces deux cas dimensionneront respectivement le seuil MIN3 et la durée maximale de la phase de stabilisation en conduite incidentelle.

Les hypothèses du calcul sont identiques à celles utilisées pour le calcul long terme présenté dans la [15.2.2i](#), excepté les suivantes :

- la maintenance préventive est supposée sur la pompe ASG 3 (remarque : le choix de cet ASG pénalise l'échange primaire-secondaire dans la mesure où seul le GMPP 3 reste en fonctionnement lors du passage en état de repli),
- la défaillance passive est localisée en B :
 - Quatre bâches ASG sont disponibles,
 - Une fuite de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ sur le barillet ASG aval est considérée.

Par ailleurs :

- le gradient de refroidissement 1 C/h est maintenu à -50°C/h (deux trains RBS sont disponibles),
- le refroidissement est effectué jusqu'à l'atteinte des conditions de validation de P14 et de connexion du RIS-RA en mode RA en conduite incidentelle : 32 bar et 135°C dans deux branches chaude au moins,
- la purge des GV (APG) et l'échantillonnage sont pris en compte directement dans le calcul. La purge est isolée sur le signal de bas niveau GV 1 tandis que l'échantillonnage n'est pas isolé. 1
- pour assurer le conservatisme du calcul, un découplage a été considéré sur l'ouverture de barillet ASG aval :
L'ouverture du barillet ASG n'est pas valorisée mais la fuite de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ est prise en compte dans le bilan final de consommation des bâches ASG. On dispose ainsi de 3 pompes ASG injectant dans 3 GV. Cela permet de considérer uniquement les aspects défavorables de l'ouverture du barillet ASG (perte d'eau à la brèche) sans prendre en compte les aspects favorables (alimentation en eau de 4 GV au lieu de 3).

Les figure [FIG-15.2.1.2](#) à [FIG-15.2.1.4](#) illustrent le résultat de ce calcul.

En définitive, pour le « cas de dimensionnement Perte ARE/AAD avec défaillance unique passive », la durée maximale de la phase de stabilisation en conduite incidentelle 1 , telle que la quantité d'ASG requise corresponde à l'inventaire de quatre bâches ASG, est inférieure à celle calculée pour le cas avec défaillance unique active dans la section 15.2.2i 1 . Le seuil de repli pour la perte ARE/AAD avec défaillance unique passive 1 est également inférieur au seuil de repli calculé avec défaillance unique active 1 .

Le seuil de repli dimensionnant est donc celui de la perte ARE avec défaillance unique active 1 . En considérant ce seuil de repli, la durée de stabilisation maximale calculée pour le cas avec défaillance unique passive sera moindre car le repli se fera plus tôt. 1

1

3.1.3.5. Bilan de l'analyse

Les analyses présentées dans les [§ 3.1.3.1.](#) à [§ 3.1.3.4.](#) permettent de conclure que pour les événements de RTE, RTGV 1 tube, RTGV 2 tubes et de perte ARE/AAD, quatre bâches ASG suffisent à atteindre l'état d'arrêt sûr malgré la prise en compte d'une fuite de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ sur le barillet ASG aval.

3.2. CONCLUSION

La défaillance unique passive est envisagée après 24 heures de fonctionnement d'un système mis en service pour la gestion d'un événement PCC. L'ASG étant uniquement utilisée dans la phase court terme d'un événement, la défaillance unique passive n'a donc pas à être considérée à ce titre. Cependant, en raison de l'existence et de l'utilisation des « barillets passifs » qui permettent les interconnexions fluides entre les quatre trains ASG, et en conformité avec les directives techniques (voir sous-chapitre 1.7), la tolérance de l'ASG à la défaillance unique passive sur ses barillets (avant 24h) sa été examinée.

Quand on suppose une défaillance unique passive sur un des deux barillets ASG, le cas dimensionnant à considérer est une brèche non détectée sur le barillet aval. Le débit de fuite maximal $1 \text{ m}^3/\text{h}$ est déterminé par la précision des capteurs de débit. Les composants qui restent disponibles pour réaliser l'évacuation de puissance du circuit primaire sont quatre bâches ASG et trois pompes ASG qui alimentent au moins trois GV. Malgré la fuite sur le barillet aval, ces composants suffisent à ramener la tranche en état d'arrêt sûr, suite à quoi l'évacuation de puissance est réalisée par la chaîne de refroidissement RIS-RA/RRI/SEC.

Par conséquent, la considération d'une défaillance unique passive sur les barillets de l'ASG à court terme en cas d'évènement PCC, ne remet pas en cause l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

**TAB-15.2.1.1 LISTE DES DEFAILLANCES PASSIVES POSSIBLES SUR LE RIS-RA SUIVANT
L'ETAT CONSIDERE – ÉLÉMENTS DU RIS POUVANT ETRE AFFECTES PAR LA
DEFAILLANCE PASSIVE SUIVANT L'ETAT INITIAL DE FONCTIONNEMENT AVEC UN CIRCUIT
PRIMAIRE INTEGRE**

État de fonctionnement au moment de l'initiateur	Etat A, B et C	État D et E « commande groupée non activée »	État E « commande groupée activée
Défaillance passive possible	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA	Train ISMP (assurant la recirculation entre la piscine BR et l'IRWST)

TAB-15.2.1.2 LISTE DES DEFAILLANCES PASSIVES POSSIBLES SUR LE RIS-RA SUIVANT L'ETAT CONSIDERE – ÉLÉMENTS DU RIS POUVANT ETRE AFFECTES PAR LA DEFAILLANCE PASSIVE SUIVANT L'ETAT INITIAL DE FONCTIONNEMENT AVEC UN CIRCUIT PRIMAIRE NON INTEGRE – APRP PB

État de fonctionnement au moment de l'initiateur	État A, B	États C1/C2	État Cb1	État Cb2/Cb3 (inclus les brèches sur un train RIS-RA intérieur enceinte – chapitre 15.2.4q)	État D et E « commande groupée non activée »	État E « commande groupée activée »
Défaillance passive possible	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA ou en mode IS ²	- Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA - Train ISMP en service pour compenser la brèche	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode IS	- Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode IS - Train ISMP en service pour compenser la brèche	- Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA - Train ISMP (assurant la recirculation entre la piscine BR et l'IRWST)	Train ISMP (assurant la recirculation entre la piscine BR et l'IRWST)

2. Il est à noter que dans le cas d'un APRP PB initié en état A et B, le train ISMP est mis à l'arrêt après l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Aucune défaillance passive ne peut donc être considérée sur ce train à 24 heures.

TAB-15.2.1.3 SCENARIO EN CAS DE DEFAILLANCE PASSIVE DEGENERANT EN RUPTURE TOTALE – SCENARIO EN CAS DE DEFAILLANCE PASSIVE SUR LE RIS-RA DEGENERANT EN RUPTURE TOTALE SUIVANT L’INITIATEUR ET L’ETAT INITIAL DE FONCTIONNEMENT DU REACTEUR AVEC UN CIRCUIT PRIMAIRE INTEGRE

État de fonctionnement au moment de l’initiateur	Initiateur	Défaillance passive à considérer	Scénario en cas de dégénérescence en rupture totale de la défaillance passive intérieur enceinte
A, B et C	Hors APRP	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles - Déclenchement possible des trains RIS-RA en service en mode RA - Réalisation d’un T.I.P. par l’opérateur - Identification et isolement du train RIS-RA affecté par la défaillance passive - Restauration de l’inventaire en eau primaire par les pompes ISMP et redémarrage des trains RIS-RA en mode RA si ces derniers ont été déclenchés.

État de fonctionnement au moment de l'initiateur	Initiateur	Défaillance passive à considérer	Scénario en cas de dégradation en rupture totale de la défaillance passive intérieur enceinte
D et E « CG non activée »	Brèche intérieur et extérieur enceinte sur RIS-RA - Chapitre 15.2.4q	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles - Déclenchement possible des trains RIS-RA en service en mode RA - Démarrage d'un train RIS-RA en mode IS à débit réduit si nécessaire - Redémarrage des trains RIS-RA en mode RA si ces derniers ont été déclenchés <p style="text-align: center; color: red;">□</p>
E « CG activée »	Brèche intérieur et extérieur enceinte sur RIS-RA - Chapitre 15.2.4q Baisse incontrôlée du niveau primaire – Chapitre 15.2.2v	Train ISMP (assurant la recirculation entre la piscine BR et l'IRWST)	<ul style="list-style-type: none"> - Arrêt de la recirculation suite à la perte de l'injection du train ISMP affecté - Le primaire étant intègre, le niveau de la piscine BR reste stable - Aucune action opérateur

TAB-15.2.1.4 SCENARIO EN CAS DE DEFAILLANCE PASSIVE DEGENERANT EN RUPTURE TOTALE – SCENARIO EN CAS DE DEFAILLANCE PASSIVE SUR LE RIS-RA DEGENERANT EN RUPTURE TOTALE SUIVANT L’INITIATEUR ET L’ETAT INITIAL DE FONCTIONNEMENT DU REACTEUR AVEC UN CIRCUIT PRIMAIRE NON INTEGRE – APRP PB

État de fonctionnement au moment de l’initiateur	Initiateur	Défaillance passive à considérer	Scénario en cas de dégénérescence en rupture totale de la défaillance passive intérieur enceinte
A et B	APRP petite brèche – Chapitre 15.2.3e	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles - Déclenchement possible des trains RIS-RA en service en mode RA - Le non découvrément du cœur est assuré par l’injection du RIS. La puissance résiduelle est évacuée par les brèches et par le train RIS-RA en service en mode IS
A et B	APRP petite brèche – Chapitre 15.2.3e	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode IS	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles - Conduite en stop and go des trains ISMP - Les trains RIS-RA en service en mode RA ne sont pas déclenchés

État de fonctionnement au moment de l'initiateur	Initiateur	Défaillance passive à considérer	Scénario en cas de dégradation en rupture totale de la défaillance passive intérieur enceinte
C1/C2	APRP petite brèche – Chapitre 15.2.4g	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles - Déclenchement des trains RIS-RA en service en mode RA - Le non découvrément du cœur est assuré par l'injection des trains ISMP. La puissance résiduelle est évacuée du circuit primaire par les brèches.
C1/C2	APRP petite brèche – Chapitre 15.2.4g	Train ISMP	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles <li style="text-align: center;">□ - Les trains RIS-RA en mode RA restent en service
Cb1	APRP petite brèche – Chapitre 15.2.4g	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode IS	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles - Conduite en stop and go des trains ISMP - Les trains RIS-RA en mode RA restent en service

État de fonctionnement au moment de l'initiateur	Initiateur	Défaillance passive à considérer	Scénario en cas de dégradation en rupture totale de la défaillance passive intérieur enceinte
Cb2/Cb3	APRP petite brèche – Chapitre 15.2.4g	Train ISMP	<p style="text-align: center;">□</p> - Les trains RIS-RA en mode RA restent en service
Cb2/Cb3	Brèche intérieur enceinte sur RIS-RA – Chapitre 15.2.4q – Configurations : - Sans arrêt automatique des trains RIS-RA - Avec arrêt automatique des trains RIS-RA et fuite isolée fortuitement	Train ISMP	- Arrêt de la recirculation suite à la perte de l'injection du train ISMP affecté - Le primaire étant intègre, le niveau de la piscine BR reste stable - Aucune action opérateur
Cb2/Cb3	Brèche intérieur enceinte sur RIS-RA – Avec arrêt automatique des trains RIS-RA et brèche non isolée – Chapitre 15.2.4q	Train ISMP	- Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles <p style="text-align: center;">□</p> - Le train RIS-RA en service en mode IS et les trains ISMP permettent d'éviter le déclenchement des trains RIS-RA en mode RA

État de fonctionnement au moment de l'initiateur	Initiateur	Défaillance passive à considérer	Scénario en cas de dégradation en rupture totale de la défaillance passive intérieur enceinte
Cb2/Cb3	Brèche intérieur enceinte sur RIS-RA – Avec arrêt automatique des trains RIS-RA et brèche non isolée – Chapitre 15.2.4q	Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode IS	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles - Déclenchement des trains RIS-RA en service en mode RA - Le non découverture du cœur est assuré par l'injection des trains ISMP. La puissance résiduelle est évacuée du circuit primaire par les brèches. - Le train RIS-RA en service en mode IS assure le refroidissement de l'IRWST
D et E « CG non activée »	APRP petite brèche – Chapitre 15.2.4g	<ul style="list-style-type: none"> - Train RIS-RA initialement en stand-by et mis en service en mode RA - Train ISMP (assurant la recirculation entre la piscine BR et l'IRWST) 	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du signal IS et démarrage automatique des trains ISMP disponibles - Déclenchement possible des trains RIS-RA en service en mode RA - Démarrage d'un train RIS-RA en mode IS à débit réduit si nécessaire - Redémarrage des trains RIS-RA en mode RA si ces derniers ont été déclenchés - Surveillance du niveau de la piscine BR par l'opérateur et ajustement des appoints en eau en fonction de l'évolution du niveau.

État de fonctionnement au moment de l'initiateur	Initiateur	Défaillance passive à considérer	Scénario en cas de dégénérescence en rupture totale de la défaillance passive intérieur enceinte
E « CG activée »	APRP petite brèche – Chapitre 15.2.4g	Train ISMP (assurant la recirculation entre la piscine BR et l'IRWST)	- Arrêt de la recirculation suite à la perte de l'injection du train ISMP affecté □



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.1

PAGE 34/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.1.1 ASG : COMPARAISON ENTRE DÉFAILLANCE UNIQUE
ACTIVE ET PASSIVE**

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.1

PAGE 35/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.1.2 ASG : CAS DE DIMENSIONNEMENT PERTE ARE/AAD
AVEC DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE – PRESSION ET
TEMPÉRATURE PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.1

PAGE 36/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.1.3 ASG : CAS DE DIMENSIONNEMENT PERTE ARE/AAD
AVEC DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE – NIVEAUX GV ET
PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.1

PAGE 37/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.1.4 ASG : CAS DE DIMENSIONNEMENT PERTE ARE/AAD
AVEC DÉFAILLANCE UNIQUE PASSIVE – CONSOMMATION ASG**

□

15.2.2 TRANSITOIRES PCC-2

15.2.2A ARRÊT INTÉMPÉSTIF DU RÉACTEUR (ÉTAT A)

15.2.2B DÉFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT A UNE RÉDUCTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU ALIMENTAIRE [ÉTATS A, B]

15.2.2C DÉFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT A UNE AUGMENTATION DU DÉBIT D'EAU ALIMENTAIRE [ÉTATS A, B]

15.2.2D AUGMENTATION EXCESSIVE DU DÉBIT VAPEUR (ÉTAT A)

15.2.2E DÉCLENCHÉMENT TURBINE (ÉTAT A)

15.2.2G PERTE DU VIDE AU CONDENSEUR (PCC-2)

15.2.2H PERTE TOTALE D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE EXTERNE DE COURTE DURÉE (<2H), ÉTATS A, C, D ET E

15.2.2I PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE (PERTE DES 4 POMPES ARE ET DE LA POMPE AAD)

15.2.2K PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE SANS AAR PARTIEL

15.2.2M RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTAT A)

15.2.2P MAUVAIS POSITIONNEMENT ET CHUTE DE GRAPPE(S), SANS LIMITATION

15.2.2Q DÉMARRAGE D'UNE BOUCLE PRIMAIRE INACTIVE À UNE TEMPÉRATURE INCORRECTE (ÉTAT A)

15.2.2R DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT A UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A A E)

15.2.2S DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE AUGMENTATION OU UNE DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE

15.2.2T TRANSITOIRES DE PRESSION DU CÔTÉ PRIMAIRE (ASPERSION INTÉMPÉSTIF AU PRESSURISEUR, RÉCHAUFFEMENT INTÉMPÉSTIF DU PRESSURISEUR)



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE : 15

SECTION : 2.2

PAGE : 2/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

I.15.2.2V BAISSÉ INCONTRÔLÉE DU NIVEAU PRIMAIRE (ÉTATS C3, D, E)

I.15.2.2W PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D, E)

I.15.2.2X PCC 2 - PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR OU D'UN SYSTEME SUPPORT DU PTR (ETAT A)

SOMMAIRE

.15.2.2A ARRÊT INTEMPESTIF DU RÉACTEUR (ÉTAT A)	2
1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	2
1.1. DÉFINITION	2
1.2. CAUSES	2
2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	2
2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	2
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	3
3. MOYENS DE PROTECTION	4
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	4
5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	5
6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	5
7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	5
7.1. CRITÈRES DE SÛRETÉ	6
7.2. MOYENS DE PROTECTIONS	6
7.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	6
7.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	7

.15.2.2A ARRÊT INTEMPESTIF DU RÉACTEUR (ÉTAT A)

L'incident étudié dans ce chapitre correspond à un arrêt du réacteur intempestif suite à une erreur de l'opérateur (arrêt manuel) ou à l'émission intempestive d'un signal d'arrêt automatique du réacteur.

1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1. DÉFINITION

Ce transitoire est défini comme un arrêt du réacteur intempestif se produisant alors que les paramètres neutroniques et thermohydrauliques de la tranche sont à leur valeur de fonctionnement nominale (y compris les fluctuations normales et les incertitudes).

1.2. CAUSES

Un « Arrêt du réacteur intempestif » peut être causé par :

- une erreur de l'opérateur qui provoque un arrêt manuel du réacteur,
- l'activation intempestive d'un signal d'Arrêt Automatique du Réacteur.

2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Atteinte de l'état contrôlé

L'insertion d'anti-réactivité dans le cœur lors de la chute des grappes provoque une baisse de la puissance cœur ; il en résulte une contraction du fluide primaire qui provoque une baisse temporaire de la pression primaire.

Côté secondaire, l'arrêt du réacteur provoque le déclenchement de la turbine, et concernant le système d'eau alimentaire normale, l'isolement des lignes à grand débit. La montée en pression dans les générateurs de vapeur après le déclenchement de la turbine conduit à l'ouverture (seuil Max1p) des Vannes d'isolement de la Décharge à l'Atmosphère (VDA), en supposant le GCT (Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur) indisponible.

Si les vannes de contrôle du VDA sont encore suffisamment ouvertes au moment où les vannes d'isolement s'ouvrent, une dépressurisation temporaire des générateurs de vapeur peut être observée, elle s'accompagne alors d'une baisse supplémentaire de la température et de la pression primaires.

Alors que les vannes de contrôle de la décharge à l'atmosphère se ferment, la pression secondaire réaugmente progressivement jusqu'à la pression de consigne Max1p (valeur ensuite maintenue par la ré-ouverture contrôlée des vannes VDA), et la température et la pression primaires augmentent de nouveau. L'augmentation de la pression primaire est limitée par l'aspersion normale. La température du fluide primaire se stabilise aux conditions définies par la pression secondaire finale.

Si la régulation du niveau d'eau dans les GV par les vannes réglantes de petit débit ARE ne fonctionne pas normalement, le petit débit ARE après la chute des grappes peut être excessif et conduire à l'isolement de l'ARE, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Etroite conditionné au signal d'AAR » (Max0p). Après cet isolement, ou bien si la régulation de petit débit ARE n'assure pas un débit suffisant après la chute des grappes, le signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) peut être activé et démarrer, GV par GV, les pompes d'Alimentation de Secours des Générateurs de vapeur (ASG).

L'état contrôlé est atteint, il correspond à un état d'arrêt à chaud, sans dégradation des paramètres thermohydrauliques primaires et secondaires, le cœur est sous-critique, la puissance résiduelle est évacuée par le secondaire, l'inventaire en eau primaire est stable.

Atteinte de l'état d'arrêt sûr

Dans le dossier d'orientation en Conduite Incidentelle Accidentelle, suite à l'arrêt du réacteur, l'opérateur constate la disponibilité de toutes les pompes primaires, avec une marge à la saturation satisfaisante, des GV non isolés et non radioactifs, caractérisés par un bon inventaire en eau secondaire, et des conditions dans l'enceinte non dégradées. En conséquence, l'opérateur est orienté vers une conduite incidentelle.

Dans cette conduite, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation en conduite incidentelle, dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires.

En cas d'isolement de l'ARE, si une pompe ASG est indisponible, la surveillance des systèmes de sauvegarde, réalisée en parallèle de la conduite primaire et secondaire, aura permis d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné, et un opérateur sera chargé d'ouvrir les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

L'opérateur reste dans cette phase de stabilisation en arrêt à chaud tant que le volume d'eau dans les bâches ASG est suffisant. Si la somme des volumes d'eau dans les bâches ASG devient inférieure au critère défini dans la conduite, un passage en état de repli est demandé.

La stratégie de passage en état de repli conduit au passage en arrêt intermédiaire jusqu'aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA. Pour cela, une borication du circuit primaire est réalisée, via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère ; la vitesse de refroidissement du fluide primaire est de 50° C/h ou 25° C/h selon les moyens de borication disponibles et le niveau d'eau dans le pressuriseur. Une fois que le volume requis de bore est injecté, assurant la concentration en bore requise, la borication est arrêtée, alors que le refroidissement du fluide primaire se poursuit. Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu grâce à l'ASG. Côté primaire, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants, il utilise l'aspersion normale (partie TOR classée F1B), les chauffeuses, la charge et la décharge si ces moyens sont disponibles. L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous 1 bar abs.

Si l'évolution du niveau d'eau dans le pressuriseur et de la marge à la saturation est maîtrisée, l'opérateur reste dans la conduite de passage en état de repli. Lorsque la température et la pression dans les branches chaudes atteignent 180°C et 32 bar abs, le permissif P14 est validé. Si le volume total d'eau disponible dans les bâches ASG devient insuffisant, l'opérateur connecte sans attendre les trains RIS-RA en mode RA ; sinon, le refroidissement est poursuivi jusqu'à ce que la température des branches chaudes atteigne 135°C avant de connecter les trains RIS-RA en mode RA.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère en RFTC supérieur à 1 car la chaîne de surveillance du RFTC est valorisée, (voir sous-chapitre 4.4).
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.

- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \bar{m} permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le coeur est sous-critique : $k_{eff} < 1.0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le coeur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

Les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA par le signal « Haute Pression secondaire » (seuil Max1p), GV par GV, en cas d'indisponibilité du GCT,
- isolement des lignes à grand débit de l'ARE sur compte-rendu d'AAR,
- le cas échéant, isolement des lignes à petit débit de l'ARE, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite »,
- le cas, échéant, démarrage de l'ASG par le signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (seuil Min2p) GV par GV.

En cas de passage en état de repli, le permissif P12 (seuil de basse pression dans le pressuriseur) et le permissif P14 (seuils de pression et température dans les branches chaudes) sont émis.

L'aspersion normale, dont la partie TOR est classée F1B, est valorisée (événement PCC2).

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Cet événement est moins sévère que n'importe quel autre événement PCC-2 étudié dans la section 15.2.2. En effet, dans tous les autres événements PCC-2, l'Arrêt Automatique du Réacteur se produit lorsqu'au moins un paramètre de la tranche sort de ses limites normales de fonctionnement.

La vérification des critères listés au [§ 2.2.](#) est donc traitée par argumentaire, en montrant que l'événement est couvert par d'autres études de la section 15.2.2.

5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

L'événement de « Perte de l'eau alimentaire normale » (voir section 15.2.2i) conduit à un Arrêt Automatique du Réacteur (sur signal « Bas niveau GV Gamme Etroite » Min1p, ou sur signal « Bas RFTC » ou sur signal « Haute Pression Pressuriseur »), et montre :

- à court terme, une absence de crise d'ébullition et de fusion à coeur des pastilles de combustible,
- à moyen terme, les GV peuvent correctement évacuer la puissance résiduelle, sans sollicitation temporaire des soupapes du pressuriseur.

Cette situation enveloppe un transitoire d'arrêt intempestif du réacteur pour lequel l'inventaire en eau des GV n'est pas dégradé à l'instant de la chute des grappes. L'absence de crayon entrant en crise d'ébullition, de fusion à coeur des pastilles de combustible et de décharge dans le RDP est donc vérifiée. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

La chute des grappes assure la sous-criticité du coeur en état d'arrêt à chaud ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les générateurs de vapeur. L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est donc atteint.

6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Comme décrit au § 2.1, l'état contrôlé atteint correspond à un état d'arrêt à chaud, la puissance résiduelle étant évacuée par le circuit secondaire. Le réacteur peut être maintenu en état contrôlé sans passer par un état de repli, si l'alimentation des GV est durablement maintenue. Si l'ASG est sollicitée suite à une alimentation insuffisante par l'eau alimentaire normale, le passage du réacteur en état de repli peut être requis quand le volume dans les bâches ASG devient insuffisant. Compte tenu du meilleur inventaire en eau secondaire, à l'instant de la chute des grappes, que dans le cas de la Perte de l'eau alimentaire normale, le critère de conduite sur le volume des bâches ASG, qui oriente vers la stratégie de passage à l'état de repli, est atteint plus tardivement, alors que la puissance résiduelle restant à évacuer est moindre. Le transitoire d'arrêt intempestif du réacteur est donc également couvert à long terme par l'étude de « Perte de l'eau alimentaire normale » (voir section 15.2.2i) vis-à-vis de la consommation d'eau dans les bâches ASG.

En cas de repli, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du coeur ($keff < 0,99$). La connexion des trains RIS-RA en mode RA permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le § 2.2. est par conséquent vérifié.

7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire d'arrêt intempestif du réacteur.

Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE doit être appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : instant initial, instant du signal d'AAR ou instant du signal IS. Compte tenu de l'événement initiateur, on doit donc ici supposer que le MDTE a lieu à l'instant initial, qui correspond à l'instant d'arrêt manuel du réacteur ou à l'instant de l'émission intempestive d'un signal d'AAR. Aucun signal IS n'est émis au cours de cet accident.

Le déroulement de l'accident d'arrêt intempestif du réacteur avec cumul MDTE à l'instant initial est comparable à l'accident de Perte des Alimentations Electriques Externes (PTAEE), décrit et traité dans la section 15.2.2h et la section 15.2.3b : le MDTE conduit à l'arrêt des pompes primaires dès l'instant initial et l'événement initiateur d'arrêt intempestif du réacteur conduit à une chute des grappes \square seconde après l'instant initial (compte tenu du temps de manœuvre des disjoncteurs), alors que dans le scénario de perte des alimentations électriques externes, l'arrêt des pompes primaires a également lieu à l'instant initial, et la chute des grappes a lieu environ \square , après que le signal de Basse Vitesse des Pompes Primaires a été émis.

Seuls les équipements classés séismes sont utilisés dans la présente analyse.

7.1. CRITÈRES DE SÛRETÉ

Les objectifs et critères à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Pour ce transitoire, on vérifie les critères techniques d'acceptation suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

7.2. MOYENS DE PROTECTIONS

Les moyens de protections F1A qui peuvent être sollicités pour l'ouverture du VDA et le démarrage de l'ASG sont identiques à ceux décrits dans l'étude sans MDTE au § 3. Les permissifs P12 et P14 sont également sollicités en cas de passage en état de repli.

Compte tenu de la perte des alimentations électriques externes, l'eau alimentaire normale cesse rapidement d'alimenter les GV.

Par ailleurs, compte tenu de l'arrêt des pompes primaires, l'aspersion normale est rapidement indisponible.

7.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

À court terme, la décroissance rapide du débit primaire induite par l'arrêt des pompes primaires, alors que la puissance dans le cœur est encore élevée, conduit à un risque de crise d'ébullition.

Lors de l'accident, l'arrêt des pompes primaires a lieu dès l'instant initial, et les grappes commencent à chuter au plus tard \square seconde après l'instant initial. Dans le cas d'un accident de PTAAE, les pompes primaires s'arrêtent également dès l'instant initial, mais l'AAR sur Basse Vitesse des Pompes

Primaires intervient quelques secondes après la perte des alimentations (voir section 15.2.2h) ; par ailleurs, l'étude à court terme de la PTAEE présentée dans la section 15.2.2h intègre un temps de chute des grappes avec séisme, hypothèse qui s'applique également dans la présente étude ; l'analyse de la section 15.2.2h, qui conduit à une baisse de puissance comparable mais à un instant où le débit primaire a déjà sensiblement décru, présente donc des conditions plus sévères vis-à-vis de la crise d'ébullition que l'accident d'arrêt intempestif du réacteur avec cumul du MDTE à l'instant initial.

Les critères techniques d'acceptation PCC2 concernant l'intégrité de la gaine et l'absence de fusion à coeur des pastilles de combustible étant respectés dans l'analyse de la section 15.2.2h, il en est de même pour l'accident d'arrêt intempestif du réacteur avec cumul du MDTE à l'instant initial, qui respecte également, en conséquence, les critères PCC4 vis-à-vis du nombre de crayons entrant en crise d'ébullition, de la fusion combustible et de la température de gaine des crayons combustible. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

La chute des grappes assure la sous-criticité du coeur en état d'arrêt à chaud ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les générateurs de vapeur. L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est donc atteint.

7.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

□

L'aspect long terme de l'accident d'arrêt intempestif du réacteur avec cumul MDTE est similaire à l'étude de Perte des Alimentations Electriques Externes de longue durée (> 2 heures) présentée dans la section 15.2.3b. Cette dernière étude montre que la capacité des bâches ASG est suffisante pour rejoindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du coeur ($keff < 0,99$). La connexion des trains RIS-RA en mode RA permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 7.1.](#) est par conséquent vérifié.

SOMMAIRE

.15.2.2B DÉFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT A UNE RÉDUCTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU ALIMENTAIRE [ÉTATS A, B]	2
1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	2
1.1. DÉFINITION	2
1.2. CAUSES	2
2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	2
2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	2
2.2. CRITÈRES DE SÛRETÉ	2
3. MOYENS DE PROTECTION	3
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	3
5. ANALYSE DU TRANSITOIRE EN ETAT A	3
5.1. MÉTHODE	3
5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	3
5.3. RÉSULTATS	3
6. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE (ETAT A)	4
6.1. CRITÈRES DE SÛRETÉ	4
6.2. MOYENS DE PROTECTION	5
6.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME ET LONG TERME	5
7. CAS INITIÉ EN ETAT B	6
7.1. CRITÈRES D'ÉTUDES	6
7.2. ANALYSE DU TRANSITOIRE	6
A- -15.2.2B.1 ANNEXE — CALCUL DE LA PUISSANCE ATTEINTE	8

.15.2.2B DÉFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT A UNE RÉDUCTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU ALIMENTAIRE [ÉTATS A, B]

1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1. DÉFINITION

Une réduction de la température ARE provoque une augmentation de la capacité d'extraction de la chaleur primaire par le circuit secondaire. Ce transitoire est étudié en état A et en état B.

Le mauvais fonctionnement de l'eau alimentaire normale des générateurs de vapeur en état A ou B est classé en PCC-2.

1.2. CAUSES

La diminution maximale de la température d'eau alimentaire résulte de l'indisponibilité d'un réchauffeur d'une file (isolement vapeur d'un réchauffeur R7).

2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Une réduction de la température ARE provoque une augmentation de la capacité d'extraction de la chaleur primaire par le circuit secondaire. Ce transitoire entraîne un refroidissement du réfrigérant primaire. En raison du coefficient modérateur négatif, la diminution de température moyenne primaire conduit à une augmentation de la puissance nucléaire si le transitoire est initié en puissance ou à une réduction de la marge d'arrêt en état d'arrêt. De ce fait, il peut y avoir un risque de crise d'ébullition et d'endommagement de la gaine du combustible.

2.2. CRITÈRES DE SÛRETÉ

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition (voir sous-chapitre 4.4).
- L'absence de fusion à coeur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de décharge du pressuriseur sont sollicitées.

De plus, les critères suivants doivent être respectés :

- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle.

3. MOYENS DE PROTECTION

Lors du fonctionnement en puissance, la réduction de la température de l'eau alimentaire conduit soit à un nouveau régime permanent avec une puissance plus élevée, soit à un Arrêt Automatique du Réacteur initié sur signal de « puissance thermique élevée » ou de « Bas RFTC ».

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

L'initiateur retenu est une baisse de la température ARE \square dans les 4 GV à pleine puissance et de 26° C en état B.

5. ANALYSE DU TRANSITOIRE EN ETAT A

5.1. MÉTHODE

Le transitoire est traité par argumentaire. Ce dernier s'appuie sur un calcul de bilan enthalpique présenté en [A- -15.2.2b.1](#).

5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE

\square

5.3. RÉSULTATS

La puissance atteinte pendant le transitoire de MFEAN conduisant à une baisse de la température ARE peut être estimée en comparant les bilans enthalpiques donnant la puissance échangée aux GV, entre l'état initial \square et l'état d'équilibre final avec température d'alimentation ARE abaissée.

L'amplitude maximale de diminution de la température d'eau alimentaire, consécutive à une indisponibilité d'un réchauffeur d'une file est de \square . Cette diminution de l'enthalpie de l'eau alimentaire contribue à accroître la puissance extraite par les GV \square (voir calcul en [A- -15.2.2b.1](#)). Le transitoire est donc enveloppé par le transitoire de MFEAN conduisant à une augmentation du débit d'eau alimentaire présenté à la section 15.2.2c.

Le transitoire de MFEAN conduisant à une baisse de la température ARE \square ne sollicite pas d'AAR : la puissance maximale obtenue n'atteint pas le seuil d'AAR par puissance thermique élevée et il faudrait un pic radial de puissance élevé ($F\Delta H$ supérieur aux valeurs envisageables pour ce type de transitoire) pour que la chaîne bas RFTC soit sollicitée.

Le réacteur se stabilise donc dans un nouvel état avec une puissance supérieure à la puissance initiale.

Les limites LCO suivantes sont susceptibles d'être atteintes :

- puissance thermique élevée,
- puissance linéique élevée,
- bas RFTC,
- basse température moyenne primaire,
- basse pression primaire.

L'opérateur est informé par les alarmes correspondant à ces signaux. Il applique les actions indiquées dans les fiches d'alarme.

Puisque le réacteur se stabilise à un niveau de puissance légèrement supérieur à la puissance initiale associé à un inventaire en eau suffisant et à une évacuation de la puissance résiduelle, l'intégrité des gaines du combustible et l'absence de fusion à coeur des pastilles de combustible sont garanties.

Le respect des critères techniques d'acceptation présentés dans le § 2.2. (intégrité du RDP, inventaire en eau stable, rejets radiologiques tolérables, suffisance de la bache ASG pour l'évacuation de la puissance résiduelle) étant démontré pour l'étude de « Défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit d'eau alimentaire » (voir section 15.2.2c), il en est de même pour l'étude de « Défaillance de l'ARE conduisant à une réduction de la température de l'eau alimentaire ».

Analyse de la prolongation de cycle

Les données neutroniques décrites dans le sous-chapitre 15.1 couvrent la prolongation de cycle.

Les protections susceptibles d'être utilisées dans l'étude ne sont pas modifiées lors du fonctionnement en prolongation de cycle.

Les paramètres de fonctionnement en prolongation de cycle sont décrits dans le sous-chapitre 15.1.

La consigne de niveau pressuriseur étant calculée de manière à conserver une masse primaire constante, le niveau pressuriseur a tendance à diminuer également (effet de contraction). Cependant, pour éviter une diminution trop importante de celui-ci, une augmentation périodique de la masse du primaire est réalisée. La diminution du niveau pressuriseur au cours de la prolongation de cycle est donc faible. De plus, le niveau pressuriseur intervient dans un second ordre par rapport aux autres paramètres vis-à-vis du RFTC pour ce transitoire.



Comme les effets de la puissance et de la température primaire sont prépondérants par rapport à l'effet de la pression sur le calcul du RFTC, le premier pas de la prolongation de cycle à 100%PN est enveloppe des pas de la prolongation de cycle abaissés à 90% ou 80%PN.

Le dernier pas de la prolongation de cycle abaissé à 70%PN est couvert par le pas de la prolongation de cycle abaissé à 80%PN car le niveau de puissance et la température primaire sont plus faibles, ce qui est favorable vis-à-vis du RFTC.

Par conséquent, le cas d'étude en cycle naturel enveloppe la prolongation de cycle pour tout point de fonctionnement du cycle naturel et de la prolongation de cycle.

6. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE (ETAT A)

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de MFEAN conduisant à une diminution de la température ARE. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : instant initial, du signal d'AAR ou du signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

6.1. CRITÈRES DE SÛRETÉ

Les objectifs et critères à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Pour ce transitoire, les critères techniques d'acceptation suivants sont vérifiés :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.

- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
- pour l'état contrôlé :
 - Le coeur est sous-critique : $k_{eff} < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le coeur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

6.2. MOYENS DE PROTECTION

Ils sont identiques à ceux décrits dans l'étude sans MDTE. Il faut y ajouter les AAR atteints à partir des signaux suivants :

- « Très bas débit dans 1 boucle sur 4 »,
- « Basse vitesse des pompes primaires dans 2 boucles sur 4 ».

6.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME ET LONG TERME

A court terme, l'analyse est effectuée vis-à-vis de la crise d'ébullition. A long terme, l'atteinte de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée.

Le transitoire de MFEAN conduisant à une diminution de la température ARE ne sollicitant pas d'AAR, le MDTE est cumulé à l'instant initial.

Le cumul du MDTE considéré dès l'instant initial conduit à l'arrêt des pompes APA et très rapidement à un AAR par basse vitesse des pompes primaires (voir section 15.2.2h). Pendant cette courte durée, le MFEAN n'a pas d'impact sur le refroidissement du primaire, et donc sur la puissance du réacteur, ainsi que sur la pression primaire. L'étude de MFEAN conduisant à une baisse de la température ARE avec cumul du MDTE est donc comparable à une perte totale des alimentations électriques externes. Les critères techniques d'acceptation liés aux dommages limités sur les assemblages (voir § 6.1.) étant respectés pour le transitoire de PTAAE (voir section 15.2.2h pour le court terme et section 15.2.3b pour le long terme), ils le sont également à court terme et à long terme pour le transitoire de « MFEAN température » avec cumul du MDTE.

De même les critères relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr étant respectés (sous-criticité, inventaire en eau stable, rejets radiologiques tolérables et suffisance de la bache ASG pour l'évacuation de la puissance résiduelle) pour le transitoire de PTAAE (voir section 15.2.2h pour le court terme et section 15.2.3b pour le long terme), ils le sont également à court terme et à long terme pour le

transitoire de « Défaillance de l'ARE conduisant à une réduction de la température de l'eau alimentaire » avec cumul du MDTE.

7. CAS INITIÉ EN ETAT B

7.1. CRITÈRES D'ÉTUDES

En état B, où le réacteur est initialement sous-critique, les critères à respecter sont présentés dans les [§ 2.2.](#) et [§ 6.1.](#), respectivement pour les cas sans et avec prise en compte du MDTE.

7.2. ANALYSE DU TRANSITOIRE

L'état B correspond à un état d'arrêt normal sur GV (RIS-RA en mode RA non connecté). L'état B est caractérisé par un état de fonctionnement à charge nulle dans la configuration suivante :

- toutes les grappes sont insérées,
- la température primaire est comprise entre 303,3 et 110°C (voir sous-chapitre 15.0),
- la pression primaire est comprise entre 25 bar abs et 130 bar abs (voir sous-chapitre 15.0),
- la concentration en bore initiale est au minimum égale à la concentration en bore de l'arrêt à chaud (un des critères de dimensionnement de cette concentration étant de garantir la sous-criticité avec une grappe bloquée à 110°C et 32 bar abs).

Le système d'eau alimentaire des GV est en mode de régulation du niveau GV en fonctionnement sur la ligne à très petit débit avec une température maximale \square à l'état initial. La température minimale admissible \square permet d'envisager une chute de 26°C de la température ARE.

Dans la section 15.2.4d, afin d'écartier tout risque de retour en criticité, un calcul spécifique de concentration en bore critique \square est effectué \square en prenant en compte des hypothèses pénalisantes pour la température et la pression primaire \square . Les résultats de ces calculs sont ensuite comparés à la concentration en bore minimale en état B (CB d'arrêt à chaud), afin de s'assurer que le cœur reste sous-critique, pour tous les scénarios envisagés, avec ou sans MDTE. Les résultats montrent que la concentration en bore critique \square reste inférieure à la concentration en bore requise en arrêt à chaud. La sous-criticité du cœur est donc garantie pour les accidents d'ouverture intempestive du VDA ou d'une soupape GV en état B.

Un transitoire de MFEAN conduira à un refroidissement et à une dépressurisation du circuit primaire.

En conséquence, pour un transitoire de MFEAN conduisant à une baisse de la température ARE en état B, les conséquences de cet accident sont couvertes par la justification du non-retour en criticité présenté à la section 15.2.4d jusqu'à une température minimale de l'ARE \square (les conditions post-accidentelles en pression étant couvertes par la \square , valeur limite de l'état B).

Ainsi un transitoire de MFEAN initié en état B conduira donc toujours à des conditions thermo hydrauliques moins pénalisantes que les valeurs enveloppes \square considérées dans la section 15.2.4d vis-à-vis du risque de retour en criticité jusqu'à une température minimale de l'ARE \square .

Les critères relatifs à l'intégrité de la première barrière d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont donc respectés, par l'absence de retour en criticité.

Par ailleurs, la défaillance de l'ARE conduisant à une réduction de la température d'eau alimentaire étant un transitoire de refroidissement, les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, ce qui garantit l'intégrité du RDP.

Le respect des critères d'intégrité des barrières de confinement garantit l'absence de rejets radiologiques.

L'évacuation de la puissance résiduelle et de la puissance des pompes primaires est assurée par les générateurs de vapeur. L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est atteint.

De manière analogue à l'état A, la couverture du dimensionnement des bâches ASG en état B pour l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par la démonstration réalisée dans le cadre de l'étude de « Défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation de débit d'eau alimentaire » (section 15.2.2c). Ainsi, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr correspondant aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle. Comme expliqué, la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$) est garantie, et les rejets radiologiques restent tolérables. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2.](#) est donc respecté.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2B

PAGE 8/8

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.2B.1 ANNEXE — CALCUL DE LA PUISSANCE ATTEINTE

□

SOMMAIRE

.15.2.2C	DEFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT A UNE AUGMENTATION DU DEBIT D'EAU ALIMENTAIRE [ETATS A, B]	8
1.	DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	8
1.1.	DÉFINITION	8
1.2.	CAUSES	8
2.	DESCRIPTION DU TRANSITOIRE ET CRITÈRES D'ÉTUDES	8
2.1.	DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	8
2.1.1.	DE L'INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ	8
2.1.2.	DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	9
2.2.	CRITÈRES D'ÉTUDES	10
3.	MOYENS DE PROTECTION	11
3.1.	PRÉCAUTIONS	11
3.2.	MOYENS AUTOMATIQUES	11
4.	DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	11
5.	ANALYSE DU TRANSITOIRE (ETAT A)	12
5.1.	ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	12
5.1.1.	MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	12
5.1.2.	CAS INITIÉ EN PUISSANCE EN ÉTAT A	12
5.1.3.	CAS INITIÉ À PUISSANCE NULLE EN ÉTAT A	15
5.2.	ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	20
5.2.1.	CONDUITE INCIDENTELLE	21
5.2.2.	CONDUITE ACCIDENTELLE	22
5.2.3.	CONCLUSION	22
6.	IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE (ÉTAT A)	23
6.1.	ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTROLÉ	23
6.1.1.	CODES ET MÉTHODES DE CALCUL	23
6.1.2.	CRITÈRES D'ÉTUDE	23
6.1.3.	CAS INITIÉ EN PUISSANCE	24
6.1.4.	CAS INITIÉ À PUISSANCE NULLE	26
6.2.	ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	29
7.	CAS INITIÉ EN ÉTAT B	30



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 2/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

7.1. CRITÈRES D'ÉTUDES	30
7.2. ANALYSE DU TRANSITOIRE	30

TABLEAUX :

TAB-15.2.2C.1 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – MATRICE DE MÉLANGE PÉNALISÉE ISSUE DES ESSAIS	
□	32
TAB-15.2.2C.2 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A EN PUISSANCE	33
TAB-15.2.2C.3 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE	34
TAB-15.2.2C.4 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	35
TAB-15.2.2C.5 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (PROLONGATION DE CYCLE)	36
TAB-15.2.2C.6 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE) AVEC CUMUL DU MDTE	37
TAB-15.2.2C.7 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – SURDÉBITS ARE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE	38
TAB-15.2.2C.8 DONNÉES NEUTRONIQUES POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE	39
TAB-15.2.2C.9 DONNÉES NEUTRONIQUES – INCERTITUDES, PÉNALITÉS ET PROVISIONS POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE	41
TAB-15.2.2C.10 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS EN ÉTAT A EN PUISSANCE	42

TAB-15.2.2C.11 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE	43
TAB-15.2.2C.12 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	44
TAB-15.2.2C.13 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (PROLONGATION DE CYCLE)	45
TAB-15.2.2C.14 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE) AVEC CUMUL DU MDTE	46

FIGURES :

FIG-15.2.2C.1 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE	47
FIG-15.2.2C.2 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES	48
FIG-15.2.2C.3 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – PRESSION PRESSURISEUR ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	49
FIG-15.2.2C.4 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBIT D'ALIMENTATION DES GV	50
FIG-15.2.2C.5 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – PUISSANCE LINÉIQUE ET NIVEAUX GV GE	51

FIG-15.2.2C.6 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/ SECONDAIRE	52
FIG-15.2.2C.7 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES	53
FIG-15.2.2C.8 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSION PRESSURISEUR ET NIVEAU PRESSURISEUR	54
FIG-15.2.2C.9 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT D'ALIMENTATION DES GV ET PRESSIONS SECONDAIRES	55
FIG-15.2.2C.10 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS PRIMAIRES ET NIVEAUX GV GE	56
FIG-15.2.2C.11 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ ET TEMPÉRATURE AU CENTRE DE LA PASTILLE	57
FIG-15.2.2C.12 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	58
FIG-15.2.2C.13 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	59
FIG-15.2.2C.14 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – NIVEAU PRESSURISEUR ET PRESSION PRIMAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	60

FIG-15.2.2C.15 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBIT D'ALIMENTATION DES GV ET PRESSIONS SECONDAIRES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	61
FIG-15.2.2C.16 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBIT VAPEUR ET NIVEAUX GV GE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	62
FIG-15.2.2C.17 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – RÉACTIVITE ET DÉBIT D'INJECTION DE SÉCURITÉ (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	63
FIG-15.2.2C.18 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBIT DE CHARGE ET NIVEAUX GV GL (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	64
FIG-15.2.2C.19 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – CONCENTRATION EN BORE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	65
FIG-15.2.2C.20 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – RÉACTIVITÉ ET PUISSANCES COEUR (PROLONGATION DE CYCLE).....	66
FIG-15.2.2C.21 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCE COEUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/ SECONDAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	67
FIG-15.2.2C.22 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	68
FIG-15.2.2C.23 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE –	

NIVEAU PRESSURISEUR ET PRESSION PRIMAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	69
FIG–15.2.2C.24 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L’EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT PRIMAIRE ET NIVEAUX GV GL (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	70
FIG–15.2.2C.25 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L’EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT D’ALIMENTATION DES GV ET PRESSIONS SECONDAIRES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	71
FIG–15.2.2C.26 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L’EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT VAPEUR ET NIVEAUX GV GE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	72
FIG–15.2.2C.27 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L’EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – RÉACTIVITE ET DÉBIT D’INJECTION DE SÉCURITÉ (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	73
FIG–15.2.2C.28 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L’EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT DE CHARGE ET CONCENTRATION EN BORE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	74

.15.2.2C DEFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT A UNE AUGMENTATION DU DEBIT D'EAU ALIMENTAIRE [ETATS A, B]

Le transitoire étudié dans ce chapitre correspond à une défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit d'eau alimentaire normale, alors que le réacteur est dans le domaine de fonctionnement défini par l'état A ou l'état B.

Le transitoire est étudié lors d'un fonctionnement à pleine puissance et à puissance nulle, afin de démontrer le respect des critères de sûreté PCC2, ou PCC4 lorsque le MDTE est cumulé.

1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1. DÉFINITION

Le transitoire de mauvais fonctionnement de l'eau alimentaire normale (ARE) des générateurs de vapeur, par augmentation du débit d'alimentation, provoque une augmentation de la capacité d'extraction de la chaleur primaire par le circuit secondaire.

Cette section détaille le transitoire d'augmentation du débit d'eau alimentaire alors que le réacteur est dans les conditions de fonctionnement définies par l'état A ou par l'état B.

1.2. CAUSES

Un dysfonctionnement du système d'eau alimentaire normale, conduisant à une augmentation du débit, peut résulter :

- du démarrage intempestif d'une moto-pompe d'eau alimentaire supplémentaire, initialement en stand-by, provoquant un surdébit d'eau alimentaire symétrique dans les 4 GV,
- ou de l'ouverture intempestive de la vanne réglante située sur les lignes à grand débit ou sur les lignes à petit débit d'un GV, provoquant un surdébit sur un GV.

2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

2.1.1. De l'initiateur à l'état contrôlé

L'augmentation excessive du débit d'eau alimentaire induit une augmentation importante de l'inventaire en eau dans un ou plusieurs GV suivant l'initiateur considéré. L'échange entre le primaire et le secondaire augmente. De ce fait, la température et la pression primaires diminuent. Suite au refroidissement, la puissance nucléaire augmente ou, si le transitoire est initié à puissance nulle, la marge d'antiréactivité diminue, et il y a un risque de retour en criticité pouvant entraîner un retour en puissance. Ce transitoire peut donc conduire à un risque de crise d'ébullition et d'endommagement de la gaine du combustible.

2.1.1.1. Cas initié en puissance

Lorsque le transitoire est initié en puissance, l'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est provoqué par l'un des signaux suivants :

- signal « Bas RFTC »,
- signal « Haut niveau dans un GV » (seuil Max1p),
- signal « Puissance linéique élevée ».

La limitation « Bas RFTC », qui génère un arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge turbine, peut aussi être atteinte mais elle n'est pas valorisée.

Côté secondaire, l'AAR provoque le déclenchement de la turbine. La montée en pression dans les générateurs de vapeur qui en résulte conduit à l'ouverture des vannes du Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur (GCT), ou à l'ouverture des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA) GV par GV, si le GCT est indisponible. De plus, l'AAR provoque la fermeture des vannes d'isolement des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale. Le petit débit ARE permet alors d'évacuer la puissance résiduelle. Pendant ce temps, si l'alimentation sur petit débit ARE est excessive, le ou les GV affecté(s) continue(nt) de se remplir. Si le niveau GV reste élevé (seuil de « Haut niveau GV » Max0p) □ après l'émission du compte-rendu d'AAR, le petit débit ARE est également isolé dans le ou les GV concerné(s), par la fermeture des vannes d'isolement des lignes à petit débit de l'ARE et des vannes principales correspondantes.

L'état contrôlé est atteint, il correspond à un état d'arrêt à chaud, la puissance résiduelle étant évacuée par les VDA et les GV alimentés par le petit débit ARE ou, à terme, par l'ASG démarrée □ ou par un signal automatique de « Bas niveau GV » si l'ARE n'est plus disponible.

2.1.1.2. Cas initié à puissance nulle

Lorsque le dysfonctionnement survient initialement à basse charge, alors que le réacteur était supposé fonctionner avec un petit débit ARE régulé, le niveau dans les GV augmente jusqu'à atteindre le signal de « Haut niveau GV » (seuil Max0p) qui isole le petit débit ARE □ après l'émission du compte-rendu d'AAR. Le signal de compte-rendu d'AAR est préalablement émis par le signal de « Basse pression pressuriseur » (seuil Min2p), « Baisse rapide de la pression secondaire » (seuil Max0p) ou par le signal de « Haut niveau GV » (seuil Max1p).

Sous l'effet de l'augmentation importante de la capacité d'extraction par le secondaire, le circuit primaire se refroidit et se dépressurise. Le signal de démarrage automatique du RBS ainsi que le signal IS peuvent être émis sur « Basse pression pressuriseur » (respectivement seuil Min4p et Min3p). Sur compte-rendu de signal IS, un refroidissement partiel du fluide primaire est amorcé : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA (et du GCT s'il est disponible) sont abaissés □ pour assurer un refroidissement à la vitesse de 250°C/h.

Le cœur est initialement sous-critique. Sous l'effet du refroidissement, la réactivité augmente par effet modérateur et peut conduire à un retour en puissance.

Une fois l'isolement ARE réalisé le refroidissement du circuit primaire est arrêté. Si le cœur est redevenu critique et qu'une excursion de puissance a lieu, le circuit primaire se réchauffe pour se stabiliser avec le circuit secondaire qui atteint un état d'équilibre (pression GV en fin de refroidissement partiel). La puissance est évacuée par le GCT ou les VDA si l'isolement vapeur a eu lieu, et à terme, l'ASG peut être démarrée □ ou par un signal automatique de « Bas niveau GV », l'état contrôlé est atteint.

2.1.2. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

Pour rejoindre l'état d'arrêt sûr, il est nécessaire que les générateurs de vapeur puissent amener le circuit primaire aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

À l'issue de la phase automatique, □ deux conduites :

- Si aucun des critères d'entrée en Conduite Accidentelle n'est atteint, □ en « Conduite incidentelle » consécutivement à l'émission d'un signal d'AAR. Dans un premier temps, une « Stabilisation en conduite incidentelle » est demandée tant que le critère de niveau d'eau dans les bâches ASG est respecté. Quand le niveau d'eau dans les bâches ASG devient inférieur au seuil MIN un « Passage en état de repli en conduite incidentelle » est demandé. □ procède à une borication du fluide primaire par le RBS et injecte un volume de bore assurant la concentration en bore requise, et effectue en parallèle un refroidissement du fluide primaire par une ouverture contrôlée des vannes VDA ; la vitesse de refroidissement est de 25°C/h ou de 50°C/h selon le nombre de trains RBS en service et le niveau d'eau dans le pressuriseur. Un refroidissement à 50°C/h est également possible si la concentration en bore requise est atteinte. En parallèle, une dépressurisation contrôlée du circuit primaire est réalisée. Le refroidissement est maintenu jusqu'à l'atteinte d'une température et pression de 135°C et 32 bar abs en branche chaude avant de connecter le RIS-RA en mode RA.

- Si l'un des critères d'entrée en Conduite Accidentelle est atteint, [] la stratégie de « Passage à l'arrêt à froid avec injection de sécurité ». Cette stratégie demande une borication immédiate par le RBS du fluide primaire (injection d'un volume de bore défini par la Conduite Accidentelle) pour atteindre la concentration en bore de l'arrêt à froid. En parallèle, elle demande une dépressurisation du circuit primaire et un refroidissement du fluide par le secondaire à 25°C/h si 1 train RBS est en service ou 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la concentration en bore d'arrêt à froid est atteinte. L'abaissement de la pression de refoulement des trains ISMP par l'ouverture de la grande ligne à débit minimum permet d'entamer une dépressurisation afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr. Quand le permissif P14 est validé (température et pression dans les branches chaudes inférieures à 180°C et 32 bar abs respectivement) avec une marge à la saturation satisfaisante, [] connecter le RIS-RA en mode RA.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté relatifs aux PCC-2 sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition.
- L'absence de fusion à coeur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée [] permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.

Pour l'étude initiée en puissance, l'absence de crise d'ébullition est assurée en vérifiant que la valeur minimale de RFTC est supérieure à 1 car la chaîne de protection bas RFTC est efficace ou la chaîne de surveillance du RFTC est valorisée (voir sous-chapitre 4.4).

Pour l'étude initiée à puissance nulle, en pratique, les critères techniques d'acceptation liés à l'intégrité de la première barrière sont vérifiés par le non-retour en criticité.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le coeur est sous critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le coeur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

3.1. PRÉCAUTIONS

Lorsque la régulation de niveau d'eau dans les GV par l'ARE est opérationnelle, le démarrage intempestif d'une pompe d'eau alimentaire supplémentaire, initialement en stand-by, serait compensé par la fermeture des vannes de contrôle de l'ARE afin de maintenir le niveau GV à sa consigne.

Jusqu'à 10% PN, la régulation du débit est assurée uniquement par la vanne réglante de la ligne très petit débit, entre 10 et 20% PN environ, elle est assurée uniquement par la vanne réglante de la ligne petit débit, et entre 20 et 30% PN, elle est assurée également par la vanne réglante de la ligne petit débit et la vanne grand débit ARE est prépositionnée à un taux d'ouverture fixe.

3.2. MOYENS AUTOMATIQUES

Comme décrit au § 2.1., les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Puissance linéique élevée », sur signal « Haut niveau GV » (seuil Max1p), « Baisse rapide de pression GV » (seuil Max0p) ou sur signal « Bas RFTC »,
- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute pression secondaire » (seuil Max1p), GV par GV,
- isolement des lignes à grand débit de l'ARE sur signal « Haut niveau GV » (seuil Max1p), et plus généralement sur compte-rendu d'AAR,
- isolement des lignes à petit débit de l'ARE sur signal « Haut niveau GV » (seuil Max0p) après émission du compte-rendu d'AAR,
- signal IS sur « Basse pression pressuriseur » (seuil Min3p),
- signal de démarrage automatique du RBS sur « Basse pression pressuriseur » (seuil Min4p),
- signal d'isolement du RBS sur « Haut niveau pressuriseur » (seuil Max1p) ou « Haut niveau GV » (seuil Max3p),
- signal d'isolement de la charge sur signal IS ou « Haut niveau pressuriseur » (seuil Max1p),
- démarrage du refroidissement partiel sur « Haut niveau GV » (seuil Max2p) ou sur signal IS,
- isolement des lignes vapeur sur « Baisse rapide de pression GV » (seuil Max1p) ou « Basse pression GV » (seuil Min1p).

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Deux initiateurs sont retenus pour un transitoire initié en puissance :

- un surdébit symétrique dû au démarrage d'une pompe ARE.
- un surdébit dissymétrique dû à l'ouverture intempestive d'une vanne réglante d'un GV.

Dans ces conditions, l'initiateur le plus pénalisant vis-à-vis du RFTC et de la puissance linéique est le cas dissymétrique, présenté par la suite. De manière conservatrice, le cas dissymétrique est réalisé avec un surdébit dans le GV affecté.

Pour une situation initiée à puissance nulle, les mêmes initiateurs sont considérés de façon à couvrir la phase consécutive à l'Arrêt Automatique du Réacteur lors d'un dysfonctionnement de l'ARE initié en puissance. Cette démarche couvre également tout dysfonctionnement de l'ARE initié à basse charge alors que la tranche est en fonctionnement sur petit débit ARE. Les surdébits ARE considérés dans l'étude à puissance nulle sont fonctions de la pression secondaire (voir tableau [TAB-15.2.2c.7](#)). Ils sont calculés avec des hypothèses conservatives.

5. ANALYSE DU TRANSITOIRE (ETAT A)

5.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

5.1.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

□

5.1.2. CAS INITIÉ EN PUISSANCE EN ÉTAT A

5.1.2.1. Hypothèses d'études

5.1.2.1.1. État initial

Les valeurs initiales de puissance, température, pression primaire et niveau pressuriseur sont les valeurs extrêmes compatibles avec le fonctionnement du réacteur en régime stationnaire à pleine puissance pour tenir compte des incertitudes de façon pénalisante vis-à-vis du RFTC (cf. sous-chapitre 15.1). Le niveau GV initial (augmenté de l'incertitude modèle par cohérence avec les seuils de protection) est minimisé afin de retarder l'AAR par haut niveau GV.

□ Les conditions initiales sont présentées au tableau [TAB-15.2.2c.2](#).

5.1.2.1.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Deux aggravants sont possibles :

- la défaillance d'une division dans la chaîne de protection bas RFTC car cela peut retarder l'arrivée de l'AAR dans le cas d'un transitoire dissymétrique,
- la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur lors de l'AAR car cela limite la décroissance du flux neutronique lors de la chute des grappes.

L'aggravant retenu est la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur lors de l'AAR car cette hypothèse s'avère plus pénalisante vis-à-vis du RFTC.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour la phase du transitoire étudiée, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

5.1.2.1.3. Hypothèses cœur

□

Par ailleurs, pour accentuer l'augmentation de flux nucléaire lors du refroidissement et donc pénaliser la puissance linéique et le RFTC, on retient les données neutroniques suivantes :

- coefficient modérateur maximum,
- coefficients Doppler puissance minimum et Doppler température maximum en valeur absolue,
- concentration en bore nulle,
- temps de chute des grappes maximal sans séisme.

□

Ces données neutroniques sont issues du sous-chapitre 15.1 et sont enveloppes de tous les cycles de la gestion du combustible. Elles couvrent la prolongation de cycle.

5.1.2.1.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Régulations

La régulation de la pression du pressuriseur n'est pas prise en compte car elle a un impact favorable sur le RFTC (car seules les chaufferettes pourraient être sollicitées sur ce transitoire de dépressurisation).

La régulation de température par les grappes peut entraîner une augmentation plus rapide du flux nucléaire par combinaison d'une extraction des grappes due au refroidissement et d'une insertion des grappes due au déséquilibre de puissance entre le primaire et le secondaire. Son impact est donc analysé et pris en compte s'il s'avère pénalisant.

Les autres fonctions de régulation ne sont pas prises en compte car elles sont soit sans impact soit favorables vis-à-vis du RFTC.

VDA

Le débit VDA est pris minimum \square et le point de consigne d'ouverture maximum \square (voir sous-chapitre 15.1).

Le pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA (fonction de l'évolution de la puissance dans le cœur) n'est pas pris en compte dans cette étude ; ces vannes sont donc pleines ouvertes à l'ouverture des vannes d'isolement du VDA, ce qui conduit à une forte dépressurisation du circuit secondaire à l'ouverture des vannes d'isolement. Cette hypothèse n'a toutefois pas d'impact sur le RFTC minimum atteint au début de la chute des grappes ; elle limite juste la remontée du RFTC après la chute des grappes.

ARE

La pleine ouverture de la vanne à grand débit entraîne une diminution de la mesure ΔP eau-vapeur. La régulation de ΔP eau-vapeur ramène cette mesure à la valeur de consigne à 100%PN en demandant une accélération des pompes MPA. En conséquence le débit ARE de la ligne augmente alors que les débits ARE des autres lignes restent constants. A débit vapeur à la turbine constant, l'augmentation de débit ARE entraîne une chute de la température ARE. \square

\square

Les vannes à grand débit des GV sains sont supposées en régulation de débit afin d'augmenter le débit d'eau envoyé vers le GV affecté.

Après AAR, la ligne à grand débit du circuit d'eau alimentaire normale est isolée. Un petit débit ARE maximal \square est maintenu jusqu'à l'activation du signal « Haut niveau GV » (seuil Max0p) qui permet l'isolement des lignes à petit et très petit débits. Cette hypothèse n'a néanmoins aucun impact sur le RFTC minimum atteint au cours du transitoire car ce dernier est obtenu au début de la chute des grappes et donc avant l'isolement des lignes grand débit ARE.

5.1.2.1.5. Hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde

Les trois signaux d'AAR modélisés sont :

- le signal « Bas RFTC » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil étude : 1,05,
 - délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : \square s \square .
- le signal « Puissance linéique élevée » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil étude : 590 W/cm,
 - délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : \square s \square .
- Le signal « Haut niveau dans un GV » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil Max1p \square ,

- délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : Δt s Δt ,
- On considère un seuil maximal pour retarder l'AAR et ainsi prolonger le remplissage du/des GV affectés et donc le refroidissement du primaire.

Le déclenchement de la turbine a lieu avec un retard minimal de Δt secondes après le signal d'AAR.

La valeur de l'efficacité intégrale de l'AAR tient compte de la grappe la plus antiréactive bloquée en position haute.

Un délai maximal de Δt secondes après le signal d'AAR est pris en compte pour isoler les lignes à grand débit du circuit d'eau alimentaire normale (Δt).

5.1.2.2. Résultats

Le transitoire le plus pénalisant vis-à-vis des critères techniques d'acceptation est le cas d'un mauvais fonctionnement alimentaire initié par l'ouverture intempestive d'une vanne réglante d'un GV (transitoire dissymétrique) sans prise en compte de la régulation de température primaire.

Le tableau [TAB-15.2.2c.10](#) présente la séquence des événements. L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2c.1](#) à [FIG-15.2.2c.5](#).

Le transitoire est initié par un surdébit dans le GV1, qui entraîne une augmentation du niveau d'eau dans ce GV. Le déséquilibre de puissance entre le primaire et le secondaire conduit à une diminution de la température primaire, ainsi que de la pression primaire. La température primaire diminue essentiellement dans la boucle affectée. Du fait du coefficient modérateur négatif, la puissance nucléaire augmente jusqu'à atteindre ΔP %PN.

Le RFTC diminue et l'AAR sur « bas RFTC » intervient à 15,4 secondes.

Après l'AAR sur bas RFTC et la chute de grappes Δt , la puissance, la pression et la température primaire diminuent. Le RFTC physique Δt minimum Δt est atteint peu après le début de la chute des grappes à 17,4 secondes Δt . Le critère d'absence de crise d'ébullition est donc respecté.

En considérant un RFTC initial calé sur l'alarme DNB LCO Δt , la puissance linéique atteint Δt W/cm à 17,5 secondes. Le critère d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible est respecté.

Suite au déclenchement turbine, la pression au secondaire augmente rapidement provoquant l'ouverture des VDA à 28,1 secondes.

Le grand débit ARE est isolé suite au signal d'AAR. Δt .

Le petit débit ARE permet alors d'évacuer la puissance résiduelle. Cependant, comme la fermeture des vannes grand débit dure Δt secondes, le GV affecté est presque plein lors du passage sur petit débit. Ainsi, il y aurait normalement isolement du petit débit ARE dans le GV affecté sur signal haut niveau GV (Max0p), Δt après l'émission du compte-rendu d'AAR ainsi que démarrage du refroidissement partiel sur signal de très haut niveau GV (Max2p). Ces deux actions ne sont pas simulées dans l'étude en état A car elles interviennent après l'AAR et l'atteinte du minimum de RFTC. La phase qui suit la chute des grappes est couverte par l'étude du transitoire à puissance nulle.

Le refroidissement du circuit primaire induit par l'augmentation du débit d'eau alimentaire conduisant à une baisse de la pression primaire, les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, ce qui garantit l'intégrité du RDP.

Les critères techniques d'acceptation relatifs à l'absence de crise d'ébullition, l'absence de fusion à cœur des pastilles et à l'intégrité du RDP sont vérifiés ([§ 2.2.](#)). L'atteinte de l'état contrôlé est vérifiée dans le cadre de l'étude du transitoire à puissance nulle ([§ 5.1.3.](#)).

Analyse de la prolongation de cycle

L'étude présentée dans ce chapitre est enveloppe de la prolongation de cycle car elle prend en compte les surdébits ARE les plus importants (obtenus en fin de prolongation de cycle à pression secondaire abaissée) et les conditions initiales du cycle naturel, qui sont pénalisantes vis-à-vis du RFTC (l'effet conjugué du niveau de puissance et de la température primaire maximale étant prédominant sur la pression primaire abaissée).

5.1.2.3. Conclusion sur le cas initié en puissance

Les critères techniques d'acceptation relatifs à l'absence de crise d'ébullition, l'absence de fusion à coeur des pastilles et à l'intégrité du RDP sont vérifiés (§ 2.2.).

L'atteinte de l'état contrôlé est vérifiée dans le cadre de l'étude du transitoire à puissance nulle (§ 5.1.3.).

5.1.3. CAS INITIÉ À PUISSANCE NULLE EN ÉTAT A

5.1.3.1. Hypothèses d'études

5.1.3.1.1. État initial

L'état initial est enveloppe des états consécutifs à l'arrêt automatique du réacteur, de l'attente à chaud et de l'arrêt à chaud. Les hypothèses considérées visent à majorer le refroidissement du circuit primaire par les GV dans les conditions les plus défavorables vis-à-vis de la crise d'ébullition. [].

Par ailleurs, un niveau GV initial minoré est considéré afin d'augmenter la durée d'injection d'eau alimentaire, prolongeant ainsi la durée de refroidissement du circuit primaire.

Le niveau d'eau dans le pressuriseur est maximal afin de ralentir la dépressurisation primaire, et en conséquence retarder l'injection de bore par les pompes IS. De plus cette hypothèse s'avère pénalisante vis-à-vis de l'effet modérateur puisqu'à refroidissement identique le gain de réactivité est supérieur à pression plus élevée. La concentration en bore du circuit primaire est initialement nulle.

Un calcul enveloppe du cycle naturel et du début de la prolongation de cycle est réalisé. De plus, afin de tenir compte de l'augmentation des surdébits ARE à plus faible pression GV et d'un abaissement des seuils des signaux d'isolement vapeur, VDA et ARE en prolongation de cycle, un calcul en prolongation de cycle est réalisé avec les seuils abaissés. Le point de fonctionnement retenu est celui qui présente l'écart maximal entre la pression secondaire initiale et les seuils de pression secondaire abaissés. Un abaissement de la pression primaire initiale est considéré conformément au fonctionnement en prolongation de cycle.

Les tableaux TAB-15.2.2c.4 et TAB-15.2.2c.5 résument les conditions initiales retenues pour les cas étudiés et correspondent à un état initié à puissance nulle.

5.1.3.1.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

À court terme, les critères à respecter sont l'absence de crise d'ébullition et la non fusion du combustible. L'aggravant le plus pénalisant vis-à-vis de ces aspects est la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du coeur.

Une maintenance préventive est considérée sur la pompe ISMP de la boucle la plus froide, afin de limiter l'apport de bore dans cette boucle.

5.1.3.1.3. Hypothèses coeur

Elles tiennent compte des incertitudes, des pénalités pour prise en compte des effets du tilt, du SCTR, du FPPR et du fonctionnement en prolongation de cycle ainsi que de provision.

Pour un transitoire de refroidissement initié à puissance nulle, elles sont choisies de manière à accentuer l'insertion de réactivité et le retour en puissance :

- Les coefficients de densité du modérateur et Doppler température correspondent aux valeurs maximales en valeur absolue.

- L'efficacité différentielle du bore et le défaut Doppler puissance correspondent aux valeurs minimales en valeur absolue.

Ces données sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.2c.8](#).

Les coefficients cinétiques utilisés sont donnés dans le [TAB-15.2.2c.8](#).

La sous-criticité initiale retenue correspond à la valeur minimale enveloppe tous cycles et toutes grappes coincées. Elle tient compte des incertitudes, des pénalités pour prise en compte des effets du tilt, du SCTR, du FPPR et de provision. La sous-criticité minimale est donnée dans le [TAB-15.2.2c.8](#).

□

□ La puissance résiduelle n'est pas considérée de manière à accentuer le refroidissement.

5.1.3.1.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Régulations

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur est supposée fonctionner correctement afin de limiter la dépressurisation induite par le refroidissement du fluide primaire. Sa prise en compte retarde la baisse du niveau et tend à différer voire empêcher l'émission des signaux de démarrage IS et RBS et donc l'injection de bore. Si le niveau du pressuriseur devient inférieur à la valeur de la consigne diminuée □, la deuxième pompe de charge est automatiquement mise en service. La ligne de décharge est automatiquement isolée lorsque le niveau pressuriseur devient inférieur au seuil Min2. La charge injecte dès le début du transitoire à une température minimale □ afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire.

Aspersion normale et Chauffelettes

La régulation de la pression du pressuriseur est supposée fonctionner correctement afin de limiter la chute de pression primaire. Les chauffelettes sont arrêtées lorsque le niveau du pressuriseur devient inférieur au seuil Min3.

VDA

Le débit VDA est pris maximum □ avec un point de consigne d'ouverture minimum □ afin de favoriser le refroidissement du primaire en cas de sollicitation (cf. sous-chapitre 15.1).

Le pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA (fonction du niveau de puissance dans le cœur) est pris en compte : ces vannes sont supposées pleines ouvertes initialement et commencent à se fermer au début du transitoire □.

Sur compte-rendu de signal IS ou sur signal de « Haut niveau GV », un refroidissement partiel est amorcé par le secondaire : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA (et du GCT s'il est disponible) sont abaissés □ pour assurer un refroidissement à un gradient de □.

ARE

La situation pénalisante retenue correspond à l'ouverture intempestive d'une vanne réglante sur la ligne à grand débit de l'ARE alors que 3 motopompes alimentaires sont en service, et que les 3 autres GV sont alimentés par un débit nominal □. Ce scénario suppose toutefois que les vannes d'isolement sur les lignes à grand débit de l'ARE ne sont pas encore fermées. Ceci ne peut correspondre qu'à un scénario où l'arrêt automatique du réacteur vient d'être généré, avec des vannes d'isolement sur les lignes à grand débit pas encore fermées suite au compte-rendu d'AAR. En conséquence, le scénario suppose l'émission d'un compte-rendu d'AAR à l'instant initial et l'isolement des lignes à grand débit de l'ARE, dans un délai maximal □.

Après l'isolement des lignes à grand débit de l'ARE, le transitoire se poursuit par l'injection d'eau alimentaire en fonctionnement sur petit débit ARE. On suppose que la régulation de niveau GV par les

vannes réglantes des lignes à petit débit est inopérante, de sorte que ces vannes sont pleines ouvertes et continuent d'apporter un débit excessif d'eau dans les générateurs de vapeur.

Le tableau [TAB-15.2.2c.7](#) donne les évolutions de débit d'eau alimentaire en fonction de la pression GV pour les trois phases du transitoire :

- phase 1 : fonctionnement sur petit débit et grand débit ARE dans les 4 GV, avec une pleine ouverture de la vanne réglante d'une ligne à grand débit sur un GV,
- phase 2 : fonctionnement sur petit débit ARE dans les 4 GV, après isolement des lignes grand débit ARE,
- phase 3 : fonctionnement sur petit débit ARE dans les 3 GV sains après isolement du GV affecté.

La température de l'eau alimentaire considérée est prise minimale \square .

RIS

Le débit d'injection de sécurité est le débit minimal \square des quatre trains ISMP en service (voir sous-chapitre 15.1) avec un temps d'activation maximal afin de limiter l'apport en bore dans le quart de cœur le plus froid.

La température de l'IS est prise minimale \square pour favoriser le refroidissement du fluide primaire. La concentration en bore de l'IS correspond à la concentration minimale de l'IRWST \square .

RBS

La concentration en bore naturel est prise minimale \square avec un débit d'injection minimal \square à une température minimale \square .

De manière pénalisante, aucune dissymétrie n'est prise en compte concernant la répartition des débits RBS afin de retarder l'arrivée du front de bore dans le coeur.

Autres hypothèses

Les coefficients de mélange entre boucles primaires sont issus des essais \square . L'hypothèse d'un mauvais mélange est retenue (voir tableau [TAB-15.2.2c.1](#)).

5.1.3.1.5. Hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde

L'isolement de l'eau alimentaire normale est effectué de la façon suivante :

- ordre d'isolement du grand débit ARE sur « compte-rendu d'AAR » (classé F1A) à $t = 0$ s :
 - délai maximal jusqu'à l'isolement effectif du grand débit ARE \square .
- ordre d'isolement du petit débit ARE sur signal « Haut niveau GV » (classé F1A) GV par GV avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil Max0p \square ,
Ce seuil est maximisé pour accroître le refroidissement primaire.
 - délai maximal jusqu'à l'isolement effectif du petit débit ARE : temporisation \square après émission du compte-rendu d'AAR pour permettre l'activation du signal et délai \square après le franchissement physique du seuil \square . La prise en compte d'un seuil maximal a pour effet de prolonger la phase d'injection d'eau alimentaire et donc la durée de refroidissement du circuit primaire.

L'injection de sécurité est activée sur :

- le signal IS par « Basse pression pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- seuil Min3p ,
- délai maximal entre l'atteinte du seuil et le démarrage des pompes .

Le démarrage du RBS est activé sur le signal suivant :

- le signal de « Basse pression pressuriseur » (classé F1A) :
-

L'isolement du RBS est réalisé sur :

- le signal de « Haut niveau GV » (classé F1A) :
-
- le signal de « Haut niveau pressuriseur » (classé F1A) :
-

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur :

- le signal IS (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil identique au seuil IS,
 - délai maximal jusqu'à l'isolement effectif Le signal est retardé pour garder le débit de charge en fonctionnement le plus longtemps possible.
- le signal de « Haut niveau pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil Max1p ,
 - délai maximal jusqu'à l'isolement effectif Le signal est retardé pour garder le débit de charge en fonctionnement le plus longtemps possible.

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur :

- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil Max1p :

Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement vapeur.
 - délai maximal entre l'atteinte du seuil et la fermeture effective des vannes d'isolement vapeur (VIV) .

Le refroidissement partiel est activé sur :

- le signal IS par « Basse pression pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil identique au seuil IS,
 - délai maximal entre l'atteinte du seuil et l'émission du signal .

L'arrêt des chaufferettes du pressuriseur est réalisé sur :

- le signal « Bas niveau pressuriseur » avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil FAO Min3 [].

L'isolement de la décharge du RCV est réalisé sur :

- le signal « Bas niveau pressuriseur » avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil FAO Min2 [].

5.1.3.2. Résultats

5.1.3.2.1. Étude en cycle naturel (et début de prolongation de cycle)

Le transitoire le plus pénalisant vis-à-vis des critères techniques d'acceptation est le cas d'un mauvais fonctionnement alimentaire initié par l'ouverture intempestive d'une vanne réglante de la ligne à grand débit du GV associé à la boucle portant le pressuriseur (transitoire dissymétrique).

Le tableau [TAB-15.2.2c.12](#) présente la séquence des événements du transitoire de mauvais fonctionnement de l'eau alimentaire normale à puissance nulle. L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2c.12](#) à [FIG-15.2.2c.18](#).

Le transitoire est initié par un surdébit dans le GV 3, qui entraîne une augmentation rapide du niveau d'eau dans ce GV.

Le déséquilibre de puissance entre le circuit primaire et secondaire conduit à une diminution de la température et de la pression primaires. Consécutivement au compte rendu d'AAR émis initialement les lignes à grand débit ARE sont isolées dans tous les GV []. Les surdébits ARE causent une augmentation de la pression dans les GV ; les VDA sont alors sollicitées sur signal de « Haute pression secondaire » Max1p.

Les quatre GV sont alors alimentés par leur ligne à petit débit, jusqu'à ce que le GV initialement affecté atteigne le niveau Max0p qui isole le petit débit d'eau alimentaire dans celui-ci. L'échange entre les circuits primaire et secondaire devient alors quasiment nul dans le GV affecté et la température dans la boucle 3 se stabilise, alors qu'elle continue de chuter dans les trois autres GV du fait du fonctionnement sur petit débit ARE maximal. L'excès d'énergie extraite du circuit primaire entraîne une baisse des températures dans les branches froides, et la contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une diminution de la pression primaire. Le seuil de démarrage du RBS sur « basse pression pressuriseur » Min4p est franchi et le RBS est démarré.

Le refroidissement du circuit primaire entraîne une réduction de la sous-criticité initiale par effet modérateur et effet Doppler. Les GV non affectés atteignent finalement le signal de « Haut niveau GV » Max0p qui conduit à l'isolement du petit débit dans tous les GV. Quelques instants après la fermeture effective des vannes ARE à petit débit, la baisse de température primaire est arrêtée, un premier pic de réactivité est atteint. Compte tenu du fonctionnement de la régulation de pression primaire, la pression augmente et par effet modérateur la sous-criticité diminue légèrement à nouveau jusqu'à l'arrivée du bore dans le coeur, le second pic de réactivité est alors obtenu. L'augmentation du niveau dans le pressuriseur active le signal d'isolement du RBS et de la charge du RCV. Le coeur reste sous critique. Ceci garantit l'absence de fusion à coeur des pastilles de combustible et l'absence de crise d'ébullition.

La puissance des pompes primaires réchauffe le fluide primaire et par effet modérateur, la sous-criticité augmente. La puissance des pompes primaires peut être évacuée par les VDA.

Ce transitoire est enveloppe de tous les cycles naturels et du début de la prolongation de cycle.

5.1.3.2.2. Étude en prolongation de cycle

Du fait de surdébits ARE plus importants à pression secondaire abaissée, un transitoire est réalisé pour un état en fin de prolongation de cycle.

Les conditions initiales de calcul retenues (température moyenne primaire et sous-criticité) correspondent aux conditions à charge nulle les plus pénalisantes (température maximale à puissance nulle et sous-criticité minimale).

Un abaissement de la pression primaire initiale est considéré conformément au fonctionnement en prolongation de cycle.

Les protections concernées par un abaissement au cours de la prolongation de cycle, notamment le signal d'ouverture des VDA sur « Haute pression secondaire » seuil Max1p sont abaissées conformément au fonctionnement en prolongation de cycle.

Les seuils de protection de haut niveau GV sont identiques à ceux de l'étude en cycle naturel (et début de prolongation de cycle).

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2c.13](#). Comparativement au transitoire initié en cycle naturel, les seuils d'isolement ARE sur Haut niveau GV sont atteints plus tôt au cours du transitoire du fait des valeurs de surdébits plus élevées à basse pression secondaire. La baisse de pression primaire ne permet pas de franchir le seuil de démarrage du RBS sur « Basse pression pressuriseur ». Les effets de réactivité étant plus faibles pour des températures primaires plus basses (effet modérateur principalement), le pic de réactivité est finalement plus faible que pour l'étude en cycle naturel.

Les évolutions de la puissance coeur et de la réactivité sont présentées en figure [FIG-15.2.2c.20](#).

5.1.3.2.3. CONCLUSION SUR LES CAS INITIES A PUISSANCE NULLE

Pour l'ensemble des cas initiés à puissance nulle sans prise en compte cumul du MDTE (i.e. cas en cycle naturel/début de prolongation de cycle et en prolongation de cycle), le coeur est maintenu à l'état sous-critique. Les critères d'absence de fusion à coeur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont donc respectés. Par ailleurs, la défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit d'eau alimentaire étant un transitoire de refroidissement, les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, ce qui garantit l'intégrité du RDP.

Le maintien sous-critique du coeur et le respect de l'intégrité du RDP garantissent l'absence de rejets radiologiques.

Par ailleurs, l'évacuation de la puissance résiduelle et de la puissance des pompes primaires est assurée par les générateurs de vapeur. L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est atteint.

Les critères techniques d'acceptation PCC-2 définis au [§ 2.2](#) sont respectés.

5.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Lors de l'entrée en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA), l'état du réacteur est rappelé ci-dessous :

- Les pompes primaires sont en fonctionnement.
- Le réacteur est en arrêt à chaud, les grappes ont chuté et le déclenchement de la turbine a eu lieu.
- L'évacuation de la puissance résiduelle du coeur est assurée par les générateurs de vapeur.
- Si l'eau alimentaire normale a été isolée automatiquement, suite à la sollicitation des signaux de Haut Niveau GV, les générateurs de vapeur ne sont plus alimentés ou sont alimentés par l'ASG qui aura démarré automatiquement, GV par GV, si le niveau d'eau a eu suffisamment de temps pour baisser depuis l'isolement de l'eau alimentaire normale.

- La vapeur produite par la puissance échangée est évacuée par les Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA) qui contrôlent la pression secondaire à leur pression de consigne (ou par le GCT s'il est disponible, dans le cas où aucun signal d'isolement des lignes vapeur n'a été préalablement émis). Dans certains scénarios, la pression de consigne des VDA lors de l'entrée en CIA peut être une pression imposée par un refroidissement partiel en cours, ou une pression secondaire de fin de refroidissement partiel.
- La température du fluide primaire est stable, elle est légèrement supérieure à la température de saturation du fluide secondaire.

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le signal d'AAR.

La Conduite Incidentelle/Accidentelle ☐ deux conduites différentes, selon l'état du réacteur.

5.2.1. CONDUITE INCIDENTELLE

Si aucun des critères d'entrée en Conduite Accidentelle n'est atteint, ☐ Conduite Incidentelle vers la stratégie « Stabilisation en Conduite Incidentelle », dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires et secondaire.

À court terme, l'état d'arrêt à chaud ainsi obtenu est un état contrôlé. ☐ reste dans cette phase de stabilisation jusqu'à ce que le critère « somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN » soit atteint (on suppose que les bâches ASG ne peuvent être réalimentées), ☐ arrête alors trois GMPP sur quatre avant d'être orienté vers la procédure « Passage en Etat de Repli en Conduite Incidentelle ».

Dès lors, ☐ effectue une borication du circuit primaire en utilisant le RBS et injecte un volume de bore assurant la concentration en bore requise. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles, du niveau pressuriseur et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si un train RBS est en service ou que le niveau pressuriseur est inférieur au seuil Min2,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil Min2 ou si deux trains RBS sont en service et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil Min2.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu à la valeur nominale grâce à l'ASG. En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG, et dans la mesure où le GV associé est toujours utilisable, la surveillance de l'efficacité de l'ASG aura permis d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné. ☐ sera chargé de commander les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

Une fois que le volume requis de bore est injecté, assurant la concentration en bore requise, la borication est arrêtée. Pendant le refroidissement, ☐ contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants.

Pour la dépressurisation contrôlée, ☐ utilise l'aspersion normale si elle est disponible, ou l'aspersion auxiliaire si l'aspersion normale n'est pas disponible, ou les soupapes du pressuriseur si les moyens d'aspersion ne sont pas disponibles.

☐ isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous ☐ bar abs.

Lorsque la température et la pression dans les branches chaudes atteignent 135°C et 32 bar abs, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée.

5.2.2. CONDUITE ACCIDENTELLE

Si le signal IS a été émis, un test d'intégrité primaire est réalisé. A l'issue de ce test, en fonction de la pression primaire et du niveau dans le pressuriseur, le circuit primaire peut être déclaré « non intègre ». L'opérateur est alors orienté vers la conduite de « Passage en Arrêt à Froid avec IS ».

L'objectif de la procédure « Passage en Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » est d'abaisser la pression de refoulement des trains ISMP en service par l'ouverture de la grande ligne à débit minimum pour pouvoir dépressuriser et ainsi rejoindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

Une borication du circuit primaire est réalisée par le RBS via l'injection d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si la concentration en bore est inférieure à la concentration en bore d'arrêt à froid et que les 2 trains RBS ne sont pas en service,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore d'arrêt à froid ou si 2 trains RBS sont en service.

Pendant le refroidissement, pour permettre la dépressurisation du circuit primaire, les pompes ISMP sont basculées séquentiellement sur leurs grandes lignes à débit minimum tout en respectant un critère de marge à la saturation qui garantit la sous-saturation du fluide primaire après le basculement.

La pression primaire étant stable, les GMPP ne sont pas arrêtées avant le basculement de la dernière pompe ISMP sur sa grande ligne à débit minimum. La dernière pompe ISMP est basculée sur un critère de température en sortie cœur □ garantissant une bonne marge à la saturation après le basculement.

La mise à l'arrêt totale de l'IS est ensuite réalisée, le permissif P14 n'étant pas présent.

Une dépressurisation du circuit primaire par l'aspersion normale est initiée tant que la pression primaire est supérieure à □.

Les accumulateurs sont isolés au cours de la dépressurisation □.

Dès que la pression primaire est inférieure à 32 bar abs une stabilisation de la pression à la valeur atteinte est réalisée (fermeture de la soupape du pressuriseur).

Lorsque la température et la pression primaire atteignent 180°C et 32 bar abs, □. Ensuite, en fonction du nombre de trains RIS-RA en service en mode IS et de la marge à la saturation, □ basculement d'un train RIS-RA non requis en mode IS en mode RA.

5.2.3. CONCLUSION

La conduite la plus pénalisante vis à vis de la consommation d'ASG est la conduite incidentelle qui nécessite d'atteindre le seuil de bas niveau des bâches ASG avant d'engager le refroidissement. En conduite incidentelle, les moyens disponibles pour atteindre l'état d'arrêt sûr sont identiques à ceux de l'étude de la perte de l'eau alimentaire normale (voir section 15.2.2i) pour laquelle un calcul explicite permet de montrer que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Au moment du signal d'arrêt automatique du réacteur, l'inventaire en eau secondaire est supérieur dans le cas de l'étude de mauvais fonctionnement de l'eau alimentaire normale à celui considéré dans l'étude de perte de l'eau alimentaire normale. Par ailleurs, la consommation de l'eau des GV au cours d'un transitoire de dysfonctionnement de l'ARE reste faible et ne conduit pas à une diminution significative de l'inventaire en eau des GV. La masse d'eau secondaire contenue initialement est

inférieure à la masse d'eau au moment du signal d'arrêt automatique du réacteur. Le transitoire de mauvais fonctionnement de l'eau alimentaire normale est donc couvert par le transitoire de perte d'eau alimentaire normale vis-à-vis de la consommation des bâches ASG.

Par conséquent, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr correspondant aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, la défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit d'eau alimentaire étant un transitoire de refroidissement, les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, ce qui garantit l'intégrité du RDP.

L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 0,99$). Le maintien sous-critique du cœur et le respect de l'intégrité du RDP garantissent l'absence de rejets radiologiques. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2.](#) est donc respecté.

6. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE (ÉTAT A)

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE sur le transitoire de mauvais fonctionnement de l'eau alimentaire normale conduisant à une augmentation du débit d'eau alimentaire, initié en puissance et à puissance nulle. Comme pour l'analyse sans cumul du MDTE, l'initiateur dissymétrique est retenu. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant le plus pénalisant parmi : l'instant initial, l'instant de l'AAR et l'instant du signal d'IS.

Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré pour le transitoire initié en puissance.

6.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTROLÉ

6.1.1. Codes et méthodes de calcul

Cas initié en puissance

□

□

Cas initié à puissance nulle

Le code utilisé pour l'étude avec cumul du MDTE à puissance nulle est identique à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.1.](#)).

6.1.2. Critères d'étude

Les objectifs et critères de sûreté à respecter pour les études de transitoire PCC-2 avec cumul du MDTE sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et présentés dans la section 15.0.2. Pour cet accident, les critères techniques d'acceptation suivants sont vérifiés :

Des dommages limités sur certains assemblages combustible sont acceptés :

- la quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10% ;
- en cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482° C, pour les transitoires rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible ;

- la fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.

Dans le cas où le réacteur est initialement sous-critique, les critères à respecter sont ceux relatifs à l'intégrité des barrières de confinement, en particulier de la première barrière (voir [§ 2.2.](#)).

En pratique, dans l'étude initiée à puissance nulle, les critères techniques d'acceptation sont vérifiés par le non-retour critique.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

pour l'état contrôlé :

- Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour l'état d'arrêt sûr :

- Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
- L'évacuation de la puissance doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

6.1.3. Cas initié en puissance

6.1.3.1. Instant du cumul du MDTE

L'analyse est effectuée à court terme vis-à-vis de la crise d'ébullition.

Le cumul du MDTE considéré dès l'instant initial conduirait très rapidement à un AAR par basse vitesse des pompes primaires (voir section 15.2.2h). Pendant cette courte durée, l'impact du surdébit ARE n'est pas encore significatif sur les paramètres primaires.

Le cumul du MDTE à l'instant du signal d'IS n'est pas pertinent car le minimum de RFTC est atteint peu de temps après l'AAR. Or, le signal IS est émis plus tard.

Le MDTE est pris en compte à l'instant du franchissement du seuil d'AAR. Les paramètres thermohydrauliques ont eu le temps d'évoluer.

Ainsi, le MDTE est postulé à l'instant du franchissement du seuil d'AAR sur le cas pénalisant déterminé par l'étude sans MDTE, c'est-à-dire :

- avec l'initiateur dissymétrique correspondant à la pleine ouverture d'une vanne réglante des lignes à grand débit de l'ARE,
- avec le point de fonctionnement à pleine puissance en cycle naturel et le surdébit ARE enveloppe de la prolongation de cycle (c'est-à-dire correspondant à la pression secondaire de fin de prolongation de cycle).

6.1.3.2. État initial

On suppose le réacteur initialement à puissance maximale, en cycle naturel.

Les valeurs initiales de puissance, température et pression primaire, niveau pressuriseur et niveau GV sont les valeurs extrêmes compatibles avec le fonctionnement en régime stationnaire pour tenir compte des incertitudes de façon pénalisante vis-à-vis du RFTC. []

Les conditions initiales sont présentées au tableau [TAB-15.2.2c.3](#).

6.1.3.3. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

La grappe la plus anti-réactive est supposée bloquée hors du cœur.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet accident, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

6.1.3.4. Hypothèses cœur

[]

Le coefficient de densité modérateur est pris minimum, le coefficient Doppler puissance est pris minimum en valeur absolue et le coefficient Doppler température minimum en valeur absolue.

[]

Le pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition est calculé, autour de l'instant de RFTC minimal, à partir des conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) []. Par ailleurs, le calcul est réalisé avec la courbe [] présentée dans le sous-chapitre 15.1, recalée par homothétie sur le facteur d'élévation d'enthalpie maximal $F\Delta H$ choisi de façon à ce que le RFTC initial physique [] soit égal à la valeur du seuil DNBSAL ([voir sous-chapitre 4.4). []

Les calculs de température maximale de gaine et de combustible sont effectués à partir de l'accident précédent pénalisé vis-à-vis du RFTC.

6.1.3.5. Hypothèses systèmes fluides et régulations

ARE

Entre le début de l'accident et l'instant du cumul du MDTE, les hypothèses sur le débit ARE sont identiques à celles présentées au [§ 5.1.2.1.4](#). Suite au cumul du MDTE, les moto-pompes d'eau alimentaire s'arrêtent. On considère que le débit ARE est complet et immédiat au cumul du MDTE.

GMPP

Les pompes primaires sont arrêtées dès l'instant du cumul du MDTE (postulé à l'instant du franchissement du seuil d'AAR). La courbe de décroissance de débit primaire est pénalisée de manière à avoir la décroissance la plus rapide.

Régulation de température moyenne primaire

La régulation de température moyenne primaire est prise en compte de façon pénalisée (efficacité différentielle des groupes de grappes Pbank et Hbank maximisées) car elle s'avère pénalisante en cas de cumul du MDTE.

Autres régulations et limitations

Le débit à la turbine est constant jusqu'au déclenchement de la turbine.

Les autres fonctions de régulations ne sont pas prises en compte car elles sont soit sans impact, soit favorables vis-à-vis du RFTC.

Les fonctions de limitations pouvant intervenir dans cet accident ne sont pas valorisées.

6.1.3.6. Hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde

Les hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde sont les mêmes que celles présentées au [§ 5.1.2.1.5.](#)

6.1.3.7. Résultats

Le tableau [TAB-15.2.2c.11](#) présente la séquence des événements. L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.2c.6](#) à [FIG-15.2.2c.10](#).

L'accident est initié par un surdébit dans le GV1, qui entraîne une augmentation du niveau d'eau dans ce GV. Le déséquilibre de puissance entre le primaire et le secondaire conduit à une diminution de la température primaire dans la boucle 1, ainsi que de la pression primaire. A 17,2 s, le franchissement physique du seuil d'AAR sur haut niveau GV Max1p est atteint. Le MDTE y est postulé et les pompes ARE ne sont plus alimentées électriquement. Le débit ARE est stoppé instantanément. La puissance cœur est alors maximale (à 18,6 s). Le signal d'AAR sur haut niveau GV est obtenu à 18,7 s et la chute des grappes commence. Le débit primaire décroît. Le RFTC minimal est atteint à 22,1 s ; la puissance thermique vaut alors %PN.

% des crayons entrent en crise d'ébullition (NCE) au cours de l'accident de dysfonctionnement de l'ARE avec cumul MDTE, ce qui est inférieur au critère de sûreté relatif aux accidents PCC-4 (NCE inférieur à 10%).

La température maximale de la gaine atteinte au cours de l'accident est de °C et la température maximale au centre de la pastille est de °C (0% du combustible fondu). L'évolution de ces températures est présentée sur la figure [FIG-15.2.2c.11](#). Par conséquent, la température maximale de la gaine reste bien inférieure au critère de 1482°C et l'absence de fusion de combustible est assurée.

Les critères techniques d'acceptation relatifs aux accidents PCC4 présentés au [§ 6.1.2.](#) sont donc respectés.

La suite de l'accident, pour l'atteinte de l'état contrôlé, est couverte par l'étude de l'accident à puissance nulle.

6.1.4. Cas initié à puissance nulle

6.1.4.1. Instant du cumul du MDTE

L'analyse de l'atteinte de l'état contrôlé à puissance nulle avec cumul du MDTE est effectuée vis-à-vis de la crise d'ébullition et de la non-fusion du combustible.

Le cumul du MDTE est postulé sur signal IS qui est l'instant le plus tardif de l'accident, afin de différer au maximum l'instant d'arrêt des pompes ARE et de conserver la source de refroidissement le plus longtemps possible. Compte tenu de l'augmentation du niveau GV, le démarrage de l'ASG sur signal « IS+MDTE » n'est pas sollicité du fait du dépassement du seuil de « Haut niveau GV » Max1p qui isole l'ASG.

6.1.4.2. État initial

On suppose le réacteur initialement à puissance nulle.

Les hypothèses considérées visent à majorer le refroidissement du circuit primaire par les GV dans les conditions les plus défavorables vis-à-vis de la crise d'ébullition.

Par ailleurs, un niveau GV initial minoré est considéré afin d'augmenter la durée d'injection d'eau alimentaire, prolongeant ainsi la durée de refroidissement du circuit primaire.

Les hypothèses visent à retarder l'arrêt de l'alimentation des GV suite au MDTE. Les régulations de pression primaire et niveau pressuriseur sont prises en compte pour retarder l'atteinte du signal IS sur basse pression primaire et retarder l'instant d'occurrence du MDTE. Cela conduit à maintenir les pompes ARE en service plus longtemps et accentue le refroidissement du circuit primaire.

Comparativement au cas sans cumul du MDTE, le niveau d'eau dans le pressuriseur est considéré minimal afin de solliciter le signal IS.

La concentration en bore du circuit primaire est initialement nulle.

6.1.4.3. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Les critères à respecter sont l'absence de crise d'ébullition et la non fusion du combustible. L'aggravant le plus pénalisant vis-à-vis de ces aspects est la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur.

Une maintenance préventive est prise sur la pompe ISMP de la boucle la plus froide, afin de limiter l'apport de bore dans cette boucle.

6.1.4.4. Hypothèses cœur

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.2.1.5.](#)).

6.1.4.5. Hypothèses systèmes fluides et régulations

GMPP

Les pompes primaires sont arrêtées à l'instant du cumul du MDTE (postulé à l'instant du signal IS). La courbe de décroissance de débit primaire est pénalisée de manière à avoir la décroissance la plus rapide, afin de limiter la puissance dissipée par les pompes pendant la décroissance de débit. Cette hypothèse ralentit également l'apport de bore par le RBS si celui-ci est démarré.

RCV

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.3.1.4.](#)).

Aspersion et Chauffelettes

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.3.1.4.](#)). En revanche, l'aspersion normale devient inopérante lorsque les pompes primaires s'arrêtent lors du cumul du MDTE. Les chauffelettes non secourues cessent également de fonctionner lors du cumul du MDTE.

VDA

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.3.1.4.](#)).

ARE

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.3.1.4.](#)).

Consécutivement au cumul du MDTE, les pompes ARE sont arrêtées \square (délai maximal).

RIS

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.3.1.4.](#)), hormis le temps de démarrage des pompes ISMP qui est allongé \square en cas de MDTE.

RBS

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.3.1.4.](#)), hormis le temps de démarrage des pompes RBS qui est allongé en cas de MDTE.

ASG

Un débit d'ASG maximal est considéré avec une température minimale, . Le temps de démarrage est considéré nul pour favoriser le refroidissement.

Autres hypothèses

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.3.1.4.](#)).

6.1.4.6. Hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde

Les hypothèses sont identiques à l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 5.1.3.1.5.](#)) hormis les signaux de protection listés ci-après.

Le démarrage de l'ASG est activé dans tous les GV sur :

- le signal « IS+MDTE » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil identique au signal IS,
 - Une temporisation avec un délai nul est considérée pour le temps de démarrage des pompes ASG.

L'isolement de l'ASG est activé GV par GV sur :

- le signal « Haut niveau GV GL » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil Max1p ,
 - délai maximal jusqu'à l'isolement effectif du débit ASG .

6.1.4.7. Résultats

6.1.4.7.1. ÉTUDE EN CYCLE NATUREL (ET DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

L'évolution des principaux paramètres de cette étude est représentée sur les figures [FIG-15.2.2c.21](#) à [FIG-15.2.2c.28](#). Le tableau [TAB-15.2.2c.14](#) présente la séquence des événements.

L'accident est initié par un surdébit d'eau alimentaire normale dans le GV 3, qui entraîne une brusque augmentation de l'énergie extraite par le GV concerné.

Consécutivement au compte rendu d'AAR émis initialement le grand débit est isolé dans tous les GV . Les quatre GV sont alors alimentés par leur ligne à petit débit, jusqu'à ce que les GV atteignent respectivement le niveau Max0p qui isole le petit débit d'eau alimentaire.

L'excès d'énergie extraite du circuit primaire entraîne une baisse de la pression et de la température du réfrigérant primaire. La régulation de pression primaire augmente la puissance des chaufferettes variables et met en service les chaufferettes tout ou rien lorsque la pression primaire s'écarte de sa plage de fonctionnement normal. La contraction du fluide primaire entraîne une baisse du niveau dans le pressuriseur qui conduit à une réduction du débit de décharge et une augmentation du débit de charge. Lorsque le niveau dans le pressuriseur s'écarte de sa valeur nominale la seconde pompe de charge est démarrée. Malgré le fonctionnement des régulations de pression primaire et de niveau d'eau dans le pressuriseur, le niveau dans le pressuriseur continue de diminuer et les chaufferettes sont arrêtées lorsque le niveau atteint le seuil Min3.

Compte tenu des hypothèses retenues, peu après l'isolement complet de l'ARE dans tous les GV les signaux de démarrage du RBS et de l'IS interviennent respectivement sur basse pression pressuriseur

seuil Min4p et Min3p. Le MDTE est alors postulé sur signal IS et le débit primaire commence à décroître. Le démarrage de l'ASG sur signal IS et cumul MDTE n'est pas observé dans le cas d'une situation de dysfonctionnement de l'ARE car le niveau GV est bien trop élevé au moment du signal IS (conduisant une valeur de niveau GV GL supérieure au seuil d'isolement de l'ASG).

Ainsi, comparativement au cas sans cumul du MDTE, l'hypothèse retenue sur le niveau pressuriseur initial vise principalement à permettre l'émission du signal IS afin de différer l'arrêt du refroidissement par l'ARE (les hypothèses évitent de cumuler le MDTE à l'instant d'AAR, ce qui serait favorable). L'arrêt des GMPP favorise le refroidissement du circuit primaire pour le cas avec cumul du MDTE du fait de l'absence de puissance dissipée par les pompes au sein du fluide primaire.

À moyen terme, l'activation du refroidissement partiel sur signal IS conduit à maintenir un léger refroidissement qui se stabilise lorsque la pression de fin de refroidissement partiel est atteinte. Compte tenu du démarrage automatique du RBS, l'arrivée du bore permet de maintenir le coeur sous critique.

6.1.4.7.2. ÉTUDE EN PROLONGATION DE CYCLE

Le transitoire sans cumul du MDTE effectué en prolongation de cycle (cf [§ 5.1.3.2.2.](#)) montre que le cas le plus pénalisant vis-à-vis des critères techniques d'acceptation est celui du « cycle naturel et début de prolongation de cycle ». La prise en compte de la prolongation de cycle étant moins pénalisante pour le cas sans cumul MDTE, elle l'est également pour le cas avec cumul MDTE.

6.1.4.7.3. CONCLUSION SUR LES CAS INITIÉS À PUISSANCE NULLE

Pour l'ensemble des cas initiés à puissance nulle avec cumul du MDTE (i.e. cas en cycle naturel/début de prolongation de cycle et en prolongation de cycle), le coeur est maintenu à l'état sous-critique. Les critères d'absence de fusion à coeur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont donc respectés.

Le maintien sous-critique du coeur garantit des rejets radiologiques tolérables.

Par ailleurs, l'évacuation de la puissance est assurée par les générateurs de vapeur. L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est donc atteint.

Les critères techniques d'acceptation définis au [§ 6.1.2.](#) sont respectés.

6.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant le plus pénalisant parmi l'instant initial, l'instant de l'AAR et l'instant du signal d'IS.

Vis-à-vis de la conduite, le cumul du manque de tension externe rend indisponible les pompes primaires, les pompes ARE, les pompes de charge et l'aspersion normale. Les soupapes du pressuriseur sont alors sollicitées pour dépressuriser le primaire et atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

En conduite incidentelle, la conduite reste similaire au cas sans cumul du MDTE hormis les spécificités liées au MDTE. Par ailleurs, deux heures après la perte des alimentations électriques externe, et si le bas niveau bêche ASG n'a pas été atteint avant, par application d'une fiche EFS, □ de la phase de stabilisation, et le passage en état de repli en conduite incidentelle sera demandé.

En conduite accidentelle, la conduite reste similaire au cas sans cumul du MDTE, hormis l'arrêt des GMPP qui n'est pas demandé pendant la conduite de l'IS.

Pour des situations avec cumul du MDTE, l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est couverte par l'incident de Perte des alimentations externes d'une durée supérieure à 2 heures (voir section 15.2.3b) vis-à-vis de la consommation d'ASG. En effet, la conduite est similaire et la masse d'eau disponible dans les GV au moment du signal d'arrêt automatique du réacteur est plus importante du fait de l'alimentation excessive des GV.

Par conséquent, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr correspondant aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 0,99$).

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 6.1.2. est donc respecté.

7. CAS INITIÉ EN ÉTAT B

7.1. CRITÈRES D'ÉTUDES

En état B, où le réacteur est initialement sous-critique, les critères à respecter sont présentés dans les § 2.2. et § 6.1.2., respectivement pour les cas sans et avec prise en compte du MDTE.

7.2. ANALYSE DU TRANSITOIRE

L'état B correspond à un état d'arrêt normal sur GV (RIS-RA en mode RA non connecté). L'état B est caractérisé par un état de fonctionnement à charge nulle dans la configuration suivante :

- Toutes les grappes sont insérées.
- La température primaire est comprise entre 303,3 et 110°C (voir sous-chapitre 15.0).
- La pression primaire est comprise entre 25 bar abs et 130 bar abs (voir sous-chapitre 15.0).
- La concentration en bore initiale est au minimum égale à la concentration en bore de l'arrêt à chaud (un des critères de dimensionnement de cette concentration étant de garantir la sous-criticité avec une grappe bloquée à 110°C et 32 bar abs).

Le système d'eau alimentaire des GV est en mode de régulation du niveau GV en fonctionnement sur la ligne à très petit débit avec une température minimale admissible [] .

Dans la section 15.2.4d, afin d'écartier tout risque de retour en criticité, un calcul spécifique de concentration en bore critique [] est effectué [] en prenant en compte des hypothèses pénalisantes pour la température et la pression primaires [] . Les résultats de ces calculs sont ensuite comparés à la concentration en bore minimale en état B (CB d'arrêt à chaud), afin de s'assurer que le cœur reste sous-critique, pour tous les scénarios envisagés, avec ou sans MDTE. Les résultats montrent que la concentration en bore critique [] reste inférieure à la concentration en bore requise en arrêt à chaud. La sous criticité du cœur est donc garantie pour les accidents d'ouverture intempestive du VDA ou d'une soupape GV en état B.

Un transitoire MFEAN de conduira à un refroidissement et à une dépressurisation du circuit primaire.

En conséquence, []

[]

Un transitoire de MFEAN initié en état B conduira donc toujours à des conditions thermo hydrauliques moins pénalisantes que les valeurs enveloppes [] considérées dans la section 15.2.4d vis-à-vis du risque de retour en criticité tant que la température ARE reste supérieure ou égale à [] .

Les critères relatifs à l'intégrité de la première barrière d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont donc respectés, par l'absence de retour en criticité. Par ailleurs, la défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit d'eau alimentaire étant un transitoire de refroidissement, les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, ce qui garantit l'intégrité du RDP.

Le respect des critères d'intégrité des barrières de confinement garantit l'absence de rejets radiologiques.

L'évacuation de la puissance résiduelle et de la puissance des pompes primaires est assurée par les générateurs de vapeur. L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est atteint.

La conduite post-accidentelle est similaire en état B à l'analyse faite en état A sans et avec cumul du MDTE (voir respectivement [§ 5.2.](#) et [§ 6.2.](#)).

Par conséquent, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr correspondant aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle. Comme expliqué, la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 0,99$) est garantie, et les rejets radiologiques restent tolérables. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2.](#) est donc respecté.

Cette conclusion est également valable pour l'étude avec cumul MDTE.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 32/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2C.1 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU
ALIMENTAIRE NORMALE – MATRICE DE MÉLANGE
PÉNALISÉE ISSUE DES ESSAIS** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 33/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2C.2 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A EN PUISSANCE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 34/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2C.3 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 35/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2C.4 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 36/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2C.5 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (PROLONGATION DE CYCLE)

□

TAB-15.2.2C.6 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE) AVEC CUMUL DU MDTE

□

**TAB-15.2.2C.7 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE –
SURDÉBITS ARE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 39/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2C.8 DONNÉES NEUTRONIQUES POUR LA
PARTIE À PUISSANCE NULLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 40/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 41/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2C.9 DONNÉES NEUTRONIQUES –
INCERTITUDES, PÉNALITÉS ET PROVISIONS POUR LA
PARTIE À PUISSANCE NULLE**

□

TAB-15.2.2C.10 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS EN ÉTAT A EN PUISSANCE

<i>Temps (s)</i>	<i>Évènement</i>
0	Conditions initiales
0,1	Surdébit ARE dans le GV 1
14,4	Franchissement du seuil d'AAR sur bas RFTC
□	Signal d'AAR par bas RFTC
□	Début de la chute des grappes
16,4	Signal d'isolement du grand débit ARE
17,4	RFTC minimum □
□	Déclenchement turbine
18,3	Niveau GV 1 > Max1p □
28,1	Ouverture des VDA
□	Fermeture des vannes grand débit ARE
50,0	Fin du transitoire

TAB-15.2.2C.11 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE

<i>Temps (s)</i>	<i>Évènement</i>
0	Conditions initiales
0,1	Surdébit ARE dans le GV 1
17,2	Franchissement physique du seuil d'AAR sur haut niveau GV Max1p □ Cumul du MDTE Fermeture des vannes grand et petit débit ARE Arrêt des GMPP
□	Signal d'AAR sur haut niveau GV GE
□	Début de la chute des grappes
21,2	Déclenchement turbine
22,1	RFTC minimum □
36,6	Ouverture des VDA
50,0	Fin de l'accident

TAB-15.2.2C.12 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

<i>Temps (s)</i>	<i>Évènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Émission du compte rendu d'AAR Surdébit ARE dans le GV 3
□	Signal d'isolement du grand débit ARE sur compte-rendu d'AAR
□	Fermeture des vannes grand débit ARE
25,1	Signal d'ouverture des VDA dans les GV 1, 2, 3 et 4 surpression secondaire > Max1p □
100,9	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV 3 sur niveau GV > Max0p □
120,9	Fermeture de la vanne petit débit ARE GV 3 Signal d'isolement du petit débit ARE dans les GV 2 et 4 sur niveau GV > Max0p □
121,3	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV 1 sur niveau GV > Max0p □
139,2	Signal de mise en service du RBS sur basse pression pressuriseur < Min4p □
□	Fermeture des vannes petit débit ARE GV 2, 4 et 1
1299,7	Signal d'isolement du RBS sur haut niveau pressuriseur > Max1p □
1377,7	Signal d'isolement de la charge et de l'IJPP sur niveau pressuriseur > Max1p □

TAB-15.2.2C.13 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (PROLONGATION DE CYCLE)

<i>Temps (s)</i>	<i>Évènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Emission du compte rendu d'AAR Surdébit ARE dans le GV 3
□	Signal d'isolement du grand débit ARE sur compte-rendu d'AAR
□	Fermeture des vannes grand débit ARE
51,3	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV 3 sur niveau GV > Max0p □
62,9	Signal d'ouverture des VDA dans les GV 1, 2, 3 et 4 surpression secondaire > Max1p □
71,3	Fermeture de la vanne petit débit ARE GV 3
90,5	Signal d'isolement du petit débit ARE dans les GV 1, 2 et 4 sur niveau GV > Max0p □
110,5	Fermeture des vannes petit débit ARE GV 1, 2 et 4
1210,1	Signal d'isolement de la charge et de l'IJPP sur niveau pressuriseur > Max1p □

TAB-15.2.2C.14 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE) AVEC CUMUL DU MDTE

<i>Temps (s)</i>	<i>Évènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Emission du compte rendu d'AAR Surdébit ARE dans le GV 3
□	Signal d'isolement du grand débit ARE sur compte-rendu d'AAR
□	Fermeture des vannes grand débit ARE
26,6	Signal d'ouverture des VDA dans les GV 1, 2, 3 et 4 surpression secondaire > Max1p □
50,6	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV 3 sur niveau GV > Max0p □
70,6	Fermeture de la vanne petit débit ARE GV 3
121,3	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV 4 sur niveau GV > Max0p □
121,4	Signal de mise en service du RBS sur basse pression pressuriseur < Min4p □
121,7 122,1	Signal d'isolement du petit débit ARE dans les GV 2 et 1 sur niveau GV > Max0p □
141,9	Signal IS sur pression pressuriseur < Min3p □ Signal de refroidissement partiel et d'isolement de la charge Cumul du MDTE
141,3 141,7 142,1	Fermeture des vannes petit débit ARE GV 4, 2 et 1

FIG-15.2.2C.1 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/ SECONDAIRE

□

FIG-15.2.2C.2 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES

□

FIG-15.2.2C.3 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – PRESSION PRESSURISEUR ET NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 50/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.4 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBIT D'ALIMENTATION DES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 51/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.5 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE – PUISSANCE LINÉIQUE ET NIVEAUX GV GE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 52/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.6 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 53/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.7 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 54/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.8 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSION PRESSURISEUR ET NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 55/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.9 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT D'ALIMENTATION DES GV ET PRESSIONS SECONDAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 56/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.10 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS PRIMAIRES ET NIVEAUX GV GE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 57/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.11 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE -TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ ET TEMPÉRATURE AU CENTRE DE LA PASTILLE

□

□

FIG-15.2.2C.12 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/ SECONDAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.13 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.14 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – NIVEAU PRESSURISEUR ET PRESSION PRIMAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 61/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.15 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBIT D'ALIMENTATION DES GV ET PRESSIONS SECONDAIRES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 62/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.16 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBIT VAPEUR ET NIVEAUX GV GE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.17 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – RÉACTIVITÉ ET DÉBIT D'INJECTION DE SÉCURITÉ (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 64/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.18 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBIT DE CHARGE ET NIVEAUX GV GL (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.19 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – CONCENTRATION EN BORE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 66/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.20 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – RÉACTIVITÉ ET PUISSANCES COEUR (PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.21 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCE COEUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.22 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.23 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – NIVEAU PRESSURISEUR ET PRESSION PRIMAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.24 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT PRIMAIRE ET NIVEAUX GV GL (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.25 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT D'ALIMENTATION DES GV ET PRESSIONS SECONDAIRES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.26 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT VAPEUR ET NIVEAUX GV GE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.2C.27 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – RÉACTIVITÉ ET DÉBIT D'INJECTION DE SÉCURITÉ (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2C

PAGE 74/74

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2C.28 MAUVAIS FONCTIONNEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT DE CHARGE ET CONCENTRATION EN BORE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

SOMMAIRE

.15.2.2D AUGMENTATION EXCESSIVE DU DÉBIT VAPEUR (ÉTAT A)	16
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	16
1.1. GÉNÉRALITÉS	16
1.2. SÉQUENCE D'ÉVÉNEMENTS TYPE	17
2. CRITÈRES D'ÉTUDE	19
3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	20
3.1. RÉACTEUR INITIALEMENT À PUISSANCE NULLE	20
3.2. RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE	20
4. ANALYSE DU TRANSITOIRE	20
4.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	20
4.1.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	20
4.1.2. RÉACTEUR INITIALEMENT À PUISSANCE NULLE	23
4.1.3. RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE	41
4.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	44
4.2.1. CONDUITE ACCIDENTELLE	45
4.2.2. CONDUITE INCIDENTELLE	47
4.2.3. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	47
5. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	48
5.1. CRITÈRES D'ÉTUDE	48
5.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	49
5.2.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	49
5.2.2. RÉACTEUR INITIALEMENT À PUISSANCE NULLE	50
5.2.3. RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE	59
5.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	62
5.3.1. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	63
6. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE	63
7. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	64
8. CONCLUSION	64
LISTE DES RÉFÉRENCES.	66

TABLEAUX :

TAB-15.2.2D.1	DONNÉES NEUTRONIQUES – INCERTITUDES ET PÉNALITÉS POUR L'ÉTABLISSEMENT DES LIMITES EN SOUS-CRITICITÉ TGI ET TGI-1 –PARTIE À PUISSANCE NULLE	67
TAB-15.2.2D.2	OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – SURDÉBITS ARE.....	69
TAB-15.2.2D.3	MATRICE DE MÉLANGE PÉNALISÉE ISSUE DES ESSAIS □	70
TAB-15.2.2D.4	REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ETAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – PRINCIPALES HYPOTHÈSES	71
TAB-15.2.2D.5	REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	73
TAB-15.2.2D.6	OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN CYCLE NATUREL	74
TAB-15.2.2D.7	OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	75
TAB-15.2.2D.8	OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE	76
TAB-15.2.2D.9	OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	77
TAB-15.2.2D.10	OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE	78
TAB-15.2.2D.11	OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE	

NATUREL/ DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	79
TAB-15.2.2D.12 OUVERTURE INTÉPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE	80
TAB-15.2.2D.13 OUVERTURE INTÉPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	81
TAB-15.2.2D.14 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN CYCLE NATUREL	82
TAB-15.2.2D.15 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE	84
TAB-15.2.2D.16 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION –TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE –SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	86
TAB-15.2.2D.17 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	88
TAB-15.2.2D.18 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES POUR L'ANALYSE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE	90
TAB-15.2.2D.19 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES POUR L'ANALYSE AVEC CUMUL DU MDTE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE.....	91
TAB-15.2.2D.20 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN	

CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	92
TAB–15.2.2D.21 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D’UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	94
TAB–15.2.2D.22 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF - PRINCIPALES HYPOTHÈSES - RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE	96
TAB–15.2.2D.23 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS - RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE	98
TAB–15.2.2D.24 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF - PRINCIPALES HYPOTHÈSES - RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE	99
TAB–15.2.2D.25 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS - RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE	100

FIGURES :

FIG–15.2.2D.1 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR	101
FIG–15.2.2D.2 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES	102
FIG–15.2.2D.3 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D’INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS	103
FIG–15.2.2D.4 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	104

FIG-15.2.2D.5 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS D’ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG	105
FIG-15.2.2D.6 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ETAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL	106
FIG-15.2.2D.7 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ETAT A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE CHARGE RCV.....	107
FIG-15.2.2D.8 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF — ETAT A À PUISSANCE NULLE — AVEC CUML DU MDTE — ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI-1	108
FIG-15.2.2D.9 OUVERTURE INTEMPESTIVE D’UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR	109
FIG-15.2.2D.10 OUVERTURE INTEMPESTIVE D’UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES	110
FIG-15.2.2D.11 OUVERTURE INTEMPESTIVE D’UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D’INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS.....	111
FIG-15.2.2D.12 OUVERTURE INTEMPESTIVE D’UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR	112
FIG-15.2.2D.13 OUVERTURE INTEMPESTIVE D’UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE	

NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG	113
FIG-15.2.2D.14 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL.....	114
FIG-15.2.2D.15 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBIT DE CHARGE RCV ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES.....	115
FIG-15.2.2D.16 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE ÉVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI.....	116
FIG-15.2.2D.17 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN PROLONGATION DE CYCLE PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR	117
FIG-15.2.2D.18 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN PROLONGATION DE CYCLE PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/ SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES.....	118
FIG-15.2.2D.19 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN PROLONGATION DE CYCLE CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS	119
FIG-15.2.2D.20 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN PROLONGATION DE CYCLE PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	120
FIG-15.2.2D.21 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN	

PROLONGATION DE CYCLE DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG	121
FIG-15.2.2D.22 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN PROLONGATION DE CYCLE NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL	122
FIG-15.2.2D.23 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBIT DE CHARGE RCV ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	123
FIG-15.2.2D.24 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN PROLONGATION DE CYCLE EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI.....	124
FIG-15.2.2D.25 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR	125
FIG-15.2.2D.26 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES	126
FIG-15.2.2D.27 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS	127
FIG-15.2.2D.28 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR	128

FIG-15.2.2D.29 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG	129
FIG-15.2.2D.30 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL.....	130
FIG-15.2.2D.31 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBIT DE CHARGE RCV ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES.....	131
FIG-15.2.2D.32 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI-1	132
FIG-15.2.2D.33 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR	133
FIG-15.2.2D.34 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/ SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES.....	134
FIG-15.2.2D.35 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS.....	135
FIG-15.2.2D.36 OUVERTURE INTÉMPÉSTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR	136

FIG-15.2.2D.37 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG	137
FIG-15.2.2D.38 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL	138
FIG-15.2.2D.39 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT – CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBIT DE CHARGE RCV ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	139
FIG-15.2.2D.40 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR	140
FIG-15.2.2D.41 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES	141
FIG-15.2.2D.42 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS.....	142
FIG-15.2.2D.43 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	143
FIG-15.2.2D.44 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG	144

FIG-15.2.2D.45 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL	145
FIG-15.2.2D.46 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE CHARGE RCV.....	146
FIG-15.2.2D.47 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – DÉBITS VAPEUR AUX VDA	147
FIG-15.2.2D.48 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI.....	148
FIG-15.2.2D.49 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR.....	149
FIG-15.2.2D.50 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE – PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES	150
FIG-15.2.2D.51 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE – CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS.....	151
FIG-15.2.2D.52 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN	

**MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE –
PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR..... 152**

**FIG–15.2.2D.53 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D’UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN
MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE –
DÉBITS D’ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG 153**

**FIG–15.2.2D.54 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D’UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN
MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE –
NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL 154**

**FIG–15.2.2D.55 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D’UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN
MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE –
DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE CHARGE RCV 155**

**FIG–15.2.2D.56 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D’UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN
MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE –
DÉBITS VAPEUR AUX VDA..... 156**

**FIG–15.2.2D.57 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D’UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN
MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE –
EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA
TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET
LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI 157**

**FIG–15.2.2D.58 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D’UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR 158**

**FIG–15.2.2D.59 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D’UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCES
ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES
BRANCHES FROIDES 159**

FIG-15.2.2D.60 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS.....	160
FIG-15.2.2D.61 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	161
FIG-15.2.2D.62 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG	162
FIG-15.2.2D.63 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL	163
FIG-15.2.2D.64 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE CHARGE RCV.....	164
FIG-15.2.2D.65 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS VAPEUR AUX VDA	165
FIG-15.2.2D.66 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI.....	166
FIG-15.2.2D.67 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR.....	167

FIG-15.2.2D.68 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES	168
FIG-15.2.2D.69 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS	169
FIG-15.2.2D.70 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	170
FIG-15.2.2D.71 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG	171
FIG-15.2.2D.72 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL	172
FIG-15.2.2D.73 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE CHARGE RCV	173
FIG-15.2.2D.74 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS VAPEUR AUX VDA.....	174
FIG-15.2.2D.75 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA	

TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI	175
FIG–15.2.2D.76 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – PRESSIONS AUX GENERATEURS DE VAPEURS ET PRESSION PRESSURISEUR	176
FIG–15.2.2D.77 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – DEBIT TURBINE ET DEBITS D’ALIMENTATION ARE	177
FIG–15.2.2D.78 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – DEBITS VDA ET DEBIT GCT	178
FIG–15.2.2D.79 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – NIVEAUX GV GAMME LARGE ET GAMME ÉTROITE	179
FIG–15.2.2D.80 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – PUISSANCES CŒUR ET TEMPERATURES PRIMAIRES	180
FIG–15.2.2D.81 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – PRESSIONS AUX GENERATEURS DE VAPEURS ET PRESSION PRESSURISEUR	181
FIG–15.2.2D.82 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – DEBIT TURBINE ET DEBITS D’ALIMENTATION ARE	182
FIG–15.2.2D.83 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE	

L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR A L'ÉTAT CONTRÔLE – DÉBITS VDA ET DÉBIT GCT	183
FIG–15.2.2D.84 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DÉBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR A L'ÉTAT CONTRÔLE – NIVEAUX GV GAMME LARGE ET GAMME ÉTROITE	184
FIG–15.2.2D.85 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DÉBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR A L'ÉTAT CONTRÔLE – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES	185
FIG–15.2.2D.86 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DÉBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR A L'ÉTAT CONTRÔLE – DÉBITS VOLUMIQUES.....	186
FIG–15.2.2D.87 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DÉBIT VAPEUR - REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR A L'ÉTAT CONTRÔLE –TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ ET TEMPÉRATURE AU CENTRE DU COMBUSTIBLE	187

.15.2.2D AUGMENTATION EXCESSIVE DU DÉBIT VAPEUR (ÉTAT A)

Le transitoire étudié dans cette section correspond à une augmentation excessive de débit vapeur alors que le réacteur est dans le domaine de fonctionnement défini par l'État A (de l'arrêt à chaud au fonctionnement à pleine puissance).

L'étude à puissance nulle des cas de refroidissement partiel intempestif et de défaillance à la fermeture du VDA après sa sollicitation, présentée au § 1., au § 4.1.1. et au § 5., a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée en se basant sur un jeu d'hypothèses intermédiaire défini dans l'Annexe 15B auquel ont été ajoutées des hypothèses cohérentes avec l'état final de conception. Puis l'analyse des modifications introduites ultérieurement permet de justifier l'absence d'impact sur le respect des critères de sûreté. L'analyse de l'ouverture intempestive d'une vanne GCT présentée aux § 4.1.2.3. et § 5.2.2.3. est entièrement réalisée avec des hypothèses cohérentes avec l'état final de conception.

L'analyse de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr présentée au § 4.1.1.2. et au § 5.3. a été menée avec un jeu d'hypothèses cohérent avec l'état final de conception.

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

1.1. GÉNÉRALITÉS

L'augmentation excessive du débit vapeur (AEDV) au secondaire en état A est classée dans la catégorie des événements PCC-2.

L'augmentation excessive du débit vapeur peut résulter :

- de l'activation intempestive du refroidissement partiel,
- de l'ouverture intempestive d'une vanne GCT,
- de la défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation,
- ou de l'ouverture maximum des vannes d'admission de la vapeur à la turbine.

La dépressurisation secondaire induite par l'augmentation du débit vapeur s'accompagne d'un refroidissement du fluide primaire, donc d'une insertion de réactivité dans le cœur par effet modérateur et effet Doppler ; cette insertion de réactivité conduit à une augmentation de la puissance cœur si le réacteur est en puissance, ou à un risque de retour à la criticité et d'excursion de puissance après la chute des grappes si le réacteur est initialement en arrêt à chaud.

Lors du fonctionnement en puissance, si l'appel de charge est suffisamment important, la protection du cœur est assurée par l'Arrêt Automatique du Réacteur initié par le Système de Protection du Réacteur, qui comprend en particulier le signal de protection par bas RFTC et le signal de haute puissance thermique (signaux classés F1A).

Dans le cas où l'appel de charge est faible, le transitoire ne conduit pas nécessairement à un AAR et se stabilise à un niveau de puissance peu augmenté, correspondant à des conditions ne présentant pas de risque de crise d'ébullition.

Après l'arrêt du réacteur, le transitoire de refroidissement excessif du cœur se poursuit tant que la dépressurisation du secondaire n'est pas interrompue, avec un retour potentiel en criticité du cœur. La sévérité de l'événement dépend de cet éventuel retour en criticité du cœur après la réalisation de l'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR).

Les transitoires étudiés initialement à puissance nulle couvrent les suites, après AAR, du transitoire initié en puissance et les cas où le réacteur est en arrêt à chaud lorsque l'initiateur survient.

- 1) Déclenchement intempestif du Refroidissement Partiel

Le refroidissement partiel consiste en la diminution automatique du point de consigne des VDA de [] , et simultanément du point de consigne du GCT de [] .

En conséquence, un refroidissement partiel intempestif, résultant d'un ordre intempestif du système de contrôle-commande, est à l'origine d'un événement de refroidissement excessif qui prend fin lorsque la pression du générateur de vapeur atteint le point de consigne de fin de refroidissement.

Le déclenchement intempestif du refroidissement partiel peut se produire lorsque le réacteur est initialement à puissance nulle ou lorsque le réacteur est initialement en puissance.

2) Ouverture intempestive d'une vanne GCT

L'ouverture intempestive d'une vanne GCT quand le réacteur est à puissance nulle induit une dépressurisation incontrôlée du secondaire. Les vannes d'isolement vapeur (VIV) sont automatiquement fermées par le Système de Protection du Réacteur (signal classé F1A) au plus tard quand la pression du circuit vapeur principal atteint [] bar abs.

Après la fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur, le refroidissement provoqué par cet événement est interrompu.

Lorsque l'ouverture intempestive d'une vanne GCT intervient alors que le réacteur est en puissance, elle provoque un refroidissement du primaire et une augmentation de la puissance du cœur. Il y a alors risque d'atteindre la crise d'ébullition tant qu'il n'y a pas eu d'Arrêt Automatique du Réacteur. L'augmentation de débit vapeur consécutive à l'ouverture d'une vanne GCT est inférieure à [] % du débit nominal.

3) Défaillance à la fermeture d'un VDA après sa sollicitation

Dans les études PCC, le VDA est ouvert suite à l'Arrêt Automatique du Réacteur et le déclenchement de la turbine, la régulation de pression par le GCT n'étant pas classée. Chaque VDA fonctionne de la manière suivante :

- ouverture complète de la vanne d'isolement du VDA, initialement fermée,
- fermeture partielle de la vanne réglante du VDA, initialement ouverte, jusqu'à la position requise pour assurer le contrôle de la pression.

En appliquant la défaillance unique à la non fermeture d'une vanne réglante après sa sollicitation, une dépressurisation incontrôlée du GV a lieu, entraînant un événement de refroidissement excessif du circuit primaire.

Ce refroidissement conduit à une diminution de la sous-criticité obtenue lors de l'AAR et à un potentiel retour en criticité du cœur. Le transitoire de refroidissement excessif du cœur se poursuit tant que la dépressurisation du secondaire n'est pas interrompue. La sévérité de l'événement dépend de cet éventuel retour en criticité du cœur après l'Arrêt Automatique du Réacteur.

Quand la pression secondaire atteint le seuil de « Basse pression secondaire » (MIN3p[]), le VDA est automatiquement isolé par la fermeture de la vanne réglante et de la vanne d'isolement du VDA. Cet isolement est efficace en dépit de la défaillance à la fermeture de la vanne réglante, grâce à la redondance assurée par la fermeture de la vanne d'isolement.

On considère que toutes les grappes ont chuté dans le cœur, en raison de la défaillance unique déjà appliquée à la vanne réglante VDA.

Vis-à-vis de la réactivité, ce scénario couvre tous les événements PCC en configuration toutes grappes insérées avec sollicitation du VDA après AAR et défaillance à la fermeture du VDA (hors initiateurs affectant la sous-criticité initiale ou bien engendrant un refroidissement supérieur au refroidissement provoqué par le VDA bloqué ouvert).

4) Ouverture maximum des vannes d'admission turbine

Cet événement initié en puissance conduit à une augmentation excessive de débit vapeur. Il peut résulter d'un mauvais fonctionnement du système de régulation de la turbine, comme la défaillance du sélecteur de minimum générant la référence ouverture turbine. L'augmentation maximale de débit vapeur consécutive à la pleine ouverture des vannes d'admission de la vapeur à la turbine est de [] % du débit vapeur nominal.

1.2. SÉQUENCE D'ÉVÉNEMENTS TYPE

1) De l'événement initiateur à l'état contrôlé

- a) Réacteur initialement à puissance nulle

L'augmentation excessive du débit vapeur entraîne un refroidissement du circuit primaire. La dégradation de l'inventaire en eau dans les GV peut également provoquer un refroidissement complémentaire par l'intermédiaire du démarrage de l'ASG.

Compte tenu des contre-réactions neutroniques, ce refroidissement conduit à une diminution de la sous-criticité et à un potentiel retour en criticité du cœur. Le transitoire de refroidissement excessif du cœur se poursuit tant que la dépressurisation du secondaire ou que le fonctionnement de l'ASG ne sont pas interrompus.

Les protections permettant d'interrompre la dépressurisation secondaire (signaux classés F1A) sont :

- la fermeture automatique des vannes d'isolement vapeur (VIV) par le Système de Protection du Réacteur quand la pression du circuit secondaire atteint le seuil « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX1p) ou le seuil « Basse pression secondaire » (MIN1p),
- ou la fermeture de la vanne d'isolement du VDA quand la pression secondaire atteint le seuil « Basse pression secondaire » (MIN3p).

Pour les initiateurs conduisant à une augmentation de débit vapeur importante d'autres protections (signaux classés F1A) peuvent être sollicitées :

- la mise en service du RBS si la pression primaire atteint le seuil de « Basse pression pressuriseur » (MIN4p),
- l'injection de sécurité si la pression primaire atteint le seuil de « Très basse pression pressuriseur » (MIN3p),
- le refroidissement partiel automatique sur signal IS,
- l'isolement de l'ARE dans tous les GV si le seuil « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX2p) est atteint ; l'isolement de l'ARE GV par GV si la pression secondaire atteint le seuil « Basse pression secondaire » (MIN2p), ou si le niveau GV (GE) atteint le seuil « Haut niveau GV » (MAX0p) après émission d'un signal d'AAR associée à une temporisation,
- la mise en service de l'ASG sur signal IS+MDTE ou si le seuil « Bas niveau GV GL » (MIN2p) est atteint,
- l'isolement de l'ASG si le seuil « Haut niveau GV GL » (MAX1p) est atteint.

b) Réacteur initialement en puissance

L'augmentation de débit vapeur conduit à un refroidissement du circuit primaire, à une diminution de la pression primaire et à une augmentation de la puissance cœur. Ce refroidissement peut aussi provoquer, par l'intermédiaire de la régulation de température, le retrait de grappes et ainsi augmenter la réactivité dans le cœur. Ces événements peuvent conduire à la crise d'ébullition dans le cœur tant qu'il n'y a pas eu d'Arrêt Automatique du Réacteur et chute des grappes d'arrêt.

Si la limitation « Bas RFTC » n'est pas activée, l'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est provoqué par l'un des signaux suivants :

- le signal « Bas RFTC »,
- le signal « Puissance thermique élevée »,
- le signal « Puissance linéique élevée »,
- le signal « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX0p),
- ou le signal « Basse pression pressuriseur » (MIN2p).

Après AAR, l'événement est couvert par les situations où le réacteur est initialement en arrêt à chaud. La démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé est donc apportée par l'analyse du transitoire initié à puissance nulle.

Dans le cas où l'appel de charge est faible, le transitoire ne conduit pas nécessairement à un AAR et se stabilise à un niveau de puissance peu augmenté, correspondant à des conditions ne présentant pas de risque de crise d'ébullition.

2) De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

Pour rejoindre l'état d'arrêt sûr, il est nécessaire que les générateurs de vapeur puissent amener le circuit primaire aux conditions de connexion du RIS/RA en mode RA.

Lors d'un transitoire d'augmentation excessive de débit vapeur, à l'issue de la phase automatique, l'opérateur peut être orienté vers les conduites suivantes :

- Si la puissance nucléaire n'est pas nulle lors de l'entrée en conduite, l'opérateur est orienté vers la séquence de « Stabilisation - Contrôle de la puissance nucléaire » sur un critère de flux \dot{Q} .
Dans cette séquence, suite à une demande de borication du circuit primaire, l'opérateur démarre les pompes RBS. Le contrôle de la température primaire demande de stabiliser la pression GV à la pression atteinte par la vanne de contrôle du VDA. Lorsque le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid a été injecté, l'opérateur est réorienté en « Passage en arrêt à froid avec injection de sécurité » ou « Passage en arrêt à froid sans injection de sécurité ». Un refroidissement à 50°C/h, ainsi qu'une dépressurisation du circuit primaire sont réalisés jusqu'à la validation du permissif P14, l'opérateur peut alors connecter le RIS/RA en mode RA.
- Si au moins un GV est déclaré inutilisable ou si l'écart de pression entre GV non isolés est supérieur à ΔP , l'opérateur est orienté vers les stratégies de « Passage à l'arrêt à froid sans injection de sécurité » ou de « Passage à l'arrêt à froid avec injection de sécurité ». Ces stratégies demandent une borication immédiate du fluide primaire pour atteindre la concentration en bore de l'arrêt à froid.
En parallèle, elles demandent une dépressurisation du circuit primaire et un refroidissement du fluide par le secondaire à 25°C/h si 1 train RBS est en service ou 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid a été injecté. Si un ou plusieurs trains RIS sont en service, l'abaissement de la pression de refoulement des trains ISMP par l'ouverture de la grande ligne à débit minimum permet d'entamer une dépressurisation afin d'atteindre l'état sûr. Quand le permissif P14 est validé avec une marge à la saturation satisfaisante, l'opérateur peut connecter le RIS/RA en mode RA.
- A défaut, l'opérateur est orienté en « Conduite Incidentelle » suite à l'émission d'un signal d'AAR. Dans un premier temps, une « Stabilisation en conduite incidentelle » est demandée tant que le critère de niveau d'eau dans les bâches ASG est respecté. Au plus tard, quand le niveau d'eau dans les bâches ASG devient inférieur au seuil MIN (correspondant à l'inventaire en eau minimal permettant un repli sur RIS/RA en mode RA, 3 GMPP à l'arrêt), un « Passage en état de repli en conduite incidentelle » est demandé. L'opérateur procède à une borication du fluide primaire par le RBS, injecte un volume de bore assurant la concentration en bore requise, et effectue en parallèle un refroidissement du fluide primaire par une ouverture contrôlée des vannes VDA ; la vitesse de refroidissement est de 25°C/h ou de 50°C/h selon le nombre de trains RBS en service et le niveau d'eau dans le pressuriseur. Un refroidissement à 50°C/h est également possible si le volume de bore requis a été injecté. En parallèle, une dépressurisation contrôlée du circuit primaire est réalisée. Le refroidissement est maintenu jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion du RIS/RA en mode RA.

2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère en RFTC supérieur à 1 car la chaîne de protection bas RFTC est efficace ou la chaîne de surveillance du RFTC est valorisée (voir sous-chapitre 4.4).
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.

- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \bar{m} permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

En pratique, dans l'étude initiée à puissance nulle, les critères techniques d'acceptation liés à l'intégrité de la première barrière sont vérifiés par le non-retour en criticité.

3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

3.1. RÉACTEUR INITIALEMENT À PUISSANCE NULLE

Les trois initiateurs traités dans la présentesection sont :

- le déclenchement intempestif du refroidissement partiel,
- l'ouverture intempestive d'une vanne GCT,
- la défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation.

3.2. RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE

Le cas étudié lorsque le réacteur est initialement en puissance est l'activation intempestive du refroidissement partiel. Ce cas enveloppe les autres initiateurs décrits au § 1.1. car il conduit à la plus forte augmentation de débit vapeur. Lorsque le réacteur est en puissance, le déclenchement intempestif du refroidissement partiel s'apparente à un accident de rupture de tuyauterie vapeur en puissance (section 15.2.4b). Dans l'analyse en puissance de la présente section, la situation envisagée pour cet initiateur correspond à un démarrage du refroidissement partiel par le GCT.

4. ANALYSE DU TRANSITOIRE

4.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

4.1.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

4.1.1.1. MÉTHODES D'ÉTUDE

4.1.1.1.1. Etude de l'AEDV à puissance nulle

Le déclenchement intempestif du refroidissement partiel est traité par argumentaire.

La défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation ainsi que l'ouverture intempestive d'une vanne GCT sont traitées :

- par simulation de transitoires [] desquels sont extraites les évolutions de la température modérateur en entrée cœur avant mélange (T) et de la concentration en bore en entrée cœur avant mélange (CB),
- puis par comparaison de ces évolutions à une limite en sous-criticité calculée en configuration Toutes Grappes Insérées (TGI) ou Toutes Grappes Insérées sauf la plus antiréactive (TGI-1) dans un plan (CB, T). []

4.1.1.1.2. Etude de l'AEDV en puissance

[]

4.1.1.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION

Les protections (signaux classés F1A) pouvant intervenir lors du transitoire sont :

- Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) sur signal de :
 - baisse rapide de la pression secondaire (MAX0p),
 - basse pression secondaire (MIN1p),
 - haute pression secondaire (MAX1p),
 - bas niveau GV GE (MIN1p),
 - basse pression pressuriseur (MIN2p).
- fermeture des vannes des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur :
 - compte-rendu d'AAR.
- fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur (VIV) sur signal de :
 - baisse rapide de la pression secondaire (MAX1p),
 - basse pression secondaire (MIN1p).
- isolement de la ligne petit débit ARE dans tous les GV sur signal de :
 - baisse rapide de pression secondaire (MAX2p).
- isolement de la ligne petit débit ARE GV par GV sur signal de :
 - basse pression secondaire (MIN2p),
 - haut niveau GV GE (MAX0p après [] temporisation après AAR).
- ouverture des vannes d'isolement des VDA GV par GV sur signal de :
 - haute pression secondaire (MAX1p).
- fermeture des vannes d'isolement des VDA GV par GV sur signal de :
 - basse pression secondaire (MIN3p).
- mise en service de l'injection de sécurité sur signal de :
 - basse pression pressuriseur (MIN3p).
- mise en service du RBS sur :
 - signal de Basse pression pressuriseur (MIN4p),
 - signal de Basse pression secondaire (MIN5p),

- **I**.
- démarrage du refroidissement partiel sur :
 - signal IS,
 - haut niveau GV GE (MAX2p).
- mise en service de l'ASG GV par GV sur signal de :
 - bas niveau GV GL (MIN2p).
- isolement de l'ASG GV par GV sur signal de :
 - haut niveau GV GL (MAX1p),
 - **I**.
- isolement de la charge RCV sur :
 - signal IS,
 - signal de Haut niveau pressuriseur (MAX1p),
 - baisse rapide de pression secondaire (MAX2p).
- isolement du RBS sur :
 - signal de Haut niveau pressuriseur (MAX1p),
 - signal de Haut niveau GV GE (MAX3p).

Pour le scénario de défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation, la turbine est déclenchée sur compte-rendu d'AAR.

Les protections F1A modélisées dans le transitoire en puissance sont les suivantes :

- Arrêt Automatique du Réacteur sur signal de :
 - bas RFTC,
 - puissance thermique élevée,
 - puissance linéique élevée,
 - taux élevé d'augmentation du flux,
 - baisse rapide de la pression secondaire (MAX0p),
 - basse pression pressuriseur (MIN2p).
- fermeture des vannes des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur compte-rendu d'AAR.
- fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur sur signal de :
 - baisse rapide de pression secondaire (MAX1p).
- isolement de la ligne petit débit ARE du GV concerné sur signal de :
 - baisse rapide de pression secondaire (MAX2p),
 - haut niveau GV (MAX0p après 50 secondes de temporisation après AAR).
- ouverture des vannes d'isolement du VDA du GV concerné sur signal de :
 - « haute pression secondaire » (MAX1p).

La turbine est déclenchée sur compte-rendu d'AAR.

4.1.2. RÉACTEUR INITIALEMENT À PUISSANCE NULLE

4.1.2.1. Détermination des limites en sous-criticité TGI-1 et TGI

Ce paragraphe est relatif à l'établissement des données neutroniques permettant de vérifier le non-retour en criticité pour les initiateurs suivants, ne cumulant pas le MDTE (voir [§ 2.](#)) :

- ouverture intempestive d'une vanne GCT ([§ 4.1.2.3.](#))
- défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation (voir [§ 4.1.2.4.](#)).

La vérification du non-retour en criticité se base sur la construction d'une limite en sous-criticité dans un plan défini en abscisse par la température du modérateur en entrée cœur et en ordonnée par la concentration en bore en entrée cœur. Cette limite est définie comme un ensemble de couples (concentration en bore en entrée cœur, température modérateur en entrée cœur) pour lesquels le cœur est critique en configuration :

- TGI-1 pour l'initiateur d'ouverture intempestive d'une vanne GCT considérant l'aggravant sur la grappe bloquée hors du cœur,
- TGI pour l'initiateur de défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation et pour l'initiateur d'ouverture intempestive d'une vanne GCT considérant l'aggravant sur une vanne d'isolement vapeur.

Cette limite permet de définir deux zones dans ce plan (CB, T) :

- une première zone pour laquelle le cœur est sous-critique ; cette zone correspond à des températures modérateur et des concentrations en bore en entrée cœur supérieures à celles définissant la limite en sous-criticité,
- une seconde zone pour laquelle le cœur est sur-critique ; cette zone correspond à des températures modérateur et des concentrations en bore en entrée cœur inférieures à celles définissant la limite en sous-criticité.

Les hypothèses neutroniques retenues pour la construction de ces limites en sous-criticité TGI-1 et TGI couvrent tous les cycles de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse. Le calcul de cette limite en sous-criticité prend en compte des incertitudes ainsi que des pénalités pour couvrir les effets du tilt, du SCTR et du FPPR. Elles considèrent également l'ouverture du domaine de fonctionnement en ΔI associée au passage en prolongation de cycle.

Ces hypothèses neutroniques sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.2d.1](#) respectivement pour les configurations TGI-1 et TGI.

La vérification du critère de non-retour en criticité s'effectue en comparant les évolutions des paramètres (concentration en bore en entrée cœur avant mélange, température modérateur en entrée cœur avant mélange) issues du transitoire thermohydraulique à cette limite en sous-criticité. Par conservatisme, la concentration en bore en entrée cœur minimale avant mélange et la température modérateur en entrée cœur minimale avant mélange des quatre boucles sont considérées. Dès lors que l'évolution de ce couple (concentration en bore, température) se situe dans la zone pour laquelle le cœur est sous-critique, les critères techniques d'acceptation définis au [§ 2.](#) sont vérifiés.

4.1.2.2. Déclenchement intempestif du refroidissement partiel

Le refroidissement partiel agit simultanément sur 2 systèmes : il consiste en la diminution automatique du point de consigne du VDA et du point de consigne du GCT . La situation pénalisante correspond au refroidissement partiel intempestif par le GCT, car le GCT présente le point de consigne de fin de refroidissement le plus bas. Cette configuration conduit à une plus forte insertion de réactivité.

Le refroidissement partiel par le GCT est totalement interrompu lorsque la pression du GV atteint 10 abs 10 . La température de saturation correspondante est de 10 . Même avec un petit débit ARE maximal non régulé qui serait interrompu sur un signal F1A de haut niveau GV, la température primaire reste tout au long du transitoire supérieure à 10 °C.

L'aggravant le plus pénalisant associé à ce transitoire est le blocage de la grappe la plus anti-réactive hors du cœur.

Les grappes du cœur sont dimensionnées pour assurer la sous-criticité du cœur après l'Arrêt Automatique du Réacteur jusqu'à une température du modérateur de 10 °C avec la grappe la plus antiréactive bloquée hors du cœur (voir le sous-chapitre 4.5 relatif au contrôle de la réactivité).

Ce critère de dimensionnement permet donc de démontrer le non retour en puissance lors de l'activation intempestive du refroidissement partiel.

Une fois le refroidissement partiel intempestif terminé, la tranche se stabilise, la pression de consigne secondaire est au minimum de 10 bar abs. Les GV alimentés par le petit débit ARE (où à terme, si l'ARE est isolée, par l'ASG qui démarrera sur bas niveau dans les GV) permettent d'évacuer la puissance résiduelle. Les températures et pressions primaires se stabilisent et le cœur reste sous-critique.

Traitement de la prolongation de cycle :

La consigne de pression de fin de refroidissement partiel par le GCT étant inchangée en prolongation de cycle et le calcul des Marge d'arrêt 10 couvrant l'intégralité de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse, l'analyse ci-dessus est reconductible en prolongation de cycle.

4.1.2.3. Ouverture intempestive d'une vanne GCT

L'ouverture intempestive d'une vanne GCT provoque une dépressurisation incontrôlée du secondaire. Elle provoque le refroidissement du circuit primaire et donc une augmentation de réactivité dans le cœur par effet modérateur. Ceci peut alors présenter un risque de retour en criticité du cœur.

En fonction de l'aggravant, deux situations sont envisageables :

- Si l'aggravant est porté par une vanne d'isolement vapeur, la fuite de vapeur vers le GCT est non isolable. L'étude a pour objectif de vérifier que le système de protection permet l'arrivée du bore dans le cœur avant que le refroidissement du réfrigérant primaire ne franchisse la température critique du cœur en configuration TGI.
- Si l'aggravant est porté par une grappe bloquée hors du cœur, la fuite de vapeur vers le GCT est isolable sur signal de protection d'isolement des lignes vapeur. L'étude a pour objectif de vérifier que le système de protection arrête les sources de refroidissement (i.e. ARE et débit vapeur) avant que la température du réfrigérant primaire ne devienne inférieure à la température critique du cœur en configuration TGI-1.

Pour chacune de ces situations, un transitoire thermohydraulique en cycle naturel et un transitoire en prolongation de cycle sont réalisés. Les évolutions des paramètres (concentration en bore en entrée cœur avant mélange, température modérateur en entrée cœur avant mélange) sont ensuite comparées à la limite en sous-criticité, TGI-1 ou TGI selon le cas, enveloppe de tous les cycles de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse.

4.1.2.3.1. Étude du cas avec défaillance sur une vanne d'isolement vapeur

4.1.2.3.1.1. État initial

Pour le transitoire en cycle naturel :

Les conditions initiales des principaux paramètres sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.6](#).

Les hypothèses visent à maximiser le refroidissement primaire par l'intermédiaire du GCT et du fonctionnement de l'ASG tout en minimisant l'injection de bore dans le circuit primaire par l'intermédiaire du RIS et du RBS.

L'état initial considéré est un état initial à puissance nulle. La température moyenne primaire initiale est celle de l'état A à puissance nulle, sans incertitude. L'incertitude sur la température modérateur est prise en compte dans le calcul de la limite en sous-criticité.

La pression dans le pressuriseur est maximisée afin de retarder l'obtention des signaux de mise en service du RBS et du signal IS et donc l'injection de bore par ces systèmes.

Le niveau dans le pressuriseur est pris minimal dans l'objectif de pénaliser le refroidissement du circuit primaire (effet de vidange de l'eau plus chaude du pressuriseur dans le circuit primaire).

La concentration en bore du primaire est initialement nulle.

Le débit primaire initial est pris minimal (débit thermohydraulique).

Les tubes des GV sont considérés encrassés et avec bouchage de manière à limiter la dépressurisation du primaire.

Le niveau GV initial est pris minimal afin d'avancer le démarrage ASG sur signal de « Bas niveau GV » (MIN2p).

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Afin de tenir compte de l'abaissement des seuils de pression secondaire des signaux d'isolement vapeur et d'isolement VDA en prolongation de cycle, un transitoire en milieu de prolongation de cycle est étudié avec les seuils abaissés. Le point de fonctionnement retenu est celui qui présente l'écart maximal entre la pression secondaire initiale (associée à la température primaire initiale) et les seuils de pression secondaire d'isolement vapeur et d'isolement VDA abaissés afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire. Un abaissement de la pression primaire initiale et du niveau pressuriseur initial sont considérés conformément au fonctionnement en prolongation de cycle.

Les conditions initiales des principaux paramètres en milieu de prolongation de cycle sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.8](#).

4.1.2.3.1.2. Choix de l'aggravant unique et de la maintenance préventive

L'aggravant associé à ce transitoire est la défaillance de la vanne d'isolement vapeur sur la boucle 1.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet événement. En effet, aucun système de sûreté classé F1 favorable pour le transitoire et concerné par la maintenance préventive n'est sollicité au cours de cette phase de calcul. En particulier, la maintenance préventive sur l'IS n'est pas considérée du fait de l'absence d'injection de bore par l'intermédiaire de l'IS.

4.1.2.3.1.3. Hypothèses cœur

□ La puissance résiduelle n'est pas considérée de manière à accentuer le refroidissement du fluide primaire.

4.1.2.3.1.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

RIS

Le système RIS n'est pas considéré en raison de l'absence de sollicitation du signal IS pour ce transitoire.

RBS

Un débit d'injection minimal □ par train à une température minimale □ est considéré. La concentration en bore du RBS est prise minimale □.



RCV

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur est supposée fonctionner afin de compenser la contraction du fluide primaire induite par le refroidissement. Sa prise en compte retarde la baisse du niveau et donc la vidange du pressuriseur, et tend à différer voire empêcher l'émission du signal de démarrage du RBS et du signal IS sur « Basse pression pressuriseur » MIN4p et MIN3p et donc l'injection de bore. Si le niveau du pressuriseur devient inférieur à la valeur de la consigne \square , la deuxième pompe de charge est automatiquement mise en service. \square La charge injecte dès le début du transitoire à une température minimale \square afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire.

Aspersion normale et chaufferettes

La régulation de la pression du pressuriseur est supposée fonctionner afin de limiter la dépressurisation du circuit primaire, ce qui est pénalisant vis-à-vis de l'émission du signal de démarrage du RBS sur « Basse pression pressuriseur » MIN4p. Les chaufferettes sont arrêtées lorsque le niveau du pressuriseur devient inférieur au seuil min3.

ARE

Le débit ARE en arrêt à chaud est considéré nul pendant tout le transitoire de manière à anticiper l'atteinte du démarrage de l'ASG sur signal de « Bas niveau GV » (MIN2p).

Débit ASG

Un débit d'ASG maximal est considéré avec une température minimale \square .

Autres hypothèses

Les coefficients de mélange dans la cuve sont issus des essais \square . On retient les hypothèses qui limitent le mélange des boucles dans la cuve, afin d'obtenir une zone la plus froide possible à l'entrée du cœur (voir tableau [TAB-15.2.2d.3](#)).

4.1.2.3.1.5. Hypothèses protections

Les hypothèses relatives au système de protection sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.2d.6](#).

Le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur a lieu sur :

- le signal de « Bas niveau GV GE » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil Min1p \square
 - délai total maximal jusqu'à l'émission du signal \square .

Les signaux d'isolement de l'eau alimentaire normale, isolement des lignes à petit débit de l'ARE, ne sont pas considérés du fait de l'hypothèse d'un débit ARE nul pendant tout le transitoire.

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- Le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX1p \square
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
 - délai total entre l'atteinte du seuil et la fermeture des VIV \square (valeur maximale, incluant \square le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et \square le temps de fermeture des VIV).
- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- seuil MIN1p \square
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
- délai total entre l'atteinte du seuil et la fermeture des VIV \square (valeur maximale, incluant \square le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et \square le temps de fermeture des VIV).

Le démarrage du RBS est activé sur l'un des signaux suivants :

- Le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - \square
 - délai total entre l'atteinte du seuil et le démarrage des pompes RBS \square (valeur maximale, \square le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et \square le démarrage des pompes et l'obtention d'un plein débit).
- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil MIN5p \square
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 - Délai total entre l'atteinte du seuil et le démarrage des pompes RBS : \square (valeur maximale, incluant \square le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et \square le démarrage des pompes et l'obtention d'un plein débit).

L'isolement automatique du RBS est activé sur le signal suivant :

- Le signal « Haut niveau GV » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX3p \square
Les incertitudes sont prises en compte de manière à anticiper l'isolement du RBS.
 - \square

Le démarrage de l'ASG est activé sur :

- Le signal « Bas niveau GV » (classé F1A) GV par GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN2p \square
Les incertitudes sont prises en compte de manière à anticiper le démarrage de l'ASG. L'incertitude procédé n'est pas considérée de manière découplée du fait qu'elle aurait minimisée le seuil et que sa prise en compte aurait retardé le démarrage de l'ASG.
 - \square

L'isolement de l'ASG est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Haut niveau GV GL » (classé F1A) GV par GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX1p \square
La prise en compte d'un seuil maximal a pour effet de prolonger la durée de fonctionnement de l'ASG et donc la durée de refroidissement du circuit primaire. L'incertitude procédé n'est pas considérée de manière découplée du fait qu'elle aurait minimisé le seuil et que sa prise en compte aurait avancé l'isolement de l'ASG.
 - délai total jusqu'à l'isolement effectif du débit ASG \square (valeur maximale incluant \square le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal, et \square le temps de fermeture des vannes d'isolement ASG).

- isolement manuel (classé F1A) :
L'isolement manuel de l'ASG peut être considéré 30 minutes après la première alarme significative (signal d'AAR).

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- Le signal de « Haut niveau pressuriseur » (classé F1A) avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX1p Δ
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
 - délai total jusqu'à l'isolement effectif Δ (valeur maximale incluant Δ le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal, et Δ la fermeture des vannes d'isolement de la ligne de charge).
- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX2p Δ
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
 - délai total jusqu'à l'isolement effectif Δ (valeur maximale incluant Δ le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal, et Δ la fermeture des vannes d'isolement de la ligne de charge).

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Les seuils modifiés en prolongation de cycle sont listés ci-dessous.

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX1p Δ
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
 - Délai total entre l'atteinte du seuil et la fermeture des VIV Δ (valeur maximale, incluant Δ le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et Δ le temps de fermeture des VIV).
- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN1p Δ
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
 - délai total entre l'atteinte du seuil et la fermeture des VIV Δ (valeur maximale, incluant Δ le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et Δ le temps de fermeture des VIV).

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Haut niveau pressuriseur » (classé F1A) avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX1p Δ
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
 - délai total jusqu'à l'isolement effectif Δ (valeur maximale incluant Δ le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal, et Δ la fermeture des vannes d'isolement de la ligne de charge).
- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- seuil MAX2p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
- délai total jusqu'à l'isolement effectif □ (valeur maximale incluant □ le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal, et □ la fermeture des vannes d'isolement de la ligne de charge).

4.1.2.3.1.6. Résultats

Les figures [FIG-15.2.2d.9](#) à [FIG-15.2.2d.15](#) présentent les évolutions des principaux paramètres du transitoire. Le tableau [TAB-15.2.2d.7](#) présente la séquence des événements.

Suite à l'ouverture d'une vanne GCT, l'augmentation du débit vapeur et l'absence de débit ARE entraînent l'émission du signal d'AAR par « Bas niveau GV » (MIN1p).

La diminution de la pression secondaire entraîne le refroidissement du circuit primaire. L'action des chaufferettes et de la charge RCV ne suffit pas à compenser la baisse de pression et de niveau dans le pressuriseur.

L'atteinte du signal de « basse pression secondaire » (MIN1p) entraîne la fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur, sauf celle de la boucle 1 affectée par l'aggravant. Suite à l'isolement des lignes vapeur, seule la pression et le niveau du GV de la boucle 1 diminuent car seul ce GV est connecté au GCT. La pression des autres GV montre une légère diminution car, le réfrigérant primaire continuant à se refroidir, l'échange thermique dans ces GV s'inverse.

Le démarrage de l'ASG dans le GV de la boucle 1 sur signal de « Bas niveau GV GL » (MIN2p) accentue le refroidissement du réfrigérant primaire.

Les pompes RBS démarrent lorsque la pression dans le GV de la boucle 1 franchit le seuil de « Basse pression GV » (MIN5p). L'injection du RBS a pour effet d'augmenter la pression et le niveau d'eau dans le pressuriseur.

Une fois les premiers ppm de bore arrivés dans le cœur, tout risque de retour en criticité est écarté, car la borication par le RBS est plus efficace que la poursuite du refroidissement.

Le refroidissement du réfrigérant primaire ne prend fin qu'après isolement □, 1800s après l'AAR et après la vidange complète du GV 1 à la brèche. Ainsi, le refroidissement du réfrigérant primaire est terminé, garantissant l'atteinte de l'état contrôlé.

Les évolutions des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) sont présentées et comparées à la limite en sous-criticité en configuration TGI enveloppe de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse en figure [FIG-15.2.2d.16](#). Cette évolution montre l'absence de retour en criticité pour le transitoire d'ouverture intempestive d'une vanne GCT initié en cycle naturel / début de prolongation de cycle, lorsque l'aggravant est considéré sur une vanne d'isolement vapeur.

Ainsi, l'absence de retour en criticité du cœur est démontrée.

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Les figures [FIG-15.2.2d.17](#) à [FIG-15.2.2d.23](#) présentent les évolutions des principaux paramètres du transitoire en milieu de prolongation de cycle. Le tableau [TAB-15.2.2d.9](#) présente la séquence des événements.

Les évolutions des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) sont présentées et comparées à la limite en sous-criticité en configuration TGI enveloppe de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse en figure [FIG-15.2.2d.24](#). Cette évolution montre l'absence de retour en criticité pour le transitoire d'ouverture intempestive d'une vanne GCT initié en prolongation de cycle, lorsque l'aggravant est considéré sur une vanne d'isolement vapeur.

Ainsi, l'absence de retour en criticité du cœur est démontrée.

4.1.2.3.2. Etude du cas avec défaillance sur une grappe bloquée hors du cœur

4.1.2.3.2.1. État initial

Pour le transitoire en cycle naturel :

Les conditions initiales des principaux paramètres sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.10](#). Les hypothèses visent à maximiser le refroidissement primaire par l'intermédiaire du GCT et de l'ARE tout en minimisant l'injection de bore dans le circuit primaire par l'intermédiaire du RIS et du RBS.

L'état initial considéré est un état initial à puissance nulle après émission du signal d'AAR car le cœur est en configuration TGI-1.

La température moyenne primaire initiale est celle de l'état A à puissance nulle, sans incertitude. L'incertitude sur la température modérateur est prise en compte dans le calcul de la limite en sous-criticité.

La pression dans le pressuriseur est maximisée afin de retarder, voire empêcher l'obtention des signaux de mise en service du RBS et du signal IS et donc l'injection de bore par ces systèmes.

Le niveau dans le pressuriseur est pris maximal afin de retarder la vidange du pressuriseur et donc limiter la baisse de pression primaire.

La concentration en bore du primaire est initialement nulle.

Le débit primaire initial est pris minimal (débit thermohydraulique).

Les tubes des GV sont considérés encrassés et avec bouchage de manière à limiter la dépressurisation du primaire.

Le niveau GV initial est pris minimal afin de retarder l'isolement de l'ARE sur signal de « Haut niveau GV GE » (MAX0p), après temporisation.

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Afin de tenir compte de l'abaissement des seuils de pression secondaire des signaux d'isolement vapeur et d'isolement VDA en prolongation de cycle, un transitoire en fin de prolongation de cycle est étudié avec les seuils abaissés. Le point de fonctionnement est retenu en fin de prolongation de cycle, de manière à tenir compte de la température primaire initiale la plus faible possible et des seuils de pression secondaire d'isolement vapeur et d'isolement VDA abaissés. Un abaissement de la pression primaire initiale et du niveau pressuriseur initial sont considérés conformément au fonctionnement en prolongation de cycle.

Les conditions initiales des principaux paramètres en fin prolongation de cycle sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.12](#).

4.1.2.3.2.2. Choix de l'aggravant unique et de la maintenance préventive

L'aggravant associé à ce transitoire est le blocage de la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet événement. En effet, aucun système de sûreté classé F1 favorable pour le transitoire et concerné par la maintenance préventive n'est sollicité au cours de cette phase de calcul. En particulier, la maintenance préventive sur l'IS n'est pas considérée du fait de l'absence d'injection de bore par l'intermédiaire de l'IS.

4.1.2.3.2.3. Hypothèses cœur

□ La puissance résiduelle n'est pas considérée de manière à accentuer le refroidissement du fluide primaire.

4.1.2.3.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulation**RIS**

Le système RIS n'est pas considéré en raison de l'absence de sollicitation du signal IS pour ce transitoire.

RBS

Un débit d'injection minimal de [] par train à une température minimale [] est considéré. La concentration en bore du RBS est prise minimale [].

Un même train RBS injectant dans deux boucles différentes, une dissymétrie de répartition des débits entre ces deux boucles reliées au même train est considérée. [] :

[]

Dans la mesure où le bore arrive bien après la fin du refroidissement primaire, la répartition de débit RBS (symétrique ou dissymétrique) est finalement sans impact sur ce transitoire.

RCV

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur est supposée fonctionner afin de compenser la contraction du fluide primaire induite par le refroidissement. Sa prise en compte retarde la baisse du niveau et donc la vidange du pressuriseur, et tend à différer voire empêcher l'émission du signal de démarrage du RBS et du signal IS sur « Basse pression pressuriseur » MIN4p et MIN3p, et donc l'injection de bore. Si le niveau du pressuriseur devient inférieur à la valeur de la consigne [], la deuxième pompe de charge est automatiquement mise en service. De manière pénalisante, le débit de décharge est pris nul pendant tout le transitoire. La charge injecte dès le début du transitoire à une température minimale [] afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire.

Aspersion normale et Chauffelettes

La régulation de la pression du pressuriseur est supposée fonctionner afin de limiter la dépressurisation du circuit primaire, ce qui est pénalisant vis-à-vis de l'émission du signal de démarrage du RBS sur « Basse pression pressuriseur » MIN4p. Les chauffelettes sont arrêtées lorsque le niveau du pressuriseur devient inférieur au seuil min3.

ARE

Les vannes d'isolement des lignes à grand débit sont supposées initialement ouvertes. Par hypothèse, l'AAR est émis à l'instant initial car la situation grappe bloquée hors du cœur ne peut résulter que d'une situation post-AAR. Les vannes d'isolement du grand débit ARE sont supposées être fermées [] après le début du transitoire, sur compte rendu d'AAR.

[]

Le tableau [TAB-15.2.2d.2](#) donne les évolutions du petit débit d'eau alimentaire en fonction de la pression secondaire.

La température de l'eau alimentaire considérée est prise minimale [].

Autres hypothèses

Les coefficients de mélange dans la cuve sont issus des essais []. On retient les hypothèses qui limitent le mélange des boucles dans la cuve, afin d'obtenir une zone la plus froide possible à l'entrée du cœur (voir tableau [TAB-15.2.2d.3](#)).

4.1.2.3.2.5. Hypothèses protections

Les hypothèses relatives au système de protection sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.2d.12](#).

Le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur a lieu à l'instant initial. En effet, dans la mesure où ce transitoire est en configuration TGI-1, il exclut la possibilité d'un état initial en arrêt à chaud (nécessairement en configuration TGI).

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur le signal suivant :

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN1p []
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
 - délai total entre l'atteinte du seuil et la fermeture des VIV [] (valeur maximale, incluant [] le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et [] le temps de fermeture des VIV).

Par conservatisme, le signal d'isolement vapeur par « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX1p) n'est pas considéré sur ce transitoire.

Le démarrage du RBS est réalisé sur le signal suivant :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN4p []
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 - délai total entre l'atteinte du seuil et le démarrage des pompes RBS [] (valeur maximale, incluant [] le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et [] le démarrage des pompes et l'obtention d'un plein débit).

L'isolement automatique du RBS est activé sur le signal suivant :

- le signal « Haut niveau GV GE » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX3p []
Les incertitudes sont prises en compte de manière à anticiper l'isolement du RBS.
 - []

L'isolement automatique de l'ARE, GV par GV, est activé sur le signal suivant :

- le signal « Haut niveau GV GE » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX0p []
Les incertitudes sont prises en compte de manière à retarder l'isolement des vannes petit débit de l'ARE. L'incertitude procédé n'est pas considérée de manière découplée du fait qu'elle aurait minimisé le seuil et que sa prise en compte aurait avancé l'isolement ARE.
 - Le délai entre l'atteinte du seuil et isolement des lignes ARE [] (valeur maximale, incluant [] le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et [] la fermeture des vannes d'isolement).

Par conservatisme, le signal d'isolement complet de l'ARE par « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX2p) n'est pas considéré sur ce transitoire.

Le démarrage de l'ASG est activé sur :

- Le signal « Bas niveau GV GL » (classé F1A) GV par GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN2p []

Les incertitudes sont prises en compte de manière à anticiper le démarrage de l'ASG. L'incertitude procédé n'est pas considérée de manière découplée du fait qu'elle aurait minimisé le seuil et que sa prise en compte aurait retardé le démarrage de l'ASG.

-

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Haut niveau pressuriseur » (classé F1A) avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX1p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
 - délai total jusqu'à l'isolement effectif (valeur maximale incluant le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal, et la fermeture des vannes d'isolement de la ligne de charge).

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

En prolongation de cycle, le signal d'isolement des lignes vapeur est modifié de la façon suivante :

- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN1p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
 - délai total entre l'atteinte du seuil et la fermeture des VIV (valeur maximale, incluant le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et le temps de fermeture des VIV).

Par conservatisme le signal d'isolement vapeur par « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX1p) n'est pas considéré sur ce transitoire.

4.1.2.3.2.6. Résultats

Les figures [FIG-15.2.2d.25](#) à [FIG-15.2.2d.31](#) présentent les évolutions des principaux paramètres du transitoire. Le tableau [TAB-15.2.2d.11](#) présente la séquence des événements.

La présente étude couvre les aspects consécutifs à un arrêt automatique du réacteur. Le signal d'AAR est émis à l'instant initial, en même temps que l'ouverture d'une vanne GCT.

Suite à l'émission du signal d'AAR, le grand débit ARE est isolé, les vannes petit débit restent pleines ouvertes. Le débit ARE reste suffisant pour imposer une vitesse de refroidissement du circuit primaire plus importante que celle qui serait imposée par la brèche seule.

L'action des chaufferettes et de la charge RCV ne suffit pas à compenser la baisse de pression et de niveau dans le pressuriseur. Le RBS est alors démarré sur signal de « Basse pression pressuriseur » (MIN4p).

Suite à l'atteinte du seuil de « Haut niveau GV » (MAX0p) (alors que la temporisation après AAR est écoulée), l'ARE est complètement isolé. Le refroidissement du circuit primaire cesse alors temporairement, jusqu'à ce que la dépressurisation du circuit secondaire permette à l'eau au contact des tubes GV d'atteindre l'état saturé. La diminution de la pression secondaire imposée par la brèche seule entraîne la reprise du refroidissement du circuit primaire.

L'atteinte du signal de « basse pression secondaire » (MIN1p) entraîne la fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur ce qui arrête la dépressurisation du circuit secondaire, et donc le refroidissement du circuit primaire.

La température du circuit primaire augmente par la suite, grâce à la puissance thermique dégagée par les GMPP, ce qui éloigne tout risque de retour en criticité du cœur.

Les premiers ppm de bore arrivent dans le cœur après la fin du refroidissement du circuit primaire.

Les évolutions des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) sont présentées et comparées à la limite en sous-criticité en configuration TGI-1 enveloppe de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse en figure [FIG-15.2.2d.24](#). Cette évolution montre l'absence de retour en criticité pour le transitoire d'ouverture intempestive d'une vanne GCT initié en cycle naturel / début de prolongation de cycle lorsque l'aggravant est situé sur une grappe coincée.

Ainsi, l'absence de retour en criticité du cœur est démontrée.

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Les figures [FIG-15.2.2d.33](#) à [FIG-15.2.2d.39](#) présentent les évolutions des principaux paramètres du transitoire en milieu de prolongation de cycle. Le tableau [TAB-15.2.2d.13](#) présente la séquence des événements.

En l'absence de sollicitation des signaux de démarrage du RBS et de l'IS, aucun système susceptible d'injecter du bore n'est sollicité dans ce transitoire. En l'absence de bore en entrée cœur, les évolutions des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) ne sont pas comparées à la limite en sous-criticité en configuration TGI-1 enveloppe de la première gestion sur ce cas.

La température minimale en entrée cœur (avant mélange) atteinte sur le transitoire est de 247,0° C, suite à l'isolement de l'ARE dans tous les GV. Or, à concentration en bore nulle, la limite en sous-criticité en configuration TGI-1 enveloppe de la première gestion est obtenue pour une température \square . Le non-retour en criticité est donc respecté pour le transitoire d'ouverture intempestive d'une vanne GCT initié en fin prolongation de cycle, lorsque l'aggravant est considéré sur une grappe bloquée hors du cœur.

Ces résultats confirment que la fin de prolongation de cycle est la situation la plus pénalisante. La durée de fonctionnement de l'ARE est similaire en cycle naturel et en prolongation de cycle. En effet, le seuil d'isolement de l'ARE sur « haut niveau GV » (MAX0p) associé à une temporisation après AAR n'est pas modifié en prolongation de cycle. Par ailleurs, en fin de prolongation de cycle la température initiale du circuit primaire est minimale et donc plus proche de la température critique qu'en situation de cycle naturel ou que les autres situations en prolongation de cycle.

Ainsi, l'absence de retour en criticité du cœur est démontrée.

4.1.2.4. Défaillance à la fermeture du VDA après sa sollicitation

Lors d'un transitoire d'AAR sans prise en compte du GCT, les VDA sont sollicitées pour évacuer la puissance. Chaque VDA fonctionne avec une vanne d'isolement et une vanne réglante en série. Si la défaillance unique est appliquée à la vanne réglante, une dépressurisation incontrôlée du GV affecté se produit, entraînant un refroidissement excessif du circuit primaire. La dépressurisation par le VDA est interrompue par la fermeture de la vanne d'isolement du VDA lorsque la pression secondaire atteint le seuil de « Basse pression secondaire ». La dépressurisation du circuit secondaire et le refroidissement primaire peuvent se prolonger suite à la mise en service de l'ASG GV par GV si le seuil de « Bas niveau GV GL » est atteint. La dépressurisation du circuit secondaire et le refroidissement primaire se poursuivent alors jusqu'à l'isolement de l'ASG GV par GV lorsque le seuil de « Haut niveau GV GL » est atteint.

Un bilan de réactivité est réalisé afin de démontrer le non retour en criticité du cœur.

Un transitoire thermohydraulique en cycle naturel et un transitoire en prolongation de cycle sont réalisés afin de comparer leurs évolutions respectives des paramètres (concentration en bore en entrée cœur avant mélange, température modérateur en entrée cœur avant mélange) à la limite en sous-criticité TGI enveloppe de tous les cycles de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse.

4.1.2.4.1. État initial

Pour le transitoire en cycle naturel :

Les conditions initiales des principaux paramètres en cycle naturel sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.14](#). Les hypothèses visent à maximiser le refroidissement primaire par l'intermédiaire du VDA bloqué ouvert et du fonctionnement de l'ASG tout en minimisant l'injection de bore dans le circuit primaire par l'intermédiaire du RIS et du RBS.

L'état initial considéré est un état initial à pleine puissance afin de minimiser l'inventaire en eau dans les GV et de permettre le démarrage de l'ASG sur un seuil de « Bas niveau GV GL » après l'AAR et l'ouverture des VDA. Ce niveau de puissance initial est minimisé.

La pression et le niveau d'eau initiaux dans le pressuriseur sont maximisés afin de ralentir la dépressurisation primaire, et en conséquence retarder l'obtention du signal de mise en service du RBS et d'empêcher l'atteinte du signal IS et donc l'injection de bore par les pompes IS.

La concentration en bore du primaire est initialement nulle.

La valeur du débit primaire initial n'est pas un paramètre dominant pour l'étude. Néanmoins, en cohérence avec l'analyse du transitoire de défaillance à la fermeture de la vanne réglante du VDA après sa sollicitation avec cumul du MDTE (voir [§ 5.2.2.4.](#)), un débit primaire maximal est considéré pour ce transitoire avec maintien du débit primaire.

Les tubes des GV sont considérés propres et sans bouchage afin de majorer l'échange primaire / secondaire et le refroidissement primaire.

Le niveau GV initial est minimisé afin de minimiser l'inventaire en eau dans les GV et de permettre le démarrage de l'ASG sur un seuil de « Bas niveau GV GL ».

La température moyenne modérateur initiale est prise en cohérence avec les hypothèses relatives au niveau de puissance, au débit primaire ainsi qu'avec l'hypothèse d'encrassement et de bouchage des tubes des GV. Aucune incertitude n'est considérée, l'incertitude sur la température modérateur étant prise en compte dans le calcul de la limite en sous-criticité.

Un AAR est postulé à l'instant initial. La puissance cœur est supposée s'annuler instantanément suite à cet AAR et une puissance résiduelle nulle est considérée afin de pénaliser le refroidissement primaire.

En conséquence, suite à l'AAR et au déclenchement turbine, le circuit secondaire voit sa pression augmenter jusqu'à la sollicitation des VDA sur un seuil de « Haute pression secondaire » sous le seul effet de l'évacuation de la puissance thermique des GMPP.

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Afin de tenir compte de l'abaissement des seuils de pression secondaire des signaux d'ouverture des VDA, d'isolement vapeur et d'isolement VDA en prolongation de cycle, un transitoire en milieu de prolongation de cycle est étudié avec les seuils abaissés. Le point de fonctionnement retenu est celui qui présente l'écart maximal entre le seuil d'ouverture des VDA et les seuils de pression secondaire d'isolement vapeur et d'isolement VDA abaissés afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire. Un abaissement de la pression primaire initiale est considéré conformément au fonctionnement en prolongation de cycle.

Les conditions initiales des principaux paramètres en milieu de prolongation de cycle sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.15](#).

4.1.2.4.2. Choix de l'aggravant unique et de la maintenance préventive

Par définition du transitoire, l'aggravant est la défaillance à la fermeture de la vanne réglante du VDA. Le VDA défaillant est supposé être associé au GV 1.

En conséquence, aucun aggravant relatif au blocage d'une grappe hors du cœur après l'AAR n'est considéré. La configuration de grappes après AAR est donc une configuration TGI.

Une maintenance préventive est considérée sur une pompe ISMP. Le train ISMP en maintenance est positionné sur la même boucle que le GV affecté afin de minimiser l'apport en bore dans le quart de cœur le plus froid.

4.1.2.4.3. Hypothèses cœur

□

La puissance cœur considérée après l'Arrêt automatique du réacteur est de □ Le passage de la pleine puissance cœur à la puissance cœur post-AAR est supposée s'effectuer instantanément. La puissance résiduelle n'est pas considérée de manière à accentuer le refroidissement du fluide primaire.

4.1.2.4.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

RIS

Le débit d'injection de sécurité est le débit minimal des trois trains ISMP en service (voir sous-chapitre 15.1). Le train ISMP en maintenance est positionné sur la même boucle que le GV affecté afin de minimiser l'apport en bore dans le quart de cœur le plus froid.

La température de l'IS est prise minimale □ pour favoriser le refroidissement du fluide primaire. La concentration en bore de l'IRWST est prise minimale□.

RBS

Un débit d'injection minimal □ à une température minimale □ est considéré. La concentration en bore du RBS est prise minimale□.

Un même train RBS injectant dans deux boucles différentes, une dissymétrie de répartition des débits entre ces deux boucles reliées au même train est considérée. La répartition de débit RBS suivante est retenue de manière pénalisante :

□

RCV

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur est supposée fonctionner afin de limiter la contraction du fluide primaire induite par le refroidissement. Sa prise en compte retarde la baisse du niveau et tend à différer voire empêcher l'émission du signal de démarrage du RBS et du signal IS sur « Basse pression pressuriseur » et donc l'injection de bore. Si le niveau du pressuriseur devient inférieur à la valeur de la consigne diminuée □, la 2^{ème} pompe de charge est automatiquement mise en service. La ligne de décharge est automatiquement isolée lorsque le niveau pressuriseur devient inférieur au seuil MIN2. La charge injecte dès le début du transitoire à une température minimale □ afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire.

Aspersions normales et Chauffeuses

La régulation de la pression du pressuriseur est supposée fonctionner afin de limiter la chute pression primaire et donc retarder l'émission du signal de démarrage du RBS et du signal IS sur « Basse pression pressuriseur ». Les chauffeuses sont arrêtées lorsque le niveau du pressuriseur devient inférieur au seuil MIN3.

VDA

□

La vanne réglante du VDA associée au GV affecté est considérée pleine ouverte durant tout le transitoire. Afin de couvrir des situations pour lesquelles les VDA seraient sollicités immédiatement après l'AAR, le pré-positionnement des vannes de contrôle des VDA associées aux GV sains n'est pris pas en compte. Ces vannes de contrôle sont donc considérées pleine ouvertes lors de l'ouverture des vannes d'isolement. □.

ARE

Afin de pénaliser l'inventaire en eau dans les GV en transitoire et de permettre le démarrage de l'ASG sur un seuil de « Bas niveau GV GL », l'ARE n'est pas considéré.

Débit ASG

Un débit d'ASG maximal est considéré avec une température minimale □.

Débit Vapeur

Suite à l'AAR, le signal de déclenchement de la turbine est activé.

Autres hypothèses

Les coefficients de mélange dans la cuve sont issus des essais □. On retient les hypothèses qui limitent le mélange des boucles dans la cuve, afin d'obtenir une zone la plus froide possible à l'entrée du cœur (voir tableau [TAB-15.2.2d.3](#)).

4.1.2.4.5. Hypothèses protections

Les hypothèses relatives au système de protection sont présentées dans les tableaux [TAB-15.2.2d.14](#) et [TAB-15.2.2d.15](#) respectivement pour le transitoire en cycle naturel et le transitoire en prolongation de cycle.

Pour le transitoire en cycle naturel :

Un signal d'Arrêt Automatique du Réacteur est postulé à l'instant initial.

Le déclenchement de la turbine est effectué sur :

- Le signal de « Compte-rendu d'AAR » (classé F1A) □

□

Les signaux d'isolement de l'eau alimentaire normale, isolement des lignes à grand débit de l'ARE et isolement des lignes à petit débit de l'ARE, ne sont pas considérés du fait de la non prise en compte de l'ARE suite à l'AAR (voir [§ 4.1.2.4.4](#)).

Suite à la montée en pression du circuit secondaire, l'ouverture des vannes d'isolement des VDA est réalisée sur :

- Le signal de « Haute pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil MAX1p □
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'ouverture des vannes d'isolement des VDA afin de maximiser le débit vapeur initial ainsi que la durée du refroidissement primaire.
 - □

La fermeture de la vanne d'isolement du VDA dont la vanne réglante est défaillante est réalisée sur :

- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- Seuil MIN3p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder la fermeture de la vanne d'isolement du VDA afin de maximiser la durée du refroidissement primaire.

- □

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur :

- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- Seuil MIN1p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.

- □

L'isolement vapeur sur signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (seuil MAX1p) n'est pas considéré afin de prolonger la chute de pression dans les 4 GV par l'intermédiaire du VDA défaillant jusqu'à l'atteinte du seuil de « Basse pression secondaire » (MIN1p) ci-dessus.

L'injection de sécurité est activée sur :

- Le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- Seuil MIN3p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder voire empêcher l'émission du signal IS.

- □

Le démarrage du RBS est activé sur l'un des signaux suivants :

- Le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- Seuil MIN4p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.

- □

- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- Seuil MIN5p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.

- □

Le démarrage de l'ASG est activé sur :

- Le signal de « Bas niveau GV GL » (classé F1A) GV par GV, avec les caractéristiques suivantes :

- Seuil MIN2p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage de l'ASG afin de maximiser la durée de fonctionnement de l'ASG entre son démarrage et son isolement.

- □

L'isolement de l'ASG est réalisé sur :

- Le signal de « Haut niveau GV GL » (classé F1A) GV par GV, avec les caractéristiques suivantes :

- Seuil MAX1p□
La prise en compte d'un seuil maximal a pour effet de prolonger la phase d'injection et donc la durée de refroidissement du circuit primaire. L'incertitude procédé n'est pas considérée de manière découplée du fait qu'elle aurait minimisée le seuil.
- □

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- Le signal « IS » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil identique au signal IS.
 - □
- Le signal « Haut niveau pressuriseur » (classé F1A) avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil MAX1p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
 - □
- Le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil MAX2p :
□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
 - □

L'hypothèse relative à la puissance résiduelle considérée comme nulle immédiatement après l'AAR ainsi que l'augmentation de la pression secondaire jusqu'à la sollicitation des VDA sous le seul effet de l'évacuation de la puissance thermique générée par les GMPP entraîne la nécessité de simuler le scénario sur une durée très longue □. En conséquence, et par conservatisme, aucune action manuelle classée F1A n'est considérée 30 minutes après la première alarme significative que serait l'Arrêt automatique du réacteur postulé à l'instant initial.

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Les seuils de protection abaissés en milieu de prolongation de cycle sont présentés ci-dessous.

Suite à la montée en pression du circuit secondaire, l'ouverture des vannes d'isolement des VDA est réalisée sur :

- Le signal de « Haute pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil MAX1p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'ouverture des vannes d'isolement des VDA afin de maximiser le débit vapeur initial ainsi que la durée du refroidissement primaire.
 - □

La fermeture de la vanne d'isolement du VDA dont la vanne réglante est défaillante est réalisée sur :

- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil MIN3p□
Les incertitudes sont prises de manière à retarder la fermeture de la vanne d'isolement du VDA afin de maximiser la durée du refroidissement primaire.

-

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur :

- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil MIN1p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
 -

L'isolement vapeur sur signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (seuil MAX1p) n'est pas considéré afin de prolonger la chute de pression dans les 4 GV par l'intermédiaire du VDA défaillant jusqu'à l'atteinte du seuil de « Basse pression secondaire » (MIN1p) ci-dessus.

Le démarrage du RBS est activé sur :

- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - Seuil MIN5p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 -

4.1.2.4.6. Résultats

Pour le transitoire en cycle naturel :

Les évolutions des principaux paramètres du transitoire sont présentées des figures [FIG-15.2.2d.40](#) à [FIG-15.2.2d.47](#). Le tableau [TAB-15.2.2d.16](#) présente la séquence des événements.

Suite à l'Arrêt automatique du réacteur et au déclenchement turbine, la pression secondaire augmente sous l'effet de l'évacuation de la puissance thermique des GMPP. L'ouverture des vannes d'isolement des VDA sur signal de « Haute pression secondaire » entraîne une forte augmentation du débit vapeur extrait de tous les GV. Ce débit diminue rapidement sous l'effet de la fermeture des vannes réglantes des VDA associées aux GV sains. L'extraction de vapeur s'effectue alors dans les 4 GV par l'intermédiaire du VDA défaillant jusqu'à l'isolement des lignes vapeur sur signal de « Basse pression secondaire ». Cette extraction se poursuit uniquement dans le GV affecté (GV 1) jusqu'à l'isolement du VDA sur signal de « Basse pression secondaire ».

La diminution du niveau GV s'accélère après l'ouverture des VDA provoquant le démarrage de l'ASG sur signal de « Bas niveau GV GL ». L'augmentation du niveau dans les GV se poursuit jusqu'à l'isolement de l'ASG sur signal de « Haut niveau GV GL ».

La dépressurisation secondaire provoque une extraction de puissance du circuit primaire et une baisse de la température primaire. La contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et de la pression primaire. La baisse du niveau dans le pressuriseur conduit à une réduction du débit de décharge et une augmentation du débit de charge provenant du RCV.

La baisse de pression primaire provoque l'émission du signal de démarrage du RBS sur « Basse pression dans le pressuriseur ». Le fonctionnement de la charge RCV, qui limite la dépressurisation primaire, empêche l'émission du signal IS sur « Basse pression dans le pressuriseur ». L'injection de bore dans le circuit primaire s'effectue donc uniquement par le RBS.

La baisse de la température primaire se poursuit jusqu'à l'isolement de l'ASG. La température minimale dans les branches froides est alors atteinte.

Enfin, l'isolement de la charge RCV s'effectue suite à l'émission du signal de « Haut niveau dans le pressuriseur ».

Les évolutions des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) sont présentées et comparées à la limite en sous-criticité en configuration TGI enveloppe de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse en figure [FIG-15.2.2d.48](#). Cette évolution montre l'absence de retour en criticité pour le transitoire de défaillance à la fermeture de la vanne réglante d'un VDA suite à sa sollicitation après un AAR initié en cycle naturel.

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Les évolutions des principaux paramètres du transitoire en milieu de prolongation de cycle sont présentées des figures [FIG-15.2.2d.49](#) à [FIG-15.2.2d.56](#). Le tableau [TAB-15.2.2d.15](#) présente la séquence des événements.

Les évolutions des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) sont présentées et comparées à la limite en sous-criticité en configuration TGI enveloppe de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse en figure [FIG-15.2.2d.57](#). Cette évolution montre l'absence de retour en criticité pour le transitoire de défaillance à la fermeture de la vanne réglante d'un VDA suite à sa sollicitation après un AAR initié en prolongation de cycle.

4.1.2.5. Conclusion sur les cas initiés à puissance nulle

Pour l'ensemble des cas initiés à puissance nulle sans prise en compte cumul du MDTE, le cœur est maintenu à l'état sous-critique. Les critères d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont donc respectés.

L'AEDV étant un transitoire de refoidissement conduisant à une baisse de la pression primaire, les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées. Cela garantit l'intégrité du RDP.

Le maintien sous critique du cœur et le respect de l'intégrité du RDP garantissent l'absence de rejets radiologiques.

Par ailleurs, l'évacuation de la puissance résiduelle et de la puissance des pompes primaires est assurée par les générateurs de vapeur et l'inventaire en eau primaire est stable.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation PCC-2 définis au [§ 2](#). sont respectés.

L'état contrôlé est atteint.

4.1.3. Réacteur initialement en puissance

4.1.3.1. Choix de l'aggravant unique et de la maintenance préventive

La grappe la plus antiréactive est supposée bloquée hors du cœur.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet événement, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

4.1.3.2. Etat initial

On suppose le réacteur initialement à puissance maximale, en cycle naturel. Le tableau [TAB-15.2.2d.22](#) présente les conditions initiales retenues.

□

4.1.3.3. Hypothèses spécifiques

1) Données neutroniques et puissance résiduelle





Les données neutroniques sont issues du sous-chapitre 15.1. Elles sont enveloppes de tous les cycles de la gestion du combustible et couvrent la prolongation de cycle.

L'impact du coefficient de densité modérateur est analysé. Il est pris soit minimum soit maximum.

Afin de maximiser l'accroissement de flux nucléaire :

- le coefficient Doppler puissance est pris minimum en valeur absolue,
- le coefficient Doppler température est pris :
 - maximum en valeur absolue pour les cas de simulation ne prenant pas en compte la régulation de température primaire par les grappes (la température décroît dans ces transitoires),
 - minimum en valeur absolue pour les cas de simulation prenant en compte la régulation de température primaire par les grappes,
- les coefficients de chaleur combustible – réfrigérant sont pris maximaux.


En outre afin de maximiser la puissance cœur, donc la diminution du RFTC, on retient les hypothèses suivantes :


- temps de chute des grappes maximal sans séisme ,
- loi de puissance résiduelle (B+C) augmentée .

2) Hypothèses liées aux régulations

- ARE :


Le débit ARE peut être considéré constant égal à sa valeur initiale ou variable et égal au débit vapeur en transitoire. L'impact est étudié et la configuration pénalisante est retenue pour l'étude.


Après le signal d'AAR, la ligne grand débit du circuit d'eau alimentaire normale est isolée. Un petit débit ARE maximal égal à % du débit nominal est maintenu jusqu'à l'activation du signal « Haut Niveau GV » (seuil MAX0p) ou du signal « Chute de pression dans un GV » (seuil MAX2p) ou du signal « Basse pression GV » (seuil MIN2p) qui permettent l'isolement des lignes petit et très petit débits.
- Régulation de température :


La régulation de température par les grappes peut s'avérer pénalisante. En effet le refroidissement peut entraîner une extraction des grappes tant que l'effet de déséquilibre de puissance entre le primaire et le secondaire ne l'emporte pas sur l'effet de déséquilibre de température. Son impact est donc analysé et pris en compte s'il s'avère pénalisant. .
- La limitation « Bas RFTC » qui génère un arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge turbine peut être atteinte lors du transitoire, mais elle n'est pas valorisée.
- Le débit à la turbine est constant jusqu'au déclenchement de la turbine.
- Les autres systèmes de contrôle ne sont pas considérés, car ils ont soit un effet bénéfique soit aucun effet sur l'événement.

3) Hypothèses protections

- Les signaux d'AAR modélisés sont :
 - Le signal « Bas RFTC » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

Seuil étude : .


 - Le signal « Puissance thermique élevée » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

Seuil étude : % PN.

-
- Le signal « Puissance linéique élevée » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil étude : □ W/cm.
□
 - Le signal « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil étude : Max0p □.
Ecart consigne/mesure □.
Consigne max : □.
□
 - Le signal « Basse Pression Pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil MIN2p □
□
 - Le signal « Taux élevé d'augmentation du flux » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil étude □.
□
- Isolement vapeur (F1A) :
Les vannes d'isolement vapeur sont fermées sur signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX1p □). Le point de consigne de ce signal est réglé □ en dessous de la pression du GV, avec une valeur maximale de □ bar abs. □.
 - Isolement ARE (F1A) :
La fermeture de la ligne grand débit ARE se fait en □ secondes sur signal de compte rendu d'AAR. Par la suite, on suppose qu'un débit maximum d'ARE de □% du débit nominal arrive dans chaque GV jusqu'à la fermeture de la ligne d'ARE petit débit sur signal de « Haut niveau GV » □. □.
 - VDA (F1A) :
L'ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA se fait sur signal « Haute Pression secondaire » (MAX1p □) GV par GV. □.
Le déclenchement de la turbine a lieu avec un retard maximal de □ s après le signal d'AAR.
Les principales hypothèses sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.2d.22](#).

4.1.3.4. Résultats

□

La prise en compte d'un débit ARE constant égal au débit initial, ou variable égal au débit vapeur n'a pas d'impact sur le RFTC minimum. Le transitoire présenté ci-dessous prend en compte un débit ARE constant.

Le tableau [TAB-15.2.2d.23](#) présente la séquence des événements du transitoire de refroidissement partiel intempêtif pénalisant. L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2d.76](#) à [FIG-15.2.2d.80](#).

Le transitoire est initié par l'émission intempêtive d'un signal de refroidissement partiel. □. L'ouverture des vannes GCT provoque une diminution de la pression au secondaire qui entraîne un refroidissement du primaire (première ouverture d'une vanne du GCT à 13,9 s). Afin de réguler la diminution de température, les grappes de régulation s'extraient. Ce retrait conduit à une augmentation de la puissance thermique cœur qui atteint □ % PN. L'augmentation de la puissance cœur ainsi que la diminution de la pression primaire contribuent à faire diminuer le RFTC. L'augmentation maximale de débit vapeur est de □ % du débit vapeur nominal.

Après l'AAR sur bas RFTC et la chute de grappes à [] secondes, la puissance, la pression et la température primaires diminuent. Le RFTC physique [] minimum [] est atteint peu après la chute des grappes à 120,5 secondes []. Cette valeur étant supérieure au critère de 1, il n'y a pas de risque de crise d'ébullition.

L'AAR provoque le déclenchement turbine et consécutivement une forte montée en pression dans les générateurs de vapeur. Cette montée en pression alors que le point de consigne du GCT continue à diminuer entraîne une plus grande ouverture des vannes du GCT et donc une forte diminution de la pression secondaire. L'atteinte du signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX1p) conduit à la fermeture des VIV.

En considérant un RFTC initial calé sur l'alarme DNB LCO [], la puissance linéique maximale atteint [] W/cm à 120,6 secondes. Elle reste inférieure à 590 W/cm et permet donc de respecter le critère d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible.

L'AEDV étant un transitoire de refoiissement conduisant à une baisse de la pression primaire, les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées. L'intégrité du RDP est donc garantie.

Les critères techniques d'acceptation liés à l'intégrité du RDP et de la première barrière (absence de crise d'ébullition et absence de fusion à cœur des pastilles) sont vérifiés (§ 2.).

L'état post-AAR de la configuration en puissance étant couvert par l'étude à puissance nulle, puisque l'atteinte de l'état contrôlé est vérifiée dans le cadre de l'étude du transitoire à puissance nulle (§ 4.1.2.), il le sera également dans la cadre de l'étude en puissance.

Analyse de la prolongation de cycle

Le point limite à 100% PN (température primaire minimale) du domaine de fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par le transitoire réalisé en cycle naturel car il est initié à une température primaire inférieure (pour un même niveau de puissance et une pression primaire identique, voir sous-chapitre 15.1), ce qui est favorable vis-à-vis du RFTC.

Les conditions thermohydrauliques initiales en prolongation de cycle (puissance et température primaires abaissées) sont globalement favorables vis-à-vis du RFTC (car leur effet conjugué prédomine sur l'effet de la diminution de pression initiale).

Il n'y a pas d'impact lié aux données neutroniques, car celles retenues pour l'étude en cycle naturel couvrent la prolongation de cycle.

Par conséquent, les critères techniques d'acceptation présentés dans le § 2. sont respectés pour les pas de fonctionnement en prolongation de cycle à puissance abaissée.

4.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Lors de l'entrée en Conduite Incidentelle Accidentelle, l'état du réacteur est rappelé ci-dessous :

- Les pompes primaires sont en fonctionnement.
- Le réacteur est en arrêt à chaud, les grappes de contrôle et d'arrêt sont insérées dans le cœur et le déclenchement de la turbine a eu lieu.
- L'évacuation de la puissance du cœur est assurée par les GV.
- Si l'eau alimentaire normale a été isolée automatiquement, suite à la sollicitation des signaux de haut niveau GV, de baisse rapide de pression secondaire ou de basse pression secondaire, les GV ne sont plus alimentés ou sont alimentés par l'ASG. En effet, l'ASG peut avoir démarré automatiquement, GV par GV, si le niveau d'eau a atteint le seuil MIN2p après isolement de l'ARE.
- La vapeur produite par la puissance échangée est évacuée par les VDA (ou par le GCT s'il est disponible, dans le cas où aucun signal d'isolement des lignes vapeur n'a été préalablement émis). La pression secondaire suit à terme la pression de consigne des VDA.

- La température du fluide primaire est légèrement supérieure à la température de saturation du fluide secondaire.

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent la première information significative.

L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle est consécutive au signal d'AAR sur bas niveau GV, basse pression primaire ou secondaire ou sur baisse rapide de pression secondaire. Pour les situations ne sollicitant pas ces signaux de protection, l'opérateur peut être informé d'une dégradation du fonctionnement de la tranche par une alarme indiquant par exemple une augmentation de la puissance thermique du cœur ou une diminution du niveau de la bêche d'alimentation.

La Conduite Incidentelle/Accidentelle peut orienter l'opérateur vers des conduites différentes, selon l'état du réacteur.

4.2.1. CONDUITE ACCIDENTELLE

Si une fonction d'état de la tranche est dégradée, notamment si l'écart de pression entre GV non isolés est supérieur à ΔP , ou si la puissance nucléaire n'est pas nulle, alors l'opérateur est orienté vers une conduite accidentelle.

Stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire

Si la puissance du cœur est non nulle lors de l'entrée en Conduite Accidentelle/Incidentelle, l'opérateur est orienté dans le diagnostic automatique en conduite accidentelle vers la séquence de « Stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire » sur un critère de flux \dot{Q} .

Une borication du circuit primaire est réalisée par le RBS.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains ΔP . L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture ΔP des vannes d'isolement et de régulation.

Le module « contrôle de la température primaire » demande une stabilisation de la pression GV à la pression atteinte par la vanne de contrôle du VDA sur les GV utilisables.

On sortira de la stratégie « Stabilisation Contrôle de la puissance nucléaire » une fois la concentration en bore requise atteinte.

L'opérateur est alors réorienté vers les stratégies « Passage en Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » ou « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité ».

Passage en arrêt à froid sans IS

Si aucun train IS n'est en service, la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » est demandée.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains ΔP . L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture manuelle des vannes d'isolement et de régulation.

L'objectif de la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » est de refroidir et dépressuriser la tranche afin de rejoindre les conditions de connexion des trains RIS/RA en mode RA.

La borication du circuit primaire est réalisée par le RBS tant que le volume de bore assurant la concentration en bore requise n'a pas été injecté.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS en service et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid n'a pas été injecté et si un seul train RBS est en service,
- 50°C/h si le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid a été injecté ou si 2 trains RBS sont en service.

Une dépressurisation du circuit primaire est initiée tant que la pression primaire est supérieure à \square . Les accumulateurs sont isolés au cours de la dépressurisation \square .

Le refroidissement contrôlé est effectué par l'opérateur tant que les critères d'activation du permissif P14 ne sont pas atteints. Dès lors que les conditions d'activation du permissif P14 sont remplies, l'opérateur connecte les trains RIS-RA en mode RA.

Passage en arrêt à froid avec IS

Si au moins un train IS est en service, la procédure « Passage à l'Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » est demandée.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains \square . L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture \square des vannes d'isolement et de régulation.

L'objectif de la procédure « Passage en Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » est d'abaisser la pression de refoulement des trains ISMP en service par l'ouverture de la grande ligne à débit minimum pour pouvoir dépressuriser et ainsi rejoindre les conditions de connexion des trains RIS/RA en mode RA.

La borication du circuit primaire est réalisée par le RBS tant que le volume de bore assurant la concentration en bore requise n'a pas été injecté.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS en service et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid n'a pas été injecté et si les 2 trains RBS ne sont pas en service ;
- 50°C/h si le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid a été injecté ou si 2 trains RBS sont en service.

Pendant le refroidissement, pour permettre la dépressurisation du circuit primaire, les pompes ISMP sont basculées séquentiellement sur leurs grandes lignes à débit minimum tout en respectant un critère de marge à la saturation qui garantit la sous-saturation du fluide primaire après le basculement.

La pression primaire étant stable, les GMPP ne sont pas arrêtées avant le basculement de la dernière pompe ISMP sur sa grande ligne à débit minimum. La dernière pompe ISMP est basculée sur un critère de température en sortie cœur \square garantissant une bonne marge à la saturation après le basculement.

La mise à l'arrêt totale de l'IS est ensuite réalisée, le permissif P14 n'étant pas présent.

Une dépressurisation du circuit primaire par l'aspersion normale est initiée tant que la pression primaire est supérieure à \square .

Les accumulateurs sont isolés au cours de la dépressurisation \square .

Dès que la pression primaire est inférieure \square une stabilisation de la pression à la valeur atteinte est réalisée.

Lorsque les critères d'activation sont atteints, l'opérateur valide le permissif P14. Ensuite, en fonction du nombre de trains RIS/RA en service en mode IS et de la marge à la saturation, l'opérateur peut demander le basculement d'un train RIS/RA non requis en mode IS en mode RA.

4.2.2. CONDUITE INCIDENTELLE

Si aucun des critères d'entrée en Conduite Accidentelle n'est atteint, l'opérateur est orienté en Conduite Incidentelle vers la stratégie « Stabilisation en Conduite Incidentelle », dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Parallèlement, le module « Contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte par l'ARE ou l'ASG.

L'état ainsi obtenu est un état stabilisé. L'opérateur reste dans cette phase de stabilisation jusqu'à ce que le critère « somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN » soit atteint (on suppose que les bâches ASG ne peuvent pas être réalimentées), l'opérateur arrête alors trois GMPP sur quatre avant d'être orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle ».

Dès lors, l'opérateur effectue une borication du circuit primaire en utilisant le RBS et injecte un volume de bore assurant la concentration en bore requise. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS en service, du niveau pressuriseur et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si un seul train RBS est en service ou si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,
- 50°C/h si le volume bore assurant à la concentration en bore requise a été injecté et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

Le niveau d'eau dans les GV est maintenu à la valeur nominale grâce à l'ASG. En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG, et dans la mesure où le GV associé est toujours utilisable, la surveillance de l'efficacité de l'ASG aura permis d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné. L'opérateur sera chargé de commander les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

Dans le cas où le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été complètement injecté, la borication est arrêtée. Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants.

Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale si elle est disponible ou les soupapes du pressuriseur si les moyens d'aspersion ne sont pas disponibles.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square .

Lorsque les conditions requises sont atteintes, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée.

4.2.3. Conclusion pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr

Dans la situation d'une conduite incidentelle :

La conduite incidentelle la plus pénalisante vis-à-vis de la consommation d'eau ASG est celle qui nécessite d'atteindre le seuil de bas niveau des bâches ASG avant d'engager le refroidissement. En conduite incidentelle, les moyens disponibles pour atteindre l'état d'arrêt sûr sont identiques à ceux de l'étude de la Perte de l'Eau Alimentaire Normale (voir section 15.2.2i) pour laquelle un calcul explicite permet de montrer que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

La consommation d'eau ASG évaluée dans l'étude de Rupture de Tuyauterie Vapeur (section 15.2.4b) couvre les transitoires de la présente section 15.2.2d du fait d'un retour en puissance plus élevé. L'étude de RTV démontre que, malgré le retour en puissance et l'ASG consommé, il est toujours possible d'entrer en conduite incidentelle et de suivre une conduite similaire à la Perte de l'Eau Alimentaire Normale.

Cette même conclusion est donc également valable pour les transitoires de la présente section 15.2.2d. Cette conduite permet donc d'atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Dans la situation d'une conduite accidentelle :

La conduite accidentelle la plus pénalisante vis à vis de la consommation d'eau ASG est la conduite de « Stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire » qui nécessite une phase de stabilisation avant d'entamer le refroidissement.

L'étude de Rupture de Tuyauterie Vapeur (section 15.2.4b) démontre que le temps requis pour injecter le volume de bore assurant la concentration en bore de l'arrêt à froid est couvert par l'étude de Rupture de Tuyauterie d'Eau Alimentaire (RTE) – section 15.2.4c. Or ce temps calculé dans l'étude de RTV couvre les transitoires de la présente section 15.2.2d. En conséquence, le temps requis pour atteindre la concentration en bore de l'arrêt à froid de la présente section 15.2.2d est couvert par l'étude de RTE.

L'étude de Rupture de Tuyauterie Vapeur (section 15.2.4b) démontre que la consommation d'eau ASG est enveloppée par l'étude de Rupture de Tuyauterie d'Eau Alimentaire (RTE) – section 15.2.4c. Or la consommation d'eau ASG évaluée dans l'étude de RTV couvre les transitoires de la présente section 15.2.2d du fait d'un retour en puissance plus élevé. En conséquence, la consommation d'eau ASG de la présente section 15.2.2d est couverte par l'étude de RTE.

Les moyens disponibles pour atteindre l'état d'arrêt sûr (VDA, ASG, RBS, aspersion normale, soupapes de sûreté du pressuriseur, pour ne citer que les moyens F1) sont identiques à ceux disponibles pour l'étude de la RTE en état A, pour laquelle un calcul explicite permet de montrer que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Par conséquent, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 0,99$) et les rejets radiologiques restent tolérables puisqu'il n'y a pas de retour en criticité et que l'intégrité du RDP est assurée. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 2. est donc respecté.

5. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque De Tension Externe) sur le transitoire d'augmentation excessive de débit vapeur lorsque le réacteur est initialement en puissance et à puissance nulle. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des instants suivants : instant initial, instant de l'AAR ou instant du signal IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont valorisés dans cette analyse et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré pour le cas initié en puissance.

5.1. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter pour les études de transitoire PCC-2 avec cumul du MDTE sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation pour ce PCC-4 sont les suivants :

Des dommages limités sur certains assemblages combustible sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482° C, pour les transitoires rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion

En pratique, dans l'étude initiée à puissance nulle, les critères techniques d'acceptation liés à l'absence de dommage sur les crayons combustible (absence de crise d'ébullition et absence de fusion à cœur des pastilles) sont vérifiés par le non-retour en criticité.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

5.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

5.2.1. Méthodes et codes de calcul

5.2.1.1. Méthodes d'étude

5.2.1.1.1. Etude de l'AEDV à puissance nulle

L'ouverture intempestive d'une vanne GCT est traitée par argumentaire.

La défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation est traitée :

- par simulation d'un transitoire \square duquel sont extraites les évolutions de la température modérateur en entrée cœur avant mélange et de la concentration en bore en entrée cœur avant mélange,
- puis par comparaison de ces évolutions à une limite en sous-criticité calculée en configuration Toutes Grappes Insérées dans un plan (CB, T). \square .

Le refroidissement partiel intempestif est traité :

- par simulation d'un transitoire \square duquel sont extraites les évolutions de la température modérateur en entrée cœur avant mélange et de la concentration en bore en entrée cœur avant mélange,
- puis par comparaison de ces évolutions à une limite en sous-criticité calculée en configuration Toutes Grappes Insérées Moins Une dans un plan (CB, T). \square .

5.2.1.1.2. Etude de l'AEDV en puissance



5.2.1.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION

Les actions de protection et mitigation sont identiques aux cas sans cumul du MDTE présentées au § 4.1.1.2. à l'exception de l'action suivante intervenant uniquement dans le cas avec MDTE :

- mise en service de l'ASG dans tous les GV sur :
 - signal IS + MDTE.

5.2.2. Réacteur initialement à puissance nulle

5.2.2.1. Détermination des limites en sous-criticité TGI-1 et TGI

Ce paragraphe est relatif à l'établissement des données neutroniques permettant de vérifier l'absence de retour en criticité pour les initiateurs suivants, cumulant le MDTE :

- refroidissement partiel intempestif (§ 5.2.2.2.)
- défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation. (§ 5.2.2.4.)

Pour les cas avec MDTE, la vérification du non-retour en criticité se base sur la construction d'une limite en sous-criticité telle que définie au § 4.1.2.1., en configuration :

- TGI-1 pour l'initiateur de refroidissement partiel intempestif,
- TGI pour l'initiateur de défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation.

La vérification du non-retour en criticité s'effectue en comparant les évolutions des paramètres (concentration en bore en entrée cœur avant mélange, température modérateur en entrée cœur avant mélange) issues du transitoire thermohydraulique à cette limite en sous-criticité. Par conservatisme, la concentration en bore en entrée cœur minimale avant mélange et la température modérateur en entrée cœur minimale avant mélange des quatre boucles sont considérées. Dès lors que l'évolution de ce couple (concentration en bore, température) se situe dans la zone pour laquelle le cœur est sous-critique, les critères techniques d'acceptation définis au § 5.1. sont vérifiés.

5.2.2.2. Déclenchement intempestif du refroidissement partiel

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE sur le transitoire de déclenchement intempestif du refroidissement partiel initié à puissance nulle. Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant le plus pénalisant parmi : l'instant initial, l'instant de l'AAR et l'instant du signal IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont valorisés dans la démonstration de sûreté.

Un bilan de réactivité est réalisé afin de démontrer le non retour en criticité du cœur.

Un transitoire thermohydraulique en cycle naturel est réalisé afin de comparer les évolutions des paramètres (concentration en bore en entrée cœur avant mélange, température modérateur en entrée cœur avant mélange) à la limite en sous-criticité TGI-1 enveloppe de tous les cycles de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse.

5.2.2.2.1. Instant du cumul du MDTE

Le MDTE est postulé à l'instant d'émission du signal IS qui est l'instant le plus tardif du transitoire, afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire avant l'instant d'occurrence du MDTE.

5.2.2.2.2. État initial

Les conditions initiales des principaux paramètres sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.3](#).

Un déclenchement intempestif du refroidissement partiel par le GCT est considéré car celui-ci présente un point de consigne de fin de refroidissement partiel plus bas que par les VDA ce qui provoque un refroidissement primaire plus important.

Les hypothèses visent à maximiser le refroidissement primaire par l'intermédiaire du GCT et du fonctionnement de l'ASG tout en minimisant l'injection de bore dans le circuit primaire par l'intermédiaire du RIS et du RBS.

L'état initial considéré est un état initial à puissance nulle. La température moyenne primaire initiale est celle de l'état A à puissance nulle, sans incertitude. L'incertitude sur la température modérateur est prise en compte dans le calcul de la limite en sous-criticité.

La pression et le niveau d'eau initiaux dans le pressuriseur sont maximisés afin de ralentir la dépressurisation primaire, et en conséquence retarder l'obtention du signal de mise en service du RBS et du signal IS et donc l'injection de bore par ces systèmes.

La concentration en bore du primaire est initialement nulle.

Le débit primaire initial est pris maximal (débit mécanique). Un débit maximal permet de favoriser l'échange primaire / secondaire en situation de perte de débit suite au MDTE.

Les tubes des GV sont considérés propres et sans bouchage afin de majorer l'échange primaire / secondaire et le refroidissement primaire.

Le niveau GV initial est pris minimal afin de minimiser l'inventaire en eau dans les GV au moment du démarrage de l'ASG sur signal IS + MDTE. Cette hypothèse permet de prolonger la durée de fonctionnement de l'ASG entre son démarrage et son isolement.

5.2.2.2.3. Choix de l'aggravant unique et de la maintenance préventive

L'aggravant le plus pénalisant associé à ce transitoire est le blocage de la grappe la plus anti-réactive hors du cœur.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet événement. En effet, aucun système de sûreté classé F1 favorable pour le transitoire et concerné par la maintenance préventive n'est sollicité au cours de cette phase de calcul. En particulier, la maintenance préventive sur l'IS n'est pas considérée du fait de l'absence d'injection de bore par l'intermédiaire de l'IS.

5.2.2.2.4. Hypothèses cœur

La puissance initiale considérée dans le cœur est de \square . La puissance résiduelle n'est pas considérée de manière à accentuer le refroidissement du fluide primaire.

5.2.2.2.5. Hypothèses systèmes fluides et régulations

GMPP

La courbe de décroissance du débit primaire est pénalisée de manière à avoir la décroissance la plus longue afin de conserver le plus longtemps possible l'échange entre le circuit primaire et le circuit secondaire suite au MDTE.

RIS

Le système RIS n'est pas considéré en raison de l'absence d'injection de bore par son intermédiaire. En effet, les conditions d'injection IS relatives à la pression primaire ne sont pas atteintes en transitoire.

RBS

Un débit d'injection minimal [] par train à une température minimale [] est considéré. La concentration en bore du RBS est prise minimale [].

Un même train RBS injectant dans deux boucles différentes, une dissymétrie de répartition des débits entre ces deux boucles reliées au même train est considérée. La répartition de débit RBS suivante est retenue de manière pénalisante :

[]

RCV

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur est supposée fonctionner afin de limiter la contraction du fluide primaire induite par le refroidissement. Sa prise en compte retarde la baisse du niveau et tend à différer voire empêcher l'émission du signal de démarrage du RBS et du signal IS sur « Basse pression pressuriseur » et donc l'injection de bore. Si le niveau du pressuriseur devient inférieur à la valeur de la consigne diminuée [], la 2ème pompe de charge est automatiquement mise en service. La ligne de décharge est automatiquement isolée lorsque le niveau pressuriseur devient inférieur au seuil MIN2. La charge injecte dès le début de l'accident à une température minimale [] afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire.

Aspersion normale et Chauffelettes

La régulation de la pression du pressuriseur est supposée fonctionner afin de limiter la chute de pression primaire et donc retarder l'émission du signal de démarrage du RBS sur « Basse pression pressuriseur ». Les chauffelettes sont arrêtées lorsque le niveau du pressuriseur devient inférieur au seuil MIN3.

ARE

Le débit ARE en Arrêt à chaud permettant d'évacuer la puissance thermique des GMPP est considéré. L'alimentation en eau des GV par l'intermédiaire de l'ARE devient inopérante suite au MDTE.

La température de l'eau alimentaire considérée est prise minimale [].

Débit ASG

Un débit d'ASG maximal est considéré avec une température minimale [].

GCT

La régulation de pression au GCT est supposée fonctionner correctement suite au démarrage du refroidissement partiel. L'ouverture des vannes GCT permet d'assurer un gradient de refroidissement primaire [].

Autres hypothèses

Les coefficients de mélange dans la cuve sont issus des essais []. On retient les hypothèses qui limitent le mélange des boucles dans la cuve, afin d'obtenir une zone la plus froide possible à l'entrée du cœur (voir tableau [TAB-15.2.2d.3](#)).

5.2.2.2.6. Hypothèses protections

Les hypothèses relatives au système de protection sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.2d.4](#).

Le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur a lieu sur :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN2p []

Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'AAR.

- délai total maximal jusqu'à l'émission du signal [] .

Les signaux d'isolement de l'eau alimentaire normale, isolement des lignes à petit débit de l'ARE, ne sont pas considérés du fait de l'hypothèse de d'alimentation en eau des GV par le débit ARE en Arrêt à chaud (lignes à petit débit ARE).

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques :
 - seuil MAX1p : []
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
 - []
- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN1p []
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement des lignes vapeur.
 - []

Le démarrage du RBS est activé sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN4p []
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 - []
- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN5p []
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 - []

L'injection de sécurité est activée sur :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN3p []
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'émission du signal IS.
 - []

Afin de pénaliser la compétition entre le refroidissement primaire par l'intermédiaire de l'ASG et l'injection de bore par le RBS, le signal IS ainsi que le cumul du MDTE sont postulés, par conservatisme, dès l'atteinte de la consigne de pression de fin de refroidissement partiel par le GCT.

Le démarrage de l'ASG est activé sur :

- le signal « IS + MDTE » (classé F1A) dans tous les GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - signal IS + MDTE postulé en fin de refroidissement partiel par le GCT (voir ci-dessus).

-

L'isolement de l'ASG est réalisé sur :

- le signal de « Haut niveau GV GL » (classé F1A) GV par GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX1p
La prise en compte d'un seuil maximal a pour effet de prolonger la durée de fonctionnement de l'ASG et donc la durée de refroidissement du circuit primaire. L'incertitude procédé n'est pas considérée de manière découplée du fait qu'elle aurait minimisée le seuil.
 -

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur l'un des signaux suivants :

- le signal « IS » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - signal IS postulé en fin de refroidissement partiel par le GCT (voir ci-dessus).
 -
- le signal de « Haut niveau pressuriseur » (classé F1A) avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX1p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
 -
- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MAX2p
 Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement de la charge RCV.
 -

Aucune action manuelle classée F1A n'est considérée 30 minutes après la première alarme significative.

5.2.2.2.7. Traitement de la prolongation de cycle

La consigne de pression de fin de refroidissement partiel par le GCT étant inchangée en prolongation de cycle, un transitoire étudié en prolongation de cycle serait moins pénalisant compte tenu d'une vidange des GV plus faible au moment du démarrage de l'ASG sur signal IS + MDTE par rapport au cycle naturel. Cela provoquerait une durée du fonctionnement de l'ASG plus réduite et donc un refroidissement primaire plus limité qu'en cycle naturel.

5.2.2.2.8. Résultats

Les évolutions des principaux paramètres du transitoire sont présentées des figures [FIG-15.2.2d.1](#) à [FIG-15.2.2d.7](#). Le tableau [TAB-15.2.2d.5](#) présente la séquence des événements.

Suite à l'émission du signal de refroidissement partiel intempestif, la consigne de pression au GCT est abaissée linéairement depuis sa valeur initiale. L'ouverture régulée des vannes GCT entraîne une augmentation du débit vapeur extrait de tous les GV. Une fois la consigne de fin de refroidissement partiel atteinte, la fermeture des vannes GCT est effectuée. La régulation de la pression secondaire peut toutefois provoquer une légère ouverture des vannes afin de maintenir la pression secondaire au niveau de la consigne.

La dépressurisation secondaire sous l'effet du débit vapeur extrait aux GV provoque une extraction de puissance du circuit primaire et une baisse de la température primaire. La contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et de la pression

primaire. La baisse du niveau dans le pressuriseur conduit à une réduction du débit de décharge et une augmentation du débit de charge provenant du RCV.

La baisse de pression primaire provoque l'émission du signal de démarrage du RBS sur « Basse pression dans le pressuriseur ».

Le signal IS ainsi que le cumul du MDTE sont postulés dès l'atteinte de la consigne de pression de fin de refroidissement partiel par le GCT. L'émission du signal IS provoque l'isolement de la charge RCV. Le cumul du MDTE entraîne la perte des GMPP ainsi que la perte des pompes d'alimentation ARE.

Le démarrage de l'ASG est effectué dans les 4 GV sur signal « IS + MDTE ». Le fonctionnement de l'ASG se poursuit jusqu'à son isolement GV par GV sur signal de « Haut niveau GV GL ».

Sous l'effet du fonctionnement de l'ASG, l'extraction de puissance du circuit primaire et la baisse de la température primaire se poursuivent jusqu'à l'isolement de l'ASG. La température minimale dans les branches froides est alors atteinte.

Les conditions d'injection IS n'étant pas atteintes, l'injection de bore dans le circuit primaire s'effectue par l'intermédiaire du RBS uniquement.

Les évolutions des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) sont présentées et comparées à la limite en sous-criticité en configuration TGI-1 enveloppe de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse en figure [FIG-15.2.2d.8](#). Cette évolution montre l'absence de retour en criticité pour le transitoire de refroidissement partiel intempestif avec cumul du MDTE.

5.2.2.3. Ouverture intempestive d'une vanne GCT

L'ouverture intempestive d'une vanne GCT provoque une dépressurisation incontrôlée du secondaire. Elle est interrompue par la fermeture des vannes d'isolement vapeur sur seuil de « Basse pression secondaire » ou « Baisse rapide de pression secondaire ».

En cas de retour en puissance, l'aggravant le plus pénalisant associé à ce transitoire est le blocage de la grappe la plus anti-réactive hors du cœur.

Ce transitoire est couvert par l'incident d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA en état A, traité dans la section 15.2.3d du présent Rapport de Sûreté, avec le même aggravant. Cet incident PCC-3 vérifie des critères plus restrictifs que ceux décrits dans le [§ 5.1.](#) Ce dernier est enveloppe car il présente une capacité de refroidissement plus forte et un isolement du VDA à une pression plus faible. La conclusion peut-être reconduite en prolongation de cycle une fois les seuils de « Basse pression secondaire » abaissés. En effet, les seuils d'isolement du VDA et d'isolement vapeur sont abaissés d'un même écart de pression GV, respectivement à \square bar abs.

Après la fermeture des vannes d'isolement vapeur, la pression remonte dans les GV. La puissance résiduelle est évacuée par les GV en fonctionnement sur petit débit ARE (où à terme, si l'ARE est isolée, par l'ASG qui démarrera sur bas niveau dans les GV), les paramètres thermo-hydrauliques se stabilisent.

5.2.2.4. Défaillance à la fermeture du VDA après sa sollicitation

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE sur le transitoire de défaillance à la fermeture de la vanne réglante d'un VDA suite à sa sollicitation après un AAR. Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant le plus pénalisant parmi : l'instant initial, l'instant de l'AAR et l'instant du signal IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté.

Un bilan de réactivité est réalisé afin de démontrer le non-retour en criticité du cœur.

Un transitoire thermohydraulique en cycle naturel et un transitoire en prolongation de cycle sont réalisés afin de comparer leurs évolutions respectives des paramètres (concentration en bore en

entrée cœur avant mélange, température modérateur en entrée cœur avant mélange) à la limite en sous-criticité TGI enveloppe de tous les cycles de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse.

5.2.2.4.1. Instant du cumul du MDTE

Le MDTE est postulé à l'instant d'émission du signal IS qui est l'instant le plus tardif du transitoire, afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire avant l'instant d'occurrence du MDTE.

5.2.2.4.2. État initial

Pour le transitoire en cycle naturel :

L'état initial considéré est identique à celui considéré pour l'analyse sans cumul du MDTE (voir § 4.1.2.4.1.). Les conditions initiales des principaux paramètres en cycle naturel sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.14](#).

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

L'état initial considéré est identique à celui considéré pour l'analyse sans cumul du MDTE (voir § 4.1.2.4.1.). Les conditions initiales des principaux paramètres en milieu de prolongation de cycle sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2d.15](#).

5.2.2.4.3. Choix de l'aggravant unique et de la maintenance préventive

Par définition du transitoire, l'aggravant est la défaillance à la fermeture de la vanne réglante du VDA. Le VDA défaillant est supposé être associé au GV 1.

En conséquence, aucun aggravant relatif au blocage d'une grappe hors du cœur après l'AAR n'est considéré. La configuration de grappes après AAR est donc une configuration TGI.

Une maintenance préventive est considérée sur une pompe ISMP. Le train ISMP en maintenance est positionné sur la même boucle que le GV affecté afin de minimiser l'apport en bore dans le quart de cœur le plus froid.

Ces hypothèses sont identiques à celles considérées pour l'analyse sans cumul du MDTE (voir § 4.1.2.4.2.).

5.2.2.4.4. Hypothèses cœur

Les hypothèses relatives à la puissance cœur initiale en cycle naturel et prolongation de cycle ainsi que les hypothèses relatives à la puissance cœur post-AAR sont identiques à celles considérées pour l'analyse sans cumul du MDTE (voir § 4.1.2.4.3.).

5.2.2.4.5. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Sauf mention contraire, les hypothèses relatives aux systèmes fluides et aux régulations sont reconduites de l'analyse sans cumul du MDTE (voir § 4.1.2.4.4.). Les hypothèses spécifiques considérées pour l'analyse avec cumul du MDTE sont listées ci-dessous.

GMPP

La courbe de décroissance du débit primaire est pénalisée de manière à avoir la décroissance la plus longue afin de conserver le plus longtemps possible l'échange entre le circuit primaire et le circuit secondaire suite au MDTE.

Aspersion normale et Chauffelettes

L'aspersion normale devient inopérante lorsque les pompes primaires s'arrêtent lors du cumul du MDTE.

5.2.2.4.6. Hypothèses protections

Sauf mention contraire, les hypothèses relatives aux protections du réacteur sont reconduites de l'analyse sans cumul du MDTE (voir § 4.1.2.4.5.). Les hypothèses spécifiques considérées pour l'analyse avec cumul du MDTE sont listées ci-dessous et sont présentées respectivement dans les

tableaux [TAB-15.2.2d.18](#) et [TAB-15.2.2d.19](#) pour le transitoire en cycle naturel et le transitoire en milieu de prolongation de cycle.

Pour le transitoire en cycle naturel :

L'injection de sécurité est activée sur :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN3p
Les incertitudes sont prises de manière à permettre l'émission du signal IS afin de cumuler le MDTE. L'analyse sans cumul du MDTE a montré que la prise en compte d'une incertitude de pression pressuriseur négative empêchait l'émission du signal IS (voir [§ 4.1.2.4.5.](#) et [§ 4.1.2.4.6.](#)).
 -

Le démarrage du RBS est activé sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN4p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 -
- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN5p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 -

Le démarrage de l'ASG est activé sur l'un des signaux suivants :

- le signal « IS+MDTE » (classé F1A) dans tous les GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil identique au signal IS
 -
- le signal « Bas niveau GV GL » (classé F1A) GV par GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - • Seuil MIN2p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage de l'ASG afin de maximiser la durée de fonctionnement de l'ASG entre son démarrage et son isolement.
 -

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

L'injection de sécurité est activée sur :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN3p
Les incertitudes sont prises de manière à permettre l'émission du signal IS afin de cumuler le MDTE. L'analyse sans cumul du MDTE a montré que la prise en compte d'une incertitude de

pression pressuriseur négative empêchait l'émission du signal IS (voir [§ 4.1.2.4.5.](#) et [§ 4.1.2.4.6.](#)).

-

Le démarrage du RBS est activé sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN4p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 -
- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN5p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 -

Le démarrage de l'ASG est activé sur l'un des signaux suivants :

- le signal « IS+MDTE » (classé F1A) dans tous les GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil identique au signal IS
 -
- le signal « Bas niveau GV GL » (classé F1A) GV par GV, avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil Min2p
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage de l'ASG afin de maximiser la durée de fonctionnement de l'ASG entre son démarrage et son isolement
 -

5.2.2.4.7. Résultats

Pour le transitoire en cycle naturel :

Les évolutions des principaux paramètres du transitoire sont présentées des figures [FIG-15.2.2d.58](#) à [FIG-15.2.2d.65](#). Le tableau [TAB-15.2.2d.20](#) présente la séquence des événements.

Suite à l'Arrêt automatique du réacteur et au déclenchement turbine, la pression secondaire augmente sous l'effet de l'évacuation de la puissance thermique des GMPP. L'ouverture des vannes d'isolement des VDA sur signal de « Haute pression secondaire » entraîne une forte augmentation du débit vapeur extrait de tous les GV. Ce débit diminue rapidement sous l'effet de la fermeture des vannes réglantes des VDA associées aux GV sains. L'extraction de vapeur s'effectue alors dans les 4 GV par l'intermédiaire du VDA défaillant jusqu'à l'isolement des lignes vapeur sur signal de « Basse pression secondaire ». Cette extraction se poursuit uniquement dans le GV affecté (GV 1) jusqu'à l'isolement du VDA sur signal de « Basse pression secondaire ».

La diminution du niveau GV s'accélère après l'ouverture des VDA provoquant le démarrage de l'ASG sur signal de « Bas niveau GV GL ». L'augmentation du niveau dans les GV se poursuit jusqu'à l'isolement de l'ASG sur signal de « Haut niveau GV GL ».

La dépressurisation secondaire provoque une extraction de puissance du circuit primaire et une baisse de la température primaire. La contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et de la pression primaire. La baisse du niveau dans

le pressuriseur conduit à une réduction du débit de décharge et une augmentation du débit de charge provenant du RCV.

La baisse de pression primaire provoque l'émission successive du signal de démarrage du RBS puis du signal IS sur « Basse pression dans le pressuriseur ». Le manque de tension externe intervient lors de l'émission du signal IS provoquant l'arrêt des GMPP et la diminution du débit primaire. La mise en service de l'ASG étant intervenue auparavant sur signal de « Bas niveau GV GL », l'émission du signal « IS + MDTE » n'a pas d'impact sur le fonctionnement de l'ASG. L'isolement de la charge RCV s'effectue sur signal IS.

La baisse de la température primaire se poursuit jusqu'à l'isolement de l'ASG. La température minimale dans les branches froides est alors atteinte.

L'évolution des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) est présentée et comparée à la limite en sous-criticité en configuration TGI enveloppe de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse en figure [FIG-15.2.2d.66](#). Cette évolution montre l'absence de retour en criticité pour le transitoire de défaillance à la fermeture de la vanne réglante d'un VDA suite à sa sollicitation après un AAR initié en cycle naturel avec cumul du MDTE.

La température minimale atteinte est plus basse pour la situation avec cumul du MDTE. Cet effet s'explique par la puissance thermique des GMPP qui n'est plus dissipée dans le circuit primaire une fois que le MDTE est intervenu. Cette pénalisation provoquée par le cumul du MDTE est néanmoins limitée puisque ce scénario démontre le non-retour en criticité.

Pour le transitoire en prolongation de cycle :

Les évolutions des principaux paramètres du transitoire sont présentées des figures [FIG-15.2.2d.67](#) à [FIG-15.2.2d.74](#). Le tableau [TAB-15.2.2d.21](#) présente la séquence des événements.

Les évolutions des paramètres (concentration en bore minimale en entrée cœur avant mélange, température modérateur minimale en entrée cœur avant mélange) sont présentées et comparées à la limite en sous-criticité en configuration TGI enveloppe de la première gestion FA3 du début de cycle jusqu'à la prolongation de cycle incluse en figure [FIG-15.2.2d.75](#). Cette évolution montre l'absence de retour en criticité pour le transitoire de défaillance à la fermeture de la vanne réglante d'un VDA suite à sa sollicitation après un AAR initié en prolongation de cycle avec cumul du MDTE.

5.2.2.5. Conclusion sur les cas initiés à puissance nulle

Pour l'ensemble des cas initiés à puissance nulle avec cumul du MDTE (refroidissement partiel intempestif et défaillance à la fermeture d'une vanne VDA après sa sollicitation), le cœur est maintenu à l'état sous-critique. Les critères d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont donc respectés.

Pour le transitoire d'ouverture intempestive d'une vanne GCT, l'absence de crise d'ébullition et de fusion du combustible est démontrée.

Le respect des critères liés aux dommages sur les assemblages combustibles garantit des rejets radiologiques tolérables.

Par ailleurs, l'évacuation de la puissance est assurée par les générateurs de vapeur (ASG et VDA). L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est donc atteint.

Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 5.1](#). sont respectés.

5.2.3. Réacteur initialement en puissance

5.2.3.1. Instant du cumul du MDTE

□

5.2.3.2. Choix de l'aggravant unique et de la maintenance préventive

La grappe la plus anti-réactive est supposée bloquée hors du cœur.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet événement, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

5.2.3.3. Etat initial

On suppose le réacteur initialement à puissance maximale, en cycle naturel.

Les valeurs initiales de puissance, température et pression primaire, niveau pressuriseur et niveau GV considérées visent à pénaliser les marges vis-à-vis de la crise d'ébullition. □.

Les conditions initiales sont présentées au tableau [TAB-15.2.2d.24](#).

5.2.3.4. Hypothèses spécifiques

1) Données neutroniques et puissance résiduelle

□

Les données neutroniques sont issues du sous-chapitre 15.1. Elles sont enveloppes de tous les cycles de la gestion du combustible et couvrent la prolongation de cycle.

L'impact du coefficient de densité modérateur est analysé. Il est pris soit minimum soit maximum.

Afin de maximiser l'accroissement de flux nucléaire :

- le coefficient Doppler puissance est pris minimum en valeur absolue,
- le coefficient Doppler température est pris :
 - maximum en valeur absolue pour les cas de simulation ne prenant pas en compte la régulation de température primaire par les grappes (la température décroît dans ces transitoires),
 - minimum en valeur absolue pour les cas de simulation prenant en compte la régulation de température primaire par les grappes,
- les coefficients de chaleur combustible – réfrigérant sont pris maximaux.

En outre afin de maximiser la puissance cœur après AAR, donc la diminution du RFTC, on retient les hypothèses suivantes :

- temps de chute des grappes maximal avec séisme □,
- loi de puissance résiduelle (B+C) augmentée □.

2) Hypothèses liées aux régulations

- ARE :

Le débit ARE peut être considéré constant égal à sa valeur initiale ou variable et égal au débit vapeur en transitoire.

Suite au cumul du MDTE, les pompes APA s'arrêtent. On considère que le débit ARE reste constant □ après le MDTE. Le débit ARE est pris nul après ce délai.
- Régulation de température :

La régulation de température par les grappes peut s'avérer pénalisante. En effet le refroidissement peut entraîner une extraction des grappes tant que l'effet de déséquilibre de puissance entre le primaire et le secondaire ne l'emporte pas sur l'effet de déséquilibre de température. Son impact est donc analysé et pris en compte s'il s'avère pénalisant. □.
- La limitation « Bas RFTC » qui génère un arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge turbine peut être atteinte lors du transitoire, mais elle n'est pas valorisée.
- GMPP

Les pompes primaires sont arrêtées dès l'instant du cumul du MDTE (postulé à l'instant du franchissement du seuil d'AAR par « Bas RFTC »). La courbe de décroissance de débit primaire est pénalisée de manière à avoir la décroissance la plus rapide.

- Le débit à la turbine est constant jusqu'au déclenchement de la turbine.
- Les autres systèmes de contrôle ne sont pas considérés, car ils ont soit un effet bénéfique soit aucun effet sur l'événement.

3) Hypothèses protections

- Les signaux d'AAR modélisés sont :
 - Le signal « Bas RFTC » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil étude : \square .
 \square
 - Le signal « Puissance thermique élevée » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil étude : \square % PN.
 \square
 - Le signal « Puissance linéique élevée » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil étude : \square W/cm.
 \square
 - Le signal « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil étude : Max0p \square .
Ecart consigne /mesure \square .
Consigne max : \square .
 \square
 - Le signal « Basse Pression Pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil MIN2p \square
 \square
 - Le signal « Taux élevé d'augmentation du flux » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
Seuil étude \square .
 \square
- Isolement vapeur (F1A) :
Les vannes d'isolement vapeur sont fermées sur signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (MAX1p \square). Le point de consigne de ce signal est réglé \square en dessous de la pression du GV, avec une valeur maximale de \square bar abs. \square .
- Isolement ARE (F1A) :
La fermeture de la ligne grand débit ARE se fait en \square secondes sur signal de compte rendu d'AAR. D'autre part le cumul du MDTE entraînant l'arrêt des pompes APA, on considère que le débit ARE reste constant \square après le MDTE. Le débit ARE est pris nul après ce délai.
- VDA (F1A) :
L'ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA se fait sur signal « Haute Pression secondaire » (MAX1p \square) GV par GV. \square .
Le déclenchement de la turbine a lieu avec un retard maximal de \square s après le signal d'AAR.
Les principales hypothèses sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.2d.24](#).

4) Hypothèses pour le calcul thermique

Les calculs de température maximale de gaine et de combustible sont effectués à partir du transitoire décrit ci-dessous pénalisé vis-à-vis du RFTC.

5.2.3.5. Résultats

□

La prise en compte d'un débit ARE constant égal au débit initial, ou variable égal au débit vapeur n'a pas d'impact sur les critères à vérifier. Le transitoire présenté ci-dessous prend en compte un débit ARE constant.

Le tableau [TAB-15.2.2d.25](#) présente la séquence des événements du transitoire de refroidissement partiel interpestif pénalisant. L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2d.81](#) à [FIG-15.2.2d.86](#).

□. Le RFTC minimal est atteint à 123 s ; la puissance thermique vaut alors □ % PN.

□ % des crayons entrent en crise d'ébullition (NCE) au cours du transitoire d'augmentation excessive de débit vapeur avec cumul MDTE, ce qui est inférieur au critère technique d'acceptation relatif aux transitoires PCC-4 (NCE inférieur à 10%).

Les évolutions de la température de la gaine et celle du combustible sont présentées sur la figure [FIG-15.2.2d.87](#). Le maximum de température atteint par la gaine au point chaud est de □ °C, le critère technique d'acceptation concernant la température de la gaine est donc respecté. Le maximum de température atteint par le combustible au point chaud est de □ °C, obtenu en considérant un épuisement maximal du combustible de □ MWj/t. Cette température reste inférieure à la température de fusion du combustible qui vaut □ °C pour du combustible neuf et qui décroît de □. Par conséquent, l'absence de fusion du combustible est assurée.

Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 5.1](#), sont respectés.

La suite de la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé est réalisée dans le cadre de l'étude du transitoire à puissance nulle présentée au [§ 5.2.2](#), qui est enveloppe de cette situation.

Analyse de la prolongation de cycle

Le point limite à 100% PN (température primaire minimale) du domaine de fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par le transitoire réalisé en cycle naturel car il est initié à une température primaire inférieure (pour un même niveau de puissance et une pression primaire identique, voir sous-chapitre 15.1), ce qui est favorable vis-à-vis du RFTC.

Les conditions thermohydrauliques initiales en prolongation de cycle (puissance et température primaires abaissées) sont globalement favorables vis-à-vis du RFTC (car leur effet conjugué prédomine sur l'effet de la diminution de pression initiale).

Il n'y a pas d'impact lié aux données neutroniques, car celles retenues pour l'étude en cycle naturel couvrent la prolongation de cycle.

Par conséquent, les critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 5.1](#), sont respectés pour les pas de fonctionnement en prolongation de cycle à puissance abaissée.

5.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant le plus pénalisant parmi l'instant initial, l'instant de l'AAR et l'instant du signal d'IS.


Vis-à-vis de la conduite, le cumul du MDTE rend indisponibles les pompes ARE, les pompes de charge, les pompes primaires et donc l'aspersion normale. Les soupapes du pressuriseur sont alors sollicitées pour dépressuriser le circuit primaire et atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

En conduite incidentelle, la conduite reste similaire au cas sans cumul du MDTE hormis les spécificités liées au MDTE. Par ailleurs, deux heures après la perte des alimentations électriques externes, et si le bas niveau bâche ASG n'a pas été atteint avant, par application d'une fiche EFS, l'opérateur sortira de la phase de stabilisation, et le passage en état de repli en conduite incidentelle sera demandé.

En conduite accidentelle, la conduite reste similaire au cas sans cumul du MDTE, hormis l'arrêt des GMPP qui n'est pas demandé pendant la conduite de l'IS.

5.3.1. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

La situation la plus pénalisante vis-à-vis de la consommation d'ASG est obtenue lorsque la conduite est réalisée dans le domaine incidentel. En effet, dans ce cas, l'opérateur est orienté dans une phase de stabilisation jusqu'à l'application d'une fiche EFS ou d'un bas niveau bâche ASG qui demande le passage en état de repli.

Pour des situations avec cumul du MDTE, l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est couverte par l'incident de Perte des Alimentations Electriques Externes (PTAEE)  (section 15.2.3b) vis-à-vis de la consommation d'ASG.

L'étude de Rupture de Tuyauterie Vapeur (section 15.2.4b) démontre que la consommation d'eau ASG est enveloppée par l'étude de PTAEE – section 15.2.3b. Or la consommation d'eau ASG calculée dans l'étude de RTV couvre les transitoires de la présente section 15.2.2d du fait d'un retour en puissance plus élevé. En conséquence, la consommation d'eau ASG de la présente section 15.2.2d est couverte par l'étude de PTAEE.

Par conséquent, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 0,99$) et les rejets radiologiques restent tolérables. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 5.1](#). est donc respecté.

6. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

L'analyse des cas initiés en puissance et du transitoire d'ouverture intempestive d'une vanne GCT avec et sans cumul MDTE a été menée avec le jeu d'hypothèses de l'état final de conception tandis que l'analyse à puissance nulle des autres cas a été menée sur la base d'un jeu d'hypothèses intermédiaire. Ces analyses montrent que :

- Les critères relatifs au maintien de l'intégrité de la gaine, à l'absence de fusion à cœur des pastilles combustibles et à l'intégrité du RDP présentés au [§ 2](#). sont respectés pour les configurations sans MDTE.
- Les critères relatifs aux dommages limités sur les assemblages combustibles présentés au [§ 5.1](#). sont respectés pour les configurations avec MDTE.
- Les critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé (cœur sous-critique, évacuation de la puissance, inventaire en eau stable et rejets radiologiques tolérables) présentés au [§ 2](#). et au [§ 5.1](#). sont respectés.

L'analyse de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr a été menée avec un jeu d'hypothèses cohérent avec l'état final de conception et montre que l'état d'arrêt sûr est atteint avec les moyens classés F1 :

- La capacité des bâches ASG est suffisante pour rallier les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, permettant d'évacuer durablement la puissance résiduelle.
- L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 2. et au § 5.1. est donc respecté.

7. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

A l'exception des transitoires initiés en puissance et du transitoire d'ouverture intempestive d'une vanne GCT avec et sans MDTE, l'analyse à puissance nulle a été menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire auquel ont été ajoutées des hypothèses cohérentes avec l'état final de conception.

Les seules modifications qui ont été introduites dans le jeu de données entre son état intermédiaire (Annexe 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15.1) sont les suivantes : modifications des températures ARE et augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA.

Modification des températures ARE

Les transitoires de défaillance à la fermeture d'une vanne de contrôle du VDA après sa sollicitation considèrent :

- une température ARE \square en cycle naturel qui n'est pas modifiée dans l'état final de conception,
- une température ARE \square en prolongation de cycle enveloppe de la valeur \square mise à jour avec l'état final de conception.

Par ailleurs, le débit ARE est annulé dès le début du transitoire, après l'AAR, afin de pénaliser l'inventaire en eau dans les GV au moment du démarrage de l'ASG. L'effet de la température de l'ARE sur le transitoire avant l'annulation du débit est par conséquent négligeable.

Le transitoire de refroidissement partiel intempestif avec cumul du MDTE considère une température ARE \square qui est enveloppe de la valeur \square mise à jour avec l'état final de conception.

En conclusion, ces modifications des températures ARE auraient un impact nul ou favorable sur les résultats de l'analyse à puissance nulle.

Pour rappel, l'analyse de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr a été menée avec un jeu d'hypothèses cohérent avec l'état final de conception.

Augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA

Une relaxation du requis du temps de fermeture VI-VDA \square a été réalisée. L'analyse d'impact \square permet de justifier l'acceptabilité de l'impact de cette relaxation de critère sur les scénarios traités dans cette section.

L'augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA ne remet pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation présentés au § 2.

8. CONCLUSION

L'étude montre que :

- Les critères relatifs au maintien de l'intégrité de la gaine, à l'absence de fusion à cœur des pastilles combustibles et à l'intégrité du RDP présentés au § 2. sont respectés pour les configurations sans MDTE.
- Les critères relatifs aux dommages limités sur les assemblages combustibles présentés au § 5.1. sont respectés pour les configurations avec MDTE
- L'état contrôlé est atteint. Les critères techniques d'acceptation (cœur sous-critique, évacuation de la puissance, inventaire en eau stable et rejets radiologiques tolérables) présentés au § 2. et au § 5.1. sont respectés.

- L'état d'arrêt sûr est atteint :

- La capacité des bâches ASG est suffisante pour rallier les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, permettant d'évacuer durablement la puissance résiduelle.
- L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) et au [§ 5.1.](#) est donc respecté.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 66/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 67/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2D.1 DONNÉES NEUTRONIQUES –
INCERTITUDES ET PÉNALITÉS POUR L'ÉTABLISSEMENT
DES LIMITES EN SOUS-CRITICITÉ TGI ET TGI-1 –PARTIE À
PUISSANCE NULLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 68/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 69/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2D.2 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE
GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
SURDÉBITS ARE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 70/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2D.3 MATRICE DE MÉLANGE PÉNALISÉE ISSUE
DES ESSAIS** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 71/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2D.4 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF
- ETAT A À PUISSANCE NULLE - AVEC CUMUL DU MDTE -
PRINCIPALES HYPOTHÈSES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 72/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

TAB-15.2.2D.5 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF
- ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - AVEC CUMUL DU MDTE -
SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Le signal de refroidissement partiel intempestif est émis
13,0	Début du refroidissement par le GCT
458,0	Signal de démarrage du RBS sur basse pression pressuriseur < MIN4p
517,6	Fin du refroidissement partiel par le GCT
517,6	Signal IS (hypothèse conservative)
517,6	Manque de tension externe Arrêt des GMPP Arrêt de l'ARE
517,6	Signal de démarrage de l'ASG dans les 4 GV sur signal IS+MDTE
517,6	Signal d'isolement de la charge sur signal IS
1064,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 2 sur haut niveau GV GL > MAX1p
1067,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 4 sur haut niveau GV GL > MAX1p
1096,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 1 sur haut niveau GV GL > MAX1p
1198,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 3 sur haut niveau GV GL > MAX1p



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 74/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2D.6 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE
GCT – CAS TGI – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN CYCLE NATUREL

□

TAB-15.2.2D.7 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE
GCT – CAS TGI – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE
PROLONGATION DE CYCLE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Événements</i>
0,0	Conditions initiales
494,0	Signal d'arrêt automatique du réacteur sur bas niveau GV GE < MIN1p
621,3	Signal d'isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p
1042	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 1 sur bas niveau GV GL < MIN2p
1057	Signal de démarrage du RBS sur basse pression secondaire < MIN5p



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 76/187

TAB-15.2.2D.8 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE
GCT – CAS TGI – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE

□

TAB-15.2.2D.9 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE
GCT – CAS TGI – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE –
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Événements</i>
0,0	Conditions initiales
647,3	Signal d'arrêt automatique du réacteur sur bas niveau GV GE < MIN1p
672,8	Signal d'isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p
873,0	Signal de démarrage du RBS sur basse pression secondaire < MIN5p
1283	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 1 sur bas niveau GV GL < MIN2p



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 78/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2D.10 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE
VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN CYCLE NATUREL ET EN
DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE**

□

**TAB-15.2.2D.11 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE
VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL/ DÉBUT DE
PROLONGATION DE CYCLE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS**

<i>Temps (s)</i>	<i>Événements</i>
0,0	Conditions initiales Signal d'AAR
6,0	Isolement du grand débit ARE sur signal d'AAR
166,0	Isolement complet de l'ARE sur haut niveau GV > MAX0p dans les 4 GV
189,5	Démarrage du RBS sur basse pression pressuriseur > MIN4p
393,5	Isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 80/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2D.12 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE
VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN FIN DE PROLONGATION
DE CYCLE**

□

**TAB-15.2.2D.13 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE
VANNE GCT – CAS TGI-1 – ÉTAT A À PUISSANCE NULLE –
TRANSITOIRE EN FIN DE PROLONGATION DE CYCLE –
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

<i>Temps (s)</i>	<i>Événements</i>
0,0	Conditions initiales Signal d'AAR
6,0	Isolement du grand débit ARE sur signal d'AAR
110,0	Isolement complet de l'ARE sur haut niveau GV > MAX0p dans les 4 GV
230,9	Isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 82/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2D.14 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE
VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION
– PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN CYCLE NATUREL**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 83/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 84/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2D.15 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE
VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION
– PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 85/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

TAB-15.2.2D.16 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION –TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE –SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Signal d'arrêt automatique du réacteur
0,1	Arrêt de l'eau alimentaire normale
□	Déclenchement turbine
2182,0	Signal d'ouverture des VDA sur haute pression secondaire > MAX1p
2400,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 3 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2445,0	Signal de démarrage du RBS sur basse pression pressuriseur < MIN4p
2450,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 1 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2474,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 4 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2476,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 2 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2505,0	Signal d'isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p
2542,0	Signal d'isolement du VDA 1 sur basse pression secondaire < MIN3p
4363,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 2 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4365,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 4 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4400,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 3 sur haut niveau GV GL > MAX1p

**RAPPORT DE SURETE**

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 87/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
4629,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 1 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4729,0	Signal d'isolement de la charge RCV sur haut niveau pressuriseur > MAX1p

TAB-15.2.2D.17 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLlicitATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Signal d'arrêt automatique du réacteur
0,1	Arrêt de l'eau alimentaire normale
□	Déclenchement turbine
2444,0	Signal d'ouverture des VDA sur haute pression secondaire > MAX1p
2708,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 3 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2741,0	Signal de démarrage du RBS sur basse pression pressuriseur < MIN4p
2766,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 1 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2795,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 4 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2798,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 2 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2845,0	Signal d'isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p
2908,0	Signal d'isolement du VDA 1 sur basse pression secondaire < MIN3p
4673,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 2 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4674,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 4 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4696,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 3 sur haut niveau GV GL > MAX1p

**RAPPORT DE SURETE**

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 89/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
4871,0	Signal d'isolement de la charge RCV sur haut niveau pressuriseur > MAX1p
4972,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 1 sur haut niveau GV GL > MAX1p



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 90/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2D.18 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE
VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION
– HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES POUR L'ANALYSE EN
CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 91/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2D.19 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE
VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION
- HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES POUR L'ANALYSE AVEC
CUMUL DU MDTE EN MILIEU DE PROLONGATION DE
CYCLE**

□

TAB-15.2.2D.20 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Signal d'arrêt automatique du réacteur
0,1	Arrêt de l'eau alimentaire normale
□	Déclenchement turbine
2182,0	Signal d'ouverture des VDA sur haute pression secondaire > MAX1p
2400,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 3 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2448,0	Signal de démarrage du RBS sur basse pression pressuriseur < MIN4p
2452,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 1 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2476,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 4 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2479,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 2 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2515,0	Signal d'isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p
2551,0	Signal IS sur basse pression pressuriseur < MIN3p
2551,0	Signal d'isolement de la charge RCV sur signal IS
2551,0	Manque de tension externe Arrêt des GMPP
2551,0	Signal de démarrage de l'ASG dans les 4 GV sur signal IS + MDTE

Temps (s)	Evènements
2552,0	Signal d'isolement du VDA 1 sur basse pression secondaire < MIN3p
4181,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 2 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4195,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 4 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4242,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 3 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4470,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 1 sur haut niveau GV GL > MAX1p

TAB-15.2.2D.21 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Signal d'arrêt automatique du réacteur
0,1	Arrêt de l'eau alimentaire normale
□	Déclenchement turbine
2444,0	Signal d'ouverture des VDA sur haute pression secondaire > MAX1p
2708,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 3 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2743,0	Signal de démarrage du RBS sur basse pression pressuriseur < MIN4p
2769,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 1 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2799,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 4 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2803,0	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 2 sur bas niveau GV GL < MIN2p
2859,0	Signal d'isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p
2906,0	Signal IS sur basse pression pressuriseur < MIN3p
2906,0	Signal d'isolement de la charge RCV sur signal IS
2906,0	Manque de tension externe Arrêt des GMPP
2906,0	Signal de démarrage de l'ASG dans les 4 GV sur signal IS + MDTE

Temps (s)	Evènements
2918,0	Signal d'isolement du VDA 1 sur basse pression secondaire < MIN3p
4552,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 2 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4557,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 4 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4618,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 3 sur haut niveau GV GL > MAX1p
4919,0	Signal d'isolement de l'ASG dans le GV 1 sur haut niveau GV GL > MAX1p



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 96/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2D.22 REFROIDISSEMENT PARTIEL
INTEMPESTIF - PRINCIPALES HYPOTHÈSES - RÉACTEUR
INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 97/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

TAB-15.2.2D.23 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS - RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Le signal de refroidissement partiel intempestif est émis
13,9	Début du refroidissement par le GCT
□	RFTC □ < 1,05
□	Signal d'AAR par « Bas RFTC ».
□	Chute des grappes
120,5	RFTC minimum atteint □ Paramètres thermohydrauliques à cet instant : <ul style="list-style-type: none">- Puissance thermique : □ % PN- Température en entrée cœur : □ °C- Pression en sortie cœur : □ bars abs- Débit en entrée cœur : □ m³/h/boucle
□	Déclenchement turbine (vannes fermées)
137,9	Isolement VVP



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 99/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2D.24 REFROIDISSEMENT PARTIEL
INTEMPESTIF - PRINCIPALES HYPOTHÈSES - RÉACTEUR
INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE

□

TAB-15.2.2D.25 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS - RÉACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènements</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Le signal de refroidissement partiel intempestif est émis
13,9	Début du refroidissement par le GCT
□	RFTC □ < 1,05 ;
□	□
□	Signal d'AAR par « Bas RFTC ».
□	Chute des grappes
123	RFTC minimum atteint □ Paramètres thermohydrauliques à cet instant : <ul style="list-style-type: none">- Puissance thermique : □ % PN- Température en entrée cœur : □ °C- Pression en sortie cœur : □ bars abs- Débit en entrée cœur : □ m³/h/boucle
□	Déclenchement turbine (vannes fermées)
139,7	Isolement VVP

FIG-15.2.2D.1 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A
À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR

□

FIG-15.2.2D.2 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A
À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCES
ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES
BRANCHES FROIDES

□

FIG-15.2.2D.3 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A
À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE –
CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 104/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2D.4 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A
À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSION
PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 105/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2D.5 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ÉTAT A
À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS
D’ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 106/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.6 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ETAT A
À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – NIVEAUX GV GE
ET NIVEAUX GV GL**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 107/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.7 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF – ETAT
A À PUISSANCE NULLE – AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS
MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE CHARGE RCV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 108/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.8 REFROIDISSEMENT PARTIEL INTEMPESTIF — ETAT
A À PUISSANCE NULLE — AVEC CUML DU MDTE — ÉVOLUTION
DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE
MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN
SOUS-CRITICITÉ TGI-1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 109/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.9 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 110/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2D.10 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE ET
TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 111/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.11 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS**

□

FIG-15.2.2D.12 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 113/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.13 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 114/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.14 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 115/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.15 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
DÉBIT DE CHARGE RCV ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.2D.16 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA
TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE
ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI**

□

FIG-15.2.2D.17 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
PROLONGATION DE CYCLE PRESSIONS SECONDAIRES ET
DÉBITS VAPEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 118/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.18 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
PROLONGATION DE CYCLE PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/
SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES**

□

**FIG-15.2.2D.19 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
PROLONGATION DE CYCLE CONCENTRATIONS EN BORE ET
DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 120/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.20 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
PROLONGATION DE CYCLE PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU
PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 121/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2D.21 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
PROLONGATION DE CYCLE DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET
DÉBITS ASG

□

**FIG-15.2.2D.22 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
PROLONGATION DE CYCLE NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 123/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.23 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
DÉBIT DE CHARGE RCV ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□

FIG-15.2.2D.24 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
PROLONGATION DE CYCLE EVOLUTIONS DE LA
CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE MINIMALES
EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN SOUS-
CRITICITÉ TGI

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 125/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.25 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR**

□

FIG-15.2.2D.26 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE ET
TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES

□

FIG-15.2.2D.27 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 128/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.28 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 129/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.29 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 130/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.30 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 131/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.31 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
DÉBIT DE CHARGE RCV ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.2D.32 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN
CYCLE NATUREL ET EN DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE
EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA
TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE
ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI-1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 133/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.33 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN
DE PROLONGATION DE CYCLE PRESSIONS SECONDAIRES ET
DÉBITS VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 134/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2D.34 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN
DE PROLONGATION DE CYCLE PUISSANCE ÉCHANGÉE
PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES BRANCHES
FROIDES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 135/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.35 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN
DE PROLONGATION DE CYCLE CONCENTRATIONS EN BORE ET
DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS**

□

**FIG-15.2.2D.36 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN
DE PROLONGATION DE CYCLE PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU
PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 137/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.37 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN
DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV
ET DÉBITS ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 138/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.38 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN
DE PROLONGATION DE CYCLE NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV
GL**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 139/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.39 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE GCT –
CAS TGI-1 – ETAT A À PUISSANCE NULLE – TRANSITOIRE EN FIN
DE PROLONGATION DE CYCLE DÉBIT DE CHARGE RCV ET
DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 140/187

**FIG-15.2.2D.40 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR**

□

**FIG-15.2.2D.41 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE
DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION –
TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE –
PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET
TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES**

□

**FIG-15.2.2D.42 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – CONCENTRATIONS
EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 143/187

FIG-15.2.2D.43 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – PRESSION
PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 144/187

**FIG-15.2.2D.44 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – DÉBITS
D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG**

□

**FIG-15.2.2D.45 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE
DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION –
TRANSITOIRE EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE –
NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL**

□

FIG-15.2.2D.46 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – DÉBITS
MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE CHARGE RCV

□

**FIG-15.2.2D.47 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – DÉBITS VAPEUR
AUX VDA**

□

**FIG-15.2.2D.48 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL SANS CUMUL DU MDTE – EVOLUTIONS DE
LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE
MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN
SOUS-CRITICITÉ TGI**

□

**FIG-15.2.2D.49 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE
– PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR**

□

FIG-15.2.2D.50 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE
– PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET
TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES

□

FIG-15.2.2D.51 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE
– CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS

□

**FIG-15.2.2D.52 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE
– PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR**

□

**FIG-15.2.2D.53 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE
– DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG**

□

**FIG-15.2.2D.54 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE
– NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL**

□

**FIG-15.2.2D.55 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE
DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION –
TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS
CUMUL DU MDTE – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE
CHARGE RCV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 156/187

**FIG-15.2.2D.56 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE
– DÉBITS VAPEUR AUX VDA**

□

**FIG-15.2.2D.57 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE SANS CUMUL DU MDTE
– EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA
TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE
ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 158/187

FIG-15.2.2D.58 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR

□

**FIG-15.2.2D.59 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – PUISSANCES
ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET TEMPÉRATURES
BRANCHES FROIDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 160/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.60 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – CONCENTRATIONS
EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 161/187

**FIG-15.2.2D.61 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – PRESSION
PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR**

□

FIG-15.2.2D.62 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS
D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 163/187

**FIG-15.2.2D.63 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – NIVEAUX GV GE ET
NIVEAUX GV GL**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 164/187

FIG-15.2.2D.64 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS
MASSIF PRIMAIRE ET DÉBIT DE CHARGE RCV

□

**FIG-15.2.2D.65 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBITS VAPEUR
AUX VDA**

□

**FIG-15.2.2D.66 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN CYCLE NATUREL AVEC CUMUL DU MDTE – EVOLUTIONS DE
LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA TEMPÉRATURE
MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE ET LIMITE EN
SOUS-CRITICITÉ TGI**

□

**FIG-15.2.2D.67 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE
– PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VAPEUR**

□

FIG-15.2.2D.68 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE
– PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE ET
TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 169/187

FIG-15.2.2D.69 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE
– CONCENTRATIONS EN BORE ET DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 170/187

**FIG-15.2.2D.70 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE
– PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 171/187

**FIG-15.2.2D.71 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE
– DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS ASG**

□

**FIG-15.2.2D.72 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE
– NIVEAUX GV GE ET NIVEAUX GV GL**

□

**FIG-15.2.2D.73 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE
DE CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION –
TRANSITOIRE EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC
CUMUL DU MDTE – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRE ET DÉBIT DE
CHARGE RCV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 174/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.74 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE
– DÉBITS VAPEUR AUX VDA**

□

**FIG-15.2.2D.75 DÉFAILLANCE À LA FERMETURE D'UNE VANNE DE
CONTRÔLE DU VDA APRÈS SA SOLLICITATION – TRANSITOIRE
EN MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE AVEC CUMUL DU MDTE
– EVOLUTIONS DE LA CONCENTRATION EN BORE ET DE LA
TEMPÉRATURE MINIMALES EN ENTRÉE COEUR AVANT MÉLANGE
ET LIMITE EN SOUS-CRITICITÉ TGI**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 176/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–15.2.2D.76 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE
L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – PRESSIONS
AUX GENERATEURS DE VAPEURS ET PRESSION PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 177/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–15.2.2D.77 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE
L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – DEBIT TURBINE
ET DEBITS D’ALIMENTATION ARE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 178/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–15.2.2D.78 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE
L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – DEBITS VDA ET
DEBIT GCT**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 179/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.79 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE - DE
L'ÉVENEMENT INITIATEUR A L'ÉTAT CONTROLÉ - NIVEAUX GV
GAMME LARGE ET GAMME ÉTROITE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 180/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–15.2.2D.80 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE SANS MDTE – DE
L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – PUISSANCES
CŒUR ET TEMPERATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 181/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–15.2.2D.81 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE
L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – PRESSIONS
AUX GENERATEURS DE VAPEURS ET PRESSION PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 182/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.82 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE - DE
L'EVENEMENT INITIATEUR A L'ETAT CONTROLE - DEBIT TURBINE
ET DEBITS D'ALIMENTATION ARE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 183/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2D.83 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE - DE
L'EVENEMENT INITIATEUR A L'ETAT CONTROLE - DEBITS VDA ET
DEBIT GCT**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2D

PAGE 184/187

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–15.2.2D.84 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE
L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – NIVEAUX GV
GAMME LARGE ET GAMME ÉTROITE**

□

**FIG–15.2.2D.85 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE
L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – PUISSANCES
CŒUR ET TEMPERATURES PRIMAIRES**

□

**FIG–15.2.2D.86 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE
L’EVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE – DEBITS
VOLUMIQUES**

□

**FIG–15.2.2D.87 AUGMENTATION EXCESSIVE DE DEBIT VAPEUR -
REACTEUR INITIALEMENT EN PUISSANCE AVEC MDTE – DE
L’ÉVENEMENT INITIATEUR A L’ETAT CONTROLE –TEMPÉRATURE
INTERNE DE LA GAINÉ ET TEMPÉRATURE AU CENTRE DU
COMBUSTIBLE**

□

SOMMAIRE

.15.2.2E DÉCLENCHEMENT TURBINE (ÉTAT A)	2
1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	2
1.1. DÉFINITION	2
1.2. CAUSES	2
2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE	2
2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	2
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	2
3. MOYENS DE PROTECTION	3
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	3
5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	4
6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	4
7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	4

.15.2.2E DÉCLENCHEMENT TURBINE (ÉTAT A)

1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1. DÉFINITION

Un « Déclenchement Turbine » est un déclenchement intempestif de la turbine ou un signal de « déclenchement turbine » intervenant alors que les paramètres neutroniques et thermohydrauliques de la tranche sont à leur valeur de fonctionnement nominale (y compris les fluctuations normales et les incertitudes).

Cet évènement réduit la capacité du secondaire à évacuer l'énergie transportée par le circuit primaire principal. Il peut donc conduire à un risque de crise d'ébullition et d'endommagement de la gaine du combustible.

Le transitoire de « Déclenchement Turbine » en état A est un évènement PCC-2.

1.2. CAUSES

Un déclenchement de la turbine peut être causé par :

- un signal intempestif de fermeture des vannes d'admission turbine,
- une perturbation du réseau électrique (perturbation entraînant des variations de tension ou de fréquence),
- un signal de déclenchement des disjoncteurs de la tranche.

2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE

2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Le transitoire comprend deux phases : une phase court (et moyen) terme jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé au cours de laquelle seules les actions automatiques interviennent et une phase long terme où le réacteur est conduit de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr par des actions opérateur.

De l'initiateur à l'état contrôlé :

En cas de « Déclenchement Turbine », la diminution rapide du débit admis à la turbine conduit à une augmentation des pression et température du circuit secondaire puis à une augmentation des température et pression du circuit primaire.

L'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est activé sur signal de Haute Pression GV ou de Haute Pression Pressuriseur. Les lignes de grand débit ARE sont isolées. La pression au secondaire est limitée par les organes de décharge au secondaire : le GCT et les VDA permettent d'évacuer la vapeur produite par les GV.

De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr :

L'ensemble des éléments concernant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr présentés dans la « Perte de vide au condenseur » (voir section 15.2.2g) est applicable au transitoire de « Déclenchement Turbine ».

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère en RFTC supérieur à 1 car la chaîne de surveillance du RFTC est valorisée (voir sous-chapitre 4.4).
- L'absence de fusion à coeur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée de 10 tonnes permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au § 2.1., les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Haute Pression Pressuriseur » (seuil Max2p) ou sur signal « Haute Pression secondaire » (seuil Max1p),
- isolement des lignes ARE grand débit sur compte-rendu d'AAR,
- ouverture automatique d'une vanne d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression secondaire » (seuil Max1p) GV par GV,
- démarrage d'une pompe ASG sur signal « Très Bas Niveau GV »,
- ouverture des soupapes du pressuriseur pour limiter la pression du RCP au point de consigne de 10 bar abs (1^{ère} soupape), 15 bar abs (2^{ème} soupape) et 20 bar abs (3^{ème} soupape).

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Le transitoire PCC-2 consécutif à un « Déclenchement Turbine » est similaire à celui résultant de l'événement PCC-2 « Perte du vide au condenseur » étudié dans la section correspondant à cet événement (voir section 15.2.2g), étant donné que la perte du condenseur provoque immédiatement un déclenchement de la turbine. A la différence de la « Perte de vide au condenseur » qui entraîne presque instantanément l'indisponibilité du GCT, le GCT est disponible après un « Déclenchement Turbine ». Cependant ce système n'est pas considéré dans l'analyse car la prise en compte de ce système non classé a un impact favorable sur les conséquences du transitoire.

Il en résulte que l'ensemble des éléments présentés dans la section 15.2.2g au sujet de la « Perte de vide au condenseur » est applicable au transitoire de « Déclenchement turbine ».

5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

La démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé réalisée pour le transitoire de « Perte de vide au condenseur » s'applique au transitoire de « Déclenchement Turbine », et les conclusions sont identiques. Les critères de sûreté étant respectés pour le transitoire de « Perte de vide au condenseur », ils sont également respectés pour le transitoire de « Déclenchement Turbine ». L'absence de crayon entrant en crise d'ébullition, de fusion à coeur des pastilles de combustible et l'intégrité du RDP sont donc vérifiées. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

La chute des grappes assure la sous-criticité du coeur en état d'arrêt à chaud ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les générateurs de vapeur. L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est donc atteint.

6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

L'ensemble des éléments concernant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr présentés dans la « Perte de vide au condenseur » (voir section 15.2.2g) est applicable au transitoire de « Déclenchement Turbine ».

En cas de repli, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du coeur ($keff < 0,99$) et la capacité des bâches ASG est suffisante (voir section 15.2.2i) pour atteindre la connexion des trains RIS-RA en mode RA qui permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 2.2](#) est par conséquent vérifié.

7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de déclenchement turbine. Conformément aux règles d'études (voir paragraphe 2 du sous-chapitre 15.0), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : instant initial, du signal d'AAR ou du signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séismes sont utilisés dans la démonstration de sûreté et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

Les objectifs et critères de sûreté à respecter pour les études de transitoire PCC-2 avec cumul du MDTE sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et présentés dans la section 15.0.2. Pour cet accident, les critères techniques d'acceptation suivants sont vérifiés :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1 482° C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le coeur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.

- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le coeur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'ensemble des éléments concernant le cumul du MDTE présentés dans la « Perte de vide au condenseur » (voir section 15.2.2g) est applicable au transitoire de « Déclenchement Turbine ».

Les critères techniques d'acceptation PCC- 4 vis-à-vis du nombre de crayons entrant en crise d'ébullition, de la fusion combustible et de la température de gaine des crayons combustible étant respectés dans l'analyse de la section 15.2.2g, il en est de même pour l'accident de déclenchement turbine avec cumul du MDTE à l'instant initial. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

A court terme, la chute des grappes assure la sous-criticité du coeur en état d'arrêt à chaud ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les générateurs de vapeur. L'inventaire en eau primaire est stable. L'état contrôlé est donc atteint.

A long terme, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du coeur ($keff < 0,99$) et la capacité des bâches ASG est suffisante (voir section 15.2.2i) pour atteindre la connexion des trains RIS-RA en mode RA qui permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés ci-dessus est par conséquent vérifié.

SOMMAIRE

.15.2.2G PERTE DU VIDE AU CONDENSEUR (PCC-2)	5
1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	5
1.1. DÉFINITION	5
1.2. CAUSES	5
2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE	5
2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	5
2.1.1. DE L'INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ	5
2.1.2. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	6
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	6
3. MOYENS DE PROTECTION	7
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	7
4.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME (ÉVALUATION DU RFTC MINIMAL)	7
4.1.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	7
4.1.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	8
4.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME (ESTIMATION DE LA DÉCHARGE AUX SOUPAPES PRESSURISEUR)	9
4.2.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	9
4.2.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	9
4.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SUR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	10
4.3.1. HYPOTHÈSES SYSTÈMES ET PROTECTIONS	10
4.3.2. CONDUITE OPÉRATEUR	10
5. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	11
5.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	11
5.1.1. RÉSULTATS	11
5.1.2. ANALYSE DE LA PROLONGATION DE CYCLE	12
5.1.3. CONCLUSION	12

5.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME (ESTIMATION DE LA DÉCHARGE AUX SOUPAPES PRESSURISEUR)	12
5.2.1. RÉSULTATS	12
5.2.2. ANALYSE DE LA PROLONGATION DE CYCLE	12
5.2.3. CONCLUSIONS	13
5.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SUR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	13
5.4. CONCLUSION	13
6. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	13
6.1. CRITÈRES D'ÉTUDE	13
6.2. MOYENS DE PROTECTION	14
6.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	14
6.4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SUR - ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	15
6.5. CONCLUSION	15

TABLEAUX :

TAB-15.2.2G.1 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONDITIONS INITIALES À COURT ET MOYEN TERME	16
TAB-15.2.2G.2 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – SÉQUENCE DESÉVÉNEMENTS	17
TAB-15.2.2G.3 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	18

FIGURES :

FIG-15.2.2G.1 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBIT ADMIS À LA TURBINE	19
FIG-15.2.2G.2 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS D'ALIMENTATION ARE ET PRESSIONS DES GV	20
FIG-15.2.2G.3 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS VAPEUR ET VDA	21
FIG-15.2.2G.4 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	22
FIG-15.2.2G.5 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION PRESSURISEUR	23
FIG-15.2.2G.6 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBIT D'ASPERION	24
FIG-15.2.2G.7 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – DÉBIT ADMIS À LA TURBINE	25

FIG-15.2.2G.8 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – DÉBITS D'ALIMENTATION ARE ET PRESSIONS DES GV	26
FIG-15.2.2G.9 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – DÉBITS VAPEUR ET VDA.....	27
FIG-15.2.2G.10 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	28
FIG-15.2.2G.11 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET DÉBITS AUX SOUPAPES DU PRESSURISEUR.....	29
FIG-15.2.2G.12 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – DÉBIT D'ASPERSION	30

.15.2.2G PERTE DU VIDE AU CONDENSEUR (PCC-2)

Le transitoire est étudié :

- à court terme, vis-à-vis de la crise d'ébullition et de la puissance linéique,
- à moyen terme (jusqu'à l'état contrôlé), vis-à-vis de l'intégrité du RDP,
- à long terme, vis-à-vis de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1. DÉFINITION

Une perte de vide au condenseur entraîne une indisponibilité du condenseur et en conséquence, un déclenchement de la turbine. Cet événement réduit la capacité du secondaire à évacuer l'énergie transportée par le circuit primaire principal. Il peut donc conduire à un risque de crise d'ébullition et d'endommagement de la gaine du combustible.

1.2. CAUSES

Une perte de vide au condenseur peut provenir soit :

- de l'ouverture des casse-vide du condenseur,
- de l'activation du signal de déclenchement du condenseur,
- de la défaillance des pompes à vide du condenseur,
- de la fermeture des vannes d'isolement des pompes à vide du condenseur,
- de la défaillance des pompes de circulation,
- d'une fuite des tubes du condenseur.

La perte de vide au condenseur en état A est un événement PCC-2.

2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE

2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Le transitoire comprend deux phases : une phase court et moyen terme jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé, obtenue au moyen des actions automatiques et une phase long terme où le réacteur est conduit de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr par des actions automatiques et manuelles.

2.1.1. De l'initiateur à l'état contrôlé

En état A, en cas de perte de vide au condenseur, la pression augmente dans le condenseur. Lorsqu'elle atteint un certain seuil, le signal de déclenchement du condenseur est activé et conduit au déclenchement de la turbine. L'atteinte d'un second seuil plus élevé (de la pression condenseur) entraîne le verrouillage du GCT et conduit à l'augmentation des pressions et températures du secondaire, puis à l'augmentation des pression et température du primaire.

L'AAR est activé sur signal de haute pression GV ou de très haute pression pressuriseur. Les lignes de grand débit ARE sont isolées. La pression au secondaire est limitée par les organes de décharge au secondaire : le GCT (disponible au début du transitoire mais non pris en compte car non classé) et les VDA permettent d'évacuer la vapeur produite par les GV. La montée en pression du primaire est limitée par l'aspersion, l'ouverture des VDA et la sollicitation éventuelle des soupapes de sûreté pressuriseur.

La température et la pression du fluide primaire se stabilisent finalement aux conditions établies par la pression de consigne des VDA. L'état contrôlé est atteint, il correspond à un état d'arrêt à chaud, la puissance résiduelle étant évacuée par le circuit secondaire.

2.1.2. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

A l'issue de la phase automatique, l'opérateur est orienté vers une conduite incidentelle.

Dans cette conduite, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation, dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Au cours de cette phase, une stabilisation de la TRIC est demandée et les niveaux des GV non isolés sont maintenus à la valeur atteinte par l'ASG.

En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG et si le GV associé est toujours utilisable , la surveillance de l'efficacité de l'ASG permet d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné, et un opérateur est chargé d'ouvrir les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

Sur critère de bas niveau dans les bâches ASG < MIN2, 3 GMPP sur 4 sont arrêtés, puis le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé.

La stratégie de passage en état de repli conduit au passage en arrêt intermédiaire jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA : une borication du circuit primaire est réalisée, en utilisant le RCV ou par le RBS si le RCV est indisponible. Un volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid est injecté. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si 2 trains RBS sont en service et le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service,
- 50°C/h si 2 trains RBS sont en service et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si aucun train RBS n'est en service et la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu grâce à l'ASG.

Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été complètement injecté, la borication est arrêtée.

Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants. Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale, auxiliaire et si besoin les soupapes du pressuriseur. Pour le contrôle du niveau d'eau dans le pressuriseur, l'opérateur ajuste les débits de charge, décharge et aspersion auxiliaire si les fonctions correspondantes sont disponibles.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous 70 bar abs.

Lorsque le circuit primaire atteint une pression de 32 bar abs et une température de 135° C, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée. Après la connexion du RIS-RA en mode RA, l'état d'arrêt sûr est atteint, l'évacuation durable de la puissance résiduelle étant assurée par les échangeurs RIS-RA.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition, assurée par (voir sous-chapitre 4.4) un critère RFTC supérieur à 1,0 car la chaîne bas RFTC est valorisée.
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de décharge du pressuriseur sont sollicitées.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

Les moyens de protection F1A suivants sont disponibles pour obtenir l'état contrôlé :

- L'arrêt automatique du réacteur est déclenché à la suite d'un des signaux suivants :
 - pression pressuriseur $> MAX2p$,
 - pression secondaire en sortie de GV $> MAX1p$,
- isolement des lignes ARE grand débit sur compte-rendu d'AAR,
- 4 VDA pour l'évacuation de la puissance par le secondaire et l'écrêtement de la pression lorsque la pression GV $> MAX1p$,
- 4 trains ASG pour l'alimentation en eau du secondaire activés lorsque le niveau GV $< MIN2p$ GL,
- 3 soupapes pressuriseur pour limiter la pression du RCP \square .

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Pour pouvoir démontrer le respect des différents critères techniques d'acceptation, l'évènement est étudié à court terme vis à vis de la crise d'ébullition, à moyen terme vis à vis de l'intégrité du RDP et de l'atteinte de l'état contrôlé et à long terme vis-à-vis de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

4.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME (ÉVALUATION DU RFTC MINIMAL)

4.1.1. Méthodes et codes de calcul

\square

4.1.2. Hypothèses d'études

4.1.2.1. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Le RFTC minimum est atteint au plus tard au début de la chute des grappes. Par conséquent, l'aggravant envisagé est une grappe bloquée.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet événement, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

4.1.2.2. Etat initial

Les valeurs initiales de puissance, température primaire, pression primaire et niveau pressuriseur sont les valeurs pénalisées compatibles avec la marche en régime stationnaire pour tenir compte des incertitudes de façon pénalisante vis-à-vis du RFTC (voir sous-chapitre 15.1). La valeur initiale du niveau des GV est prise nominale, ce paramètre n'ayant pas d'impact sur le transitoire étudié.

□ Les conditions initiales sont présentées au tableau [TAB-15.2.2g.1](#).

L'impact du Bouchage des Tubes du GV explicite est analysé au [§ 5.1.1.](#)

4.1.2.3. Hypothèses cœur

Les données neutroniques retenues pour l'étude à court terme sont issues du sous-chapitre 4.3 :

- Le coefficient Doppler puissance est pris maximum en valeur absolue pour s'opposer à la diminution de puissance causée par la chute des grappes lors de l'AAR et par l'effet Doppler température.
- Le coefficient Doppler température est pris minimum en valeur absolue pour limiter la diminution de puissance□.
- Le coefficient de densité modérateur est pris nul de manière pénalisante afin de limiter la diminution de puissance consécutive à l'échauffement du primaire.

□

Le RFTC ne faisant que croître au cours du transitoire (voir [§ 5.1.1.](#)), le coefficient d'échange thermique combustible-réfrigérant (pris minimal) n'a pas d'impact sur le RFTC minimal atteint.

4.1.2.4. Hypothèses systèmes fluides

Les données sont issues du sous-chapitre 15.1.

Le débit d'aspersion est majoré de façon à maximiser la dépressurisation du circuit primaire.

La première soupape du pressuriseur est supposée s'ouvrir à□ avec un débit majoré□.

Le débit VDA est pris minimum □et le point de consigne d'ouverture maximum□.

La pression de tarage des soupapes secondaires est prise maximale□.

Le débit ARE est pris à sa valeur nominale puis s'annule au moment de l'AAR.

4.1.2.5. Hypothèses régulations

La régulation de la pression du pressuriseur via l'aspersion est prise en compte car elle est pénalisante vis-à-vis du RFTC, les autres fonctions de régulation ne sont pas prises en compte car elles sont soit sans impact soit favorables vis-à-vis du RFTC.

4.1.2.6. Hypothèses protections

L'AAR peut intervenir sur seuil de haute pression GV ou sur seuil de très haute pression pressuriseur .

La valeur de l'efficacité intégrale de l'AAR tient compte de la grappe la plus antiréactive bloquée en position haute.

Le temps de chute des grappes maximal sans séisme est considéré .

4.1.2.7. Système de limitation

Aucun système de limitation n'est modélisé dans le cadre de cette étude.

4.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME (ESTIMATION DE LA DÉCHARGE AUX SOUPAPES PRESSURISEUR)

4.2.1. Méthodes et codes de calcul

L'objectif du transitoire à moyen terme est d'évaluer la masse d'eau déchargée aux soupapes du pressuriseur et de vérifier l'intégrité du RDP.

4.2.2. Hypothèses d'études

4.2.2.1. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

De manière pénalisante, l'aggravant choisi porte sur la défaillance d'une ligne d'aspersion de façon à obtenir une augmentation rapide de la pression primaire.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet événement, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

4.2.2.2. Etat initial

Les hypothèses visent à maximiser la pression au primaire et à accentuer l'expansion du primaire. :

-

-

Les conditions initiales pénalisantes en terme de masse rejetée au RDP sont présentées au tableau **TAB-15.2.2g.1**.

4.2.2.3. Hypothèses cœur

Les données neutroniques retenues pour l'étude à moyen terme sont identiques à celles de l'étude à court terme (cf. [§ 4.1.2.3.](#)).

Le coefficient d'échange combustible-réfrigérant est pris minimal de manière à pénaliser la masse rejetée au RDP.

4.2.2.4. Hypothèses systèmes fluides

Les caractéristiques des systèmes fluides prises en compte pour l'étude à moyen terme sont identiques à celles de l'étude à court terme (cf. [§ 4.1.2.4.](#)) hormis celle qui concerne le débit d'aspersion.

Un débit d'aspersion minimisé est en effet considéré : un débit d'aspersion maximisé entraîne en effet une dynamique d'augmentation de pression moins rapide et des pressions maximales plus faibles que lors de la prise en compte d'un débit d'aspersion minimisé, d'où des masses déchargées au RDP plus faibles.

4.2.2.5. Hypothèses régulations

Les systèmes de régulation pris en compte pour l'étude à moyen terme sont identiques à ceux de l'étude à court terme (cf. § 4.1.2.5.) à l'exception des chaufferettes qui sont prises en compte. □.

□

4.2.2.6. Hypothèses protections

L'AAR peut intervenir sur seuil de haute pression GV □ ou sur seuil de très haute pression pressuriseur □.

La valeur de l'efficacité intégrale de l'AAR ne tient pas compte d'une grappe bloquée (l'aggravant de l'étude à moyen terme étant la défaillance d'une ligne d'aspersion).

Le temps de chute des grappes maximal sans séisme est considéré □.

4.2.2.7. Système de limitation

Aucun système de limitation n'est modélisé dans le cadre de cette étude.

4.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SUR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

4.3.1. Hypothèses systèmes et protections

L'objet de l'étude à long terme du transitoire de Perte de Vide au Condenseur est de montrer qu'il est possible de rallier un état d'arrêt sûr, correspondant aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA :

- □,
- □.

Il doit donc être démontré que la capacité des bâches ASG, qu'on suppose non-réalimentables pendant le transitoire, est suffisante pour atteindre ces conditions.

L'aggravant pénalisant vis-à-vis de la consommation d'eau des bâches ASG est l'indisponibilité d'une pompe ASG et la maintenance préventive est considérée sur une autre pompe ASG.

Les fonctions F1B suivantes sont alors disponibles pour rallier l'état d'arrêt sûr :

- 4 VDA pour le refroidissement jusqu'aux conditions de fonctionnement du RIS-RA en mode RA,
- 2 trains RBS pour la borication au cours du refroidissement,
- 2 trains ASG pour l'alimentation en eau des GV.

4.3.2. Conduite opérateur

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le signal d'AAR.

A l'issue de la phase automatique, l'opérateur est orienté vers une conduite incidentelle.

Dans cette conduite, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation, dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires.

Au cours de cette phase, une stabilisation de la TRIC est demandée et les niveaux des GV non isolés sont maintenus à la valeur atteinte par l'ASG.

En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG et si le GV associé est toujours utilisable , la surveillance de l'efficacité de l'ASG permet d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné, et un opérateur est chargé d'ouvrir les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

A court terme, l'état d'arrêt à chaud ainsi obtenu est un état contrôlé, puis sur critère de seuil min des bâches ASG < MIN2, 3 GMPP sur 4 sont arrêtés, puis le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé.

La stratégie de passage en état de repli conduit au passage en arrêt intermédiaire jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA : une borication du circuit primaire est réalisée, en utilisant le RCV ou par le RBS si le RCV est indisponible. Un volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid est injecté. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si 2 trains RBS sont en service et le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service,
- 50°C/h si 2 trains RBS sont en service et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si aucun train RBS n'est en service et la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu grâce à l'ASG.

Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été complètement injecté, la borication est arrêtée.

Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants. Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale, auxiliaire et si besoin les soupapes du pressuriseur. Pour le contrôle du niveau d'eau dans le pressuriseur, l'opérateur ajuste les débits de charge, décharge et aspersion auxiliaire si les fonctions correspondantes sont disponibles.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous 70 bar abs.

L'état d'arrêt sûr est obtenu lorsque les conditions de connexion au RIS-RA en mode RA sont atteintes.

5. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

5.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

5.1.1. Résultats

Le tableau [TAB-15.2.2g.2](#) présente la séquence des événements du transitoire de perte de vide au condenseur à court terme. L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2g.1](#) à [FIG-15.2.2g.6](#).

La perte de vide au condenseur conduit au déclenchement de la turbine et à l'indisponibilité du GCT. La baisse du débit vapeur entraîne une augmentation rapide de la pression secondaire puis de la pression primaire. Lorsque la pression secondaire atteint le seuil de haute pression GV vers 7 secondes, l'AAR intervient, conduisant à la chute des grappes et à l'annulation du débit ARE. L'ouverture des VDA moins de 10 secondes après le début du transitoire permet de contrôler la pression au secondaire.

Le RFTC croît au cours du transitoire, l'effet de l'augmentation de la pression primaire l'emportant sur l'effet de l'augmentation de la température primaire. Le RFTC minimum est donc obtenu à l'instant initial du transitoire \square .

\square

Le critère technique d'acceptation vis-à-vis de puissance linéique est respecté puisque la puissance thermique cœur n'augmente jamais au-dessus de sa valeur initiale.

5.1.2. Analyse de la prolongation de cycle

Suite à une perte de vide au condenseur, le niveau de puissance reste pratiquement constant avant l'AAR et le RFTC minimum est obtenu dans la première seconde du transitoire, indépendamment du signal d'AAR. En prolongation de cycle, le niveau de puissance, la température primaire de référence et la consigne de pression primaire sont abaissés. Les effets de la puissance et de la température sont prépondérants sur le calcul de RFTC par rapport à la pression, et les données neutroniques prises en compte pour le transitoire sont enveloppes de la prolongation de cycle, par conséquent le transitoire réalisé couvre le fonctionnement en prolongation de cycle.

5.1.3. Conclusion

Les critères techniques d'acceptation liés à la crise d'ébullition et à la puissance linéique maximale sont respectés pour le transitoire de perte de vide au condenseur.

5.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME (ESTIMATION DE LA DÉCHARGE AUX SOUPAPES PRESSURISEUR)

5.2.1. Résultats

La séquence des événements pour le transitoire de perte de vide au condenseur à moyen terme est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2g.3](#). L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2g.7](#) à [FIG-15.2.2g.12](#).

La perte de vide au condenseur entraîne une dégradation rapide de l'échange entre le primaire et le secondaire aboutissant à l'augmentation rapide de la pression primaire. L'Arrêt Automatique du Réacteur a lieu peu de temps après le début du transitoire sur signal de très haute pression pressuriseur.

La pression maximale atteinte au cours du transitoire \square est supérieure à la pression d'ouverture de la première soupape du pressuriseur \square , mais reste inférieure à la pression d'ouverture de la deuxième soupape \square . Un débit de vapeur est alors extrait du pressuriseur et se retrouve dans le RDP. La pression primaire se stabilise ensuite à une valeur proche de la pression initiale.

La masse de vapeur rejetée au RDP suite à l'ouverture des soupapes du pressuriseur est \square inférieur à la masse critique \square entraînant la rupture du RDP (voir sous-chapitre 15.1). Le critère technique d'acceptation lié à l'intégrité du RDP est donc respecté et aucun rejet radiologique ne se produit.

Au niveau du secondaire l'augmentation de pression consécutive au déclenchement turbine entraîne la sollicitation des VDA. La pression se stabilise alors à la pression d'ouverture des VDA \square .

L'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité du cœur ($keff < 1$). L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les VDA. L'inventaire en eau du primaire est stable. L'atteinte de l'état contrôlé tel que décrit dans le [§ 2.2](#) est assurée.

5.2.2. Analyse de la prolongation de cycle

En prolongation de cycle, le niveau de puissance, la température primaire de référence et la consigne de pression primaire sont abaissés, entraînant une pression secondaire abaissée ; le seuil d'ouverture des VDA est également abaissé, de manière à ce que l'écart entre la pression secondaire de l'état initial et la pression de consigne des VDA soit égal au maximum à l'écart défini en cycle naturel. Cette

modification du seuil a pour objectif de ne pas retarder l'ouverture des VDA en prolongation de cycle par rapport au cycle naturel : la pression primaire est alors stabilisée, sans que les soupapes du pressuriseur ne soient sollicitées périodiquement jusqu'à l'atteinte de l'état d'équilibre. Dans ce cas, compte tenu du niveau de puissance plus faible et moins pénalisant en prolongation de cycle, le transitoire présenté ci-dessus est enveloppe.

5.2.3. Conclusions

Les critères techniques d'acceptation relatifs à la crise d'ébullition, à la puissance linéique, à l'intégrité du RDP et à l'atteinte de l'état contrôlé tels que décrits dans le [§ 2.2.](#) sont respectés pour le transitoire de perte de vide au condenseur.

5.3. DE L'ÉTAT CONTROLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SUR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

L'étude de la perte de l'eau alimentaire normale (voir section 15.2.2i) permet de montrer par un calcul explicite que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Les moyens disponibles pour atteindre l'état d'arrêt sûr lors du transitoire de perte de vide au condenseur sont identiques à ceux disponibles pour l'étude de perte ARE.

De plus, le transitoire étudié présente des conditions moins sévères vis-à-vis de la consommation d'eau des bâches ASG que le transitoire de perte ARE. En effet :

- A l'instant de l'AAR, la masse d'eau disponible dans les GV est plus importante qu'en cas de perte ARE. L'ASG, qui démarre sur bas niveau GV < MIN2p, sera donc mise en service plus tard que sur le transitoire de perte ARE.
- 30 minutes après l'AAR, la conduite est similaire entre la perte ARE et le transitoire de perte de vide au condenseur, mais avec un inventaire secondaire favorable pour ce dernier.
- La puissance à évacuer est couverte par celle du transitoire de perte ARE, ce dernier étant réalisé avec la puissance résiduelle maximale (présentée au sous-chapitre 15.1).

Par conséquent, en cas de perte de vide au condenseur, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr.

La sous-criticité du cœur est garantie grâce au bore injecté par le RBS ($k_{eff} < 0,99$). L'intégrité du RDP est démontrée dans le [§ 5.2.1.](#) ce qui garantit l'absence de rejets radiologiques dans l'enceinte. L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par le RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

5.4. CONCLUSION

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2.](#) est vérifié.

6. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de perte de vide au condenseur. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : instant initial, du signal d'AAR ou du signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séismes sont utilisés dans la démonstration de sûreté et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

6.1. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Pour ce transitoire, on vérifie les critères techniques d'acceptation suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

6.2. MOYENS DE PROTECTION

Ils sont identiques à ceux décrits dans l'étude sans MDTE (cf. § 4. et § 5.). Il faut y ajouter les AAR déclenchés à partir des signaux suivants:

- « très bas débit dans 1 boucle sur 4 » □
- « basse vitesse des pompes primaire dans 2 boucles sur 4 » □.

6.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

A court terme, l'analyse est effectuée vis-à-vis de l'endommagement des assemblages combustibles et de l'atteinte de l'état contrôlé.

L'aggravant et la maintenance préventive sont identiques à ceux retenus dans l'étude sans MDTE : une grappe bloquée lors de l'AAR (aggravant) et pas de maintenance préventive.

□

Le MDTE est donc pris en compte à l'instant du signal d'AAR. L'étude est alors identique à celle de l'incident de fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur avec cumul du MDTE (voir section 15.2.3g).

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles et l'atteinte de l'état contrôlé présentés dans le § 6.1. étant démontré pour l'étude de fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur avec cumul du MDTE (voir section 15.2.3g), il en est de même pour l'étude de perte de vide au condenseur avec cumul du MDTE.

6.4. DE L'ETAT CONTROLE A L'ETAT D'ARRÊT SUR - ETUDE DE LA PHASE LONG TERME

Il s'agit de démontrer la possibilité d'atteindre l'état d'arrêt sûr.

La phase long terme de l'accident de perte de vide au condenseur avec cumul du MDTE est identique à la phase long terme de l'accident de fermeture intempestive des vannes d'isolement vapeur avec cumul du MDTE (voir section 15.2.3g).

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr présentés dans le [§ 6.1.](#) étant démontré pour l'étude de fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur avec cumul du MDTE (voir section 15.2.3g), il en est de même pour l'étude de perte de vide au condenseur avec cumul du MDTE.

6.5. CONCLUSION

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 6.1.](#) est respecté.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 16/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2G.1 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
CONDITIONS INITIALES À COURT ET MOYEN TERME**

□

**TAB-15.2.2G.2 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
À COURT TERME – SÉQUENCE DESÉVÉNEMENTS**

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènement</i>
0,0	Conditions initiales RFTC minimum atteint □
1,0	Déclenchement de la turbine initié par une perte de vide au condenseur
□	Les vannes d'admission de la turbine sont fermées
7,3	Pression sortie GV > max1p □
□	AAR par haute pression GV et annulation du débit ARE
9,8	Ouverture des VDA
60,0	Fin du transitoire

**TAB-15.2.2G.3 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
À MOYEN TERME – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènement</i>
0,0	Conditions initiales
1,0	Initiateur : Déclenchement de la turbine initié par une perte de vide au condenseur
□	Les vannes d'admission de la turbine sont fermées
6,6	Atteinte du seuil de Très Haute Pression Pressuriseur
□	AAR par Très Haute Pression Pressuriseur
8,6	Ouverture de la 1ère soupape du pressuriseur
43,4	Fermeture de la 1ère soupape du pressuriseur □
58,5	Ouverture des VDA
1200,0	Fin du transitoire



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 19/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.1 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – DÉBIT ADMIS À LA TURBINE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 20/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.2 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – DÉBITS D'ALIMENTATION ARE ET PRESSIONS
DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 21/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.3 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – DÉBITS VAPEUR ET VDA**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 22/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.4 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES
PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 23/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.5 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – PRESSION PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 24/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.6 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – DÉBIT D'ASPERSION**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 25/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.7 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
MOYEN TERME – DÉBIT ADMIS À LA TURBINE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 26/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.8 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
MOYEN TERME – DÉBITS D'ALIMENTATION ARE ET PRESSIONS
DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 27/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.9 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
MOYEN TERME – DÉBITS VAPEUR ET VDA**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 28/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.10 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
MOYEN TERME – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES
PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 29/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.11 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
MOYEN TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET DÉBITS AUX
SOUPAPES DU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2G

PAGE 30/30

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2G.12 PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
MOYEN TERME – DÉBIT D'ASPERSION**

□

SOMMAIRE

.15.2.2H PERTE TOTALE D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE EXTERNE DE COURTE DURÉE (<2H), ÉTATS A, C, D ET E	4
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	4
2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	7
2.1. PHÉNOMÈNES IMPORTANTS ET QUALIFICATION DES CODES UTILISÉS	7
2.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME (ÉVALUATION DU RFTC MIN.)	8
2.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	9
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	10
3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME (ÉVALUATION DU RFTC MIN.)	10
3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	10
3.3. CONCLUSION	11
LISTE DES RÉFÉRENCES.	13

TABLEAUX :**TAB-15.2.2H.1 PTAAE (<2H) – PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS****INITIALES 14****TAB-15.2.2H.2 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS 16****TAB-15.2.2H.3 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS 17****FIGURES :****FIG-15.2.2H.1 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DÉBIT BOUCLE ET VITESSE
POMPE PRIMAIRE..... 18****FIG-15.2.2H.2 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCES CŒUR ET
TEMPÉRATURES PRIMAIRES..... 19****FIG-15.2.2H.3 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME POSITION DES GROUPES ET
PRESSION PRESSURISEUR 20****FIG-15.2.2H.4 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME RFTC 21****FIG-15.2.2H.5 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME — PUISSANCE CŒUR ET DÉBIT
PRIMAIRE 22****FIG-15.2.2H.6 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – TEMPÉRATURES
PRIMAIRES 23****FIG-15.2.2H.7 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – PPRESSION ET NIVEAU D'EAU
DANS LE PRESSURISEUR..... 24****FIG-15.2.2H.8 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT****CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – DÉCHARGE DE VAPEUR À LA**

PREMIÈRE SOUPE DU PRESSURISEUR ET PUISSANCE DES CHAUFFERETTES.....	25
FIG–15.2.2H.9 PTAAE (<2H) – DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – PRESSIONS ET NIVEAUX D’EAU DANS LES GV	26
FIG–15.2.2H.10 PTAAE (<2H) DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME - DÉBITS D’ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS VAPEUR SORTANT DES VDA.....	27
FIG–15.2.2H.11 PTAAE (<2H) DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – INTÉGRALE DE LA MASSE DÉVERSÉE DANS LE RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR.....	28

.15.2.2H PERTE TOTALE D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE EXTERNE DE COURTE DURÉE (<2H), ÉTATS A, C, D ET E

Cet événement est analysé uniquement réacteur en puissance (état A) car :

- Les états C1 et C2 sont couverts par l'étude présentée dans la section 15.2.4a, correspondant à la perte totale des alimentations électriques externes (>2h) : la température maximale atteinte en branche chaude ne dépasse pas 130° C (environ 120° C), ce qui permet de garantir le fonctionnement des trains RIS-RA en mode RA et d'assurer le respect des critères de sûreté PCC-2. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.
- Les états C3 et D sont couverts par l'étude présentée dans la section 15.2.2w, correspondant à la perte d'un train RIS-RA en mode RA dans les états C3 et D. En effet, suite à la perte totale des alimentations électriques externes (PTAEE) de courte durée (<2h), l'ensemble des trains RIS-RA en mode RA initialement en fonctionnement (3 trains dans les états C3 et D) sont arrêtés pendant 40 secondes. Le retestage des trains RIS-RA en mode RA et la prise en compte d'unaggravant unique sur un diesel de secours ne démarrant pas sur sollicitation conduit au redémarrage de 2 trains RIS-RA en mode RA, 40 secondes après la PTAEE. Les conditions de température et pression primaires n'évoluant pas significativement pendant ces 40 secondes (augmentation de température inférieure à 3° C), la suite du transitoire est en conséquence similaire à celle de la perte d'un train RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.
- L'état E est couvert par l'étude présentée dans la section 15.2.2w, correspondant à la perte d'un train RIS-RA en mode RA dans l'état E. En effet, suite à la perte totale des alimentations électriques externes (PTAEE) de courte durée (<2h), l'ensemble des trains RIS-RA en mode RA initialement en fonctionnement (trois trains en état E) sont arrêtés pendant []. Le retestage des trains RIS-RA en mode RA et la prise en compte d'un aggravant unique sur un diesel de secours ne démarrant pas sur sollicitation conduit au redémarrage de deux trains RIS-RA en mode RA, [] après la PTAEE. La section 15.2.2w en état E montre qu'avec un seul train RIS-RA en service après l'initiateur, la température de stabilisation du primaire et de la piscine BR est de []° C. L'évacuation de la puissance résiduelle est donc garantie. Cet initiateur n'entraîne pas de perte d'inventaire en eau si bien que le risque de dénoyage du cœur (en état E « hors manutention du combustible ») ou d'un élément combustible en cours de manutention [] (en état E « chargement-déchargement ») est écarté. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Une perte totale d'alimentation électrique externe entraîne la perte d'alimentation de tous les auxiliaires de l'installation, c'est-à-dire les pompes primaires, les pompes d'extraction des condensats, les pompes d'eau alimentaire normale, etc. Par conséquent, l'événement provoque une surchauffe du primaire et du secondaire avec un risque de crise d'ébullition et de surpression.

La perte d'alimentation peut être due à une perte complète du réseau extérieur ou à la perte du système de distribution électrique du site.

L'étude de la perte totale d'alimentation électrique externe de courte durée couvre également la décroissance lente de la fréquence réseau (typiquement jusqu'à 2,5 Hz/s). Des taux de décroissance de la fréquence supérieurs sont considérés comme des incidents PCC-3 et sont traités dans une autre section (voir section 15.2.3i).

Dans le cadre de la présente étude, l'alimentation électrique externe et les systèmes opérationnels permettant de rétablir le fonctionnement en puissance de la tranche sont supposés être récupérés au bout de 2 heures. L'incident de perte totale d'alimentation électrique externe d'une durée supérieure à 2 heures ainsi que le non recouvrement des systèmes opérationnels permettant un retour en puissance sont considérés comme un incident PCC-3 et sont traités dans une autre section (voir section 15.2.3b).

La réduction de l'évacuation de la puissance par le circuit secondaire (perte de l'alimentation normale des générateurs de vapeur) est accompagnée par un ralentissement du débit primaire qui réduit

encore plus la capacité du réfrigérant primaire à évacuer la puissance du cœur jusqu'à ce que les trains VDA maintiennent une pression maximale de vapeur.

Les principales caractéristiques d'une perte totale d'alimentation électrique externe conduisant à un arrêt automatique du réacteur et à un déclenchement de la turbine, sont décrites ci-dessous :

- L'instrumentation et les moteurs des vannes liés à la sûreté, comme par exemple les vannes du VDA, sont alimentés en permanence par des batteries. Les autres moteurs liés à la sûreté (exemple : pompes ASG) sont alimentés en fonction de la séquence de retestage des sources d'alimentation en courant alternatif de secours (diesel).
- Les générateurs diesel en attente, démarrés lors de la perte de tension des jeux de barres de secours de l'installation, commencent – selon la séquence de retestage des utilisateurs électriques – à alimenter les réseaux essentiels de l'installation.
- La perte de l'alimentation électrique externe conduit à une perte de l'alimentation normale des générateurs de vapeur.
- Comme la pression des lignes vapeur augmente après l'arrêt automatique du réacteur, les vannes d'isolement des lignes de décharge à l'atmosphère en amont des vannes de régulation du système VDA s'ouvrent automatiquement pour évacuer de la vapeur à l'atmosphère, le condenseur étant rapidement indisponible après la perte d'alimentation électrique externe.
- Tant que les vannes de décharge à l'atmosphère ne peuvent évacuer correctement la puissance résiduelle, un échauffement du fluide primaire est observé ; l'aspersion normale n'étant pas disponible, les soupapes du pressuriseur peuvent être sollicitées pour limiter l'augmentation de la pression primaire. Une fois que les générateurs de vapeur évacuent correctement la puissance résiduelle, la température et la pression du fluide primaire se stabilisent puis décroissent.
- Plus tard, l'évacuation de la puissance résiduelle est facilitée par le démarrage des pompes ASG ; ces pompes sont démarrées automatiquement suite à la sollicitation du signal de bas niveau dans les générateurs de vapeur, ou plus tôt par l'opérateur.

Protections

Le signal d'arrêt automatique du réacteur par « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4 assure la protection du cœur contre la perte de débit due à une perte totale d'alimentation électrique externe (PTAEE). Le signal de compte-rendu d'AAR provoque le déclenchement de la turbine (si celui-ci n'a pas eu lieu plus tôt) et l'isolement des lignes grand débit de l'eau alimentaire normale (mais celle-ci est rapidement perdue suite à la perte de l'alimentation électrique externe).

Les autres signaux de protection sollicités sont le signal « Haute Pression secondaire » pour l'ouverture des vannes d'isolement du VDA, GV par GV, et éventuellement le signal de « Bas Niveau GV » pour le démarrage de l'ASG, GV par GV.

Critères d'études

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère en RFTC supérieur à 1,0.
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \bar{m} permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.

Le respect du critère en puissance linéique (phase court terme), qui constitue un critère technique d'acceptation vis-à-vis de la non fusion du combustible, ne fait l'objet d'aucune vérification spécifique

dans la présente section. En effet, le transitoire de perte totale d'alimentation électrique externe étant rapide, les températures du combustible sont peu sensibles à la dégradation de l'évacuation de la puissance par le fluide primaire et elles sont pilotées essentiellement par la puissance nucléaire qui ne fait que décroître en transitoire. Il n'y a donc pas de problème de sûreté lié à la température du combustible pour ce transitoire.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

En pratique, pour ce transitoire, un retour en puissance de la tranche est considéré au plus tard 2 heures après l'événement initiateur. Il n'est donc pas nécessaire de rejoindre l'état d'arrêt sûr.

Par ailleurs, en cas de perte d'un matériel nécessitant un repli de la tranche (suite à un événement STE) ou de l'apparition d'un signal engendrant l'entrée en CIA, l'opérateur serait amené à effectuer un repli vers les conditions de connexion des trains RIS-RA afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr. Cette démonstration est couverte par l'étude de la perte des alimentations électriques supérieure à 2h présentée dans la section 15.2.3b.

État contrôlé

Pour atteindre l'état contrôlé (arrêt à chaud), les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- L'AAR est déclenché à partir du signal suivant : « basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4 [] .
- 4 trains VDA pour l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation de la pression [] ,
- le prépositionnement de la vanne réglante VDA selon le niveau de puissance,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV lorsque le niveau GV < [] % Gamme Large,
- 3 soupapes de sûreté du pressuriseur pour limiter la pression du RCP avec des seuils à [] bar abs (1^{ère} soupape pressuriseur), [] bar abs (2^{ème} soupape pressuriseur) et [] bar abs (3^{ème} soupape pressuriseur).

De l'événement initiateur à l'état contrôlé, le transitoire peut être divisé en deux phases distinctes :

- La phase « court terme », caractérisée par une diminution rapide du RFTC et un risque d'apparition de la crise d'ébullition, c'est-à-dire les premières secondes du transitoire,
- la phase « moyen terme », au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur doit être assurée et pour laquelle la masse de vapeur déchargée dans le RDP doit rester inférieure à la masse qui entraînerait la rupture des disques de ce dernier. La phase moyen terme se poursuit jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé.

Dans la phase à moyen terme, la prise en compte de la maintenance préventive et d'un aggravant peut conduire à la perte d'un ou de deux systèmes décrits ci-dessus.

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Pour l'évolution du transitoire jusqu'à obtention de l'état contrôlé, les deux phases susmentionnées (court terme pour le RFTC, moyen terme pour le comportement global de l'installation) doivent être étudiées séparément. []

Le transitoire de PTAAE se produit à l'instant $t = 0$ s pour l'étude des phases court et moyen terme.

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus anti-réactive)	Sans objet
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus anti-réactive)	1 pompe ASG (ou 1 diesel conduisant également à perdre 1 pompe ASG)

Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour la phase court terme, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

2.1. PHÉNOMÈNES IMPORTANTS ET QUALIFICATION DES CODES UTILISÉS

La famille d'événements analysée est la perte totale ou partielle du débit primaire.

Dans le cas présent, avec la PTAAE, toutes les pompes primaires sont perdues ainsi que l'alimentation normale en eau du côté secondaire et le condenseur.

Phénomènes

Côté primaire

Perte du débit primaire et réduction de l'échange thermique primaire/secondaire

Arrêt automatique du réacteur, rapidement après le début du transitoire, à un débit primaire relativement élevé puis réduction de la puissance du réacteur jusqu'à la puissance résiduelle et échange thermique par circulation naturelle.

Évacuation de la puissance résiduelle par les trains VDA à pression de vapeur constante

Après arrêt automatique du réacteur, augmentation de la température du réfrigérant primaire et de la pression primaire, les soupapes de sûreté du pressuriseur pouvant alors être sollicitées pour limiter la pression maximale.

Côté secondaire

Accroissement de la pression vapeur principale dû au déclenchement de la turbine et à la fermeture des vannes de contournement au condenseur

Ouverture des trains VDA pour maintenir une pression vapeur constante à charge nulle

Aucun découvrément du faisceau tubulaire n'est observé et les séparateurs ne sont pas noyés.

Mise en service de l'alimentation de secours des GV (ASG), secourue par les générateurs diesel, pour assurer l'évacuation de la puissance à long terme.

Comportement du cœur vis-à-vis de sa puissance et du RFTC

Échange thermique dans le canal moyen et le canal chaud jusqu'à l'insertion des grappes de contrôle du fait de l'arrêt automatique du réacteur.

Puissance neutronique (intégrale et locale) dépendant des paramètres thermo-hydrauliques. Comportement du réfrigérant en fonction de la chute de pression et du débit transverse.

Codes et Qualification

□

2.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME (ÉVALUATION DU RFTC MIN.)

1) **Méthodes d'analyse**

□

L'analyse du transitoire RFTC est basée sur l'approche suivante : la perte du débit de réfrigérant primaire due à une perte totale d'alimentation électrique externe est potentiellement l'événement PCC-2 limitatif vis-à-vis du RFTC. Afin de garantir que le RFTC ne puisse pas descendre en-dessous de la limite de conception de 1,0, on détermine l'assemblage chaud qui conduit au RFTC minimal absolu au cours du transitoire. La variation de RFTC pour cet assemblage en transitoire de PTAAE est alors calculée selon la formule suivante :

$$\Delta RFTC = \frac{RFTC_{initial} - RFTC_{min}}{RFTC_{min}}$$

Le $\Delta RFTC$ ainsi obtenu est utilisé pour déterminer le seuil de l'alarme « bas RFTC » dans le cadre de la conception thermo-hydraulique (voir sous-chapitre 4.4).

2) **Données neutroniques et thermiques**

Les données neutroniques et thermiques considérées afin de pénaliser le transitoire sont les suivantes :

- Le coefficient de température modérateur est choisi minimum en valeur absolue □ (voir sous-chapitre 4.3) □.
- Le coefficient de transfert thermique du jeu pastille/gaine est minimum et constant au cours du transitoire □.
- La fraction effective de neutrons retardés est maximum □ (voir sous-chapitre 4.3).

3) **Conditions initiales et limites**

Les conditions initiales ont été sélectionnées de manière à être les plus pénalisantes vis-à-vis du risque d'entrée en crise d'ébullition.

Les principales hypothèses sont listées dans le [TAB-15.2.2h.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

4) **Hypothèses relatives aux systèmes**


GMPP


La courbe de ralentissement du débit du cœur prend en compte, de manière pénalisante, une inertie minimisée des pompes primaires. Cette courbe, ainsi que la courbe de ralentissement de la vitesse des pompes primaires, est présentée en figure [FIG-15.2.2h.1](#).

Système de protection

L'arrêt automatique du réacteur est sollicité par le signal de « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4 ; ce signal est associé au permissif P12.




Par conservatisme, le temps de chute des grappes considéré prend en compte le séisme. Il est maximal  (voir sous-chapitre 15.1).

L'efficacité intégrale de l'arrêt automatique du réacteur (N-1 grappes) est diminuée de son incertitude . Une valeur enveloppe prenant en compte la dispersion entre cycles et les pénalités pour modèles perturbés (tilt, FPPR, SCTR) est retenue.

De façon découplée, le déclenchement turbine est supposé avoir lieu sans retard sur le signal d'AAR.

5) **Vérification du critère en RFTC**

La valeur minimale du RFTC est calculée de manière découplée pour l'assemblage chaud, tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issue du transitoire neutronique.
- Le facteur d'élévation d'enthalpie est maximal  (voir sous-chapitre 4.3) ; il est associé à une distribution radiale de puissance cœur dite « de conception » (voir sous-chapitre 4.4).
- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et températures primaires) sont issues du transitoire neutronique.

2.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

1) **Méthodes d'analyse**



L'analyse doit permettre de vérifier la non rupture du Réservoir de Décharge du Pressuriseur (RDP), permettant d'écartier le risque de rejets dans l'enceinte de confinement. Dans cette approche, si une soupape SEMPELL est sollicitée, sa non-refermeture est exclue du champ d'application de l'aggravant unique.

Il s'agit enfin de vérifier, avec les règles d'étude définies dans la section 15.0.2, que l'état contrôlé est atteint.

2) **Conditions initiales et limites**

Les conditions initiales utilisées, les hypothèses relatives au cœur et les hypothèses relatives aux régulations sont précisées dans le [TAB-15.2.2h.1](#). Ce tableau précise également les hypothèses concernant l'aggravant et la maintenance préventive.

Les hypothèses retenues visent à favoriser la sollicitation de la première soupape du pressuriseur et à pénaliser la masse de vapeur déchargée dans le RDP. Ce sont donc les hypothèses qui conduisent à la plus grande dilatation du fluide primaire avant l'atteinte de l'état contrôlé. Ainsi, en particulier :

- Le point de fonctionnement initial retenu est le point de fonctionnement limite en prolongation de cycle à pleine puissance, avec un débit primaire maximal et une surface d'échange primaire/secondaire nominale : ces conditions couvrent celles du cycle naturel, car elle conduisent à une température moyenne primaire initiale minimale à pleine puissance, ce qui conduit d'une part à une masse d'eau primaire initiale plus élevée qu'en cycle naturel (le niveau d'eau dans le pressuriseur est quasiment le même qu'en cycle naturel), et d'autre part à un échauffement plus important du fluide primaire entre l'instant initial et l'état contrôlé.
- Les hypothèses retenues visent à favoriser l'échauffement du fluide primaire après l'arrêt automatique du réacteur (l'aggravant concerne une grappe bloquée hors du cœur, la puissance résiduelle est maximale, les chaufferettes secourues sont prises en compte).

De manière pénalisante, une inertie minimale des pompes primaires est prise en compte.

3) **Hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde**

Les principaux paramètres ayant un impact sur l'instant d'ouverture de la première soupape du pressuriseur et des vannes d'isolement du VDA sont :

- le seuil d'ouverture des vannes d'isolement du VDA (Max1p),
- l'instant de déclenchement de la turbine.

Arrêt automatique du réacteur

L'arrêt automatique du réacteur est sollicité par le signal « Basse vitesse GMPP » (classé F1A) dans 2 boucles sur 4 ; ce signal est associé au permissif P12.

□

Le transitoire de PTAAE <2h étant un transitoire PCC-2, le temps de chute des grappes considéré ne prend pas en compte le séisme. Il est maximal □ (voir sous-chapitre 15.1).

Déclenchement de la turbine

La fermeture des vannes de déclenchement turbine est supposée avoir lieu à l'instant de la perte des alimentations électriques, c'est-à-dire à l'instant initial du transitoire.

Ouverture des vannes VDA

L'ouverture des vannes d'isolement de la décharge à l'atmosphère est provoquée par le signal « Haute Pression GV » (Max1p) (classé F1A). Les vannes de contrôle du VDA sont prépositionnées avec la baisse de puissance causée par l'AAR (la régulation du prépositionnement est classée F1A).

La capacité des vannes du VDA est supposée maximale dans le but d'accentuer la dépressurisation primaire.

□

Démarrage de l'ASG

Les pompes ASG démarrent sur signal « Bas Niveau GV » (classé F1A).

□

On prend en compte un débit minimal □, et une température maximale de l'eau de secours □.

Soupapes du pressuriseur

La première soupape du pressuriseur est supposée s'ouvrir à □ bar abs □ ; sa capacité est supposée maximale, et l'hystérésis pris en compte pour la refermeture de la soupape est de □ bar. Le temps de fermeture de la soupape est pris maximal □.

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME (ÉVALUATION DU RFTC MIN.)

La séquence des événements du transitoire se trouve dans le tableau [TAB-15.2.2h.2](#). Les principaux paramètres du transitoire sont représentés sur les figures [FIG-15.2.2h.1](#) à [FIG-15.2.2h.4](#).

L'étude de la phase court terme montre que dans les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire avec la valeur maximale du $F\Delta H$ et la distribution axiale de puissance pénalisante de l'assemblage chaud (le plus pénalisant vis-à-vis du critère en RFTC), le $RFTC_{min}$ atteint au cours du transitoire est inférieur au critère technique d'acceptation de 1,0. La pression a donc été augmentée, de sorte à ce que le RFTC min soit juste supérieur à 1,0 (ce mode de recalage est légèrement plus pénalisant pour le $\Delta RFTC$ qu'un recalage via la distribution axiale de puissance).

Les résultats obtenus pour l'assemblage chaud, présentés sur la figure [FIG-15.2.2h.4](#), conduisent à la variation de RFTC suivante au cours du transitoire de PTAAE : $\Delta RFTC = \square\%$. Cette valeur est augmentée de □% de provisions pour aléas.

La valeur conservatrice de $\Delta RFTC$ ainsi obtenue, soit □%, est utilisée pour déterminer le seuil de l'alarme « bas RFTC » dans le cadre de la conception thermo-hydraulique (voir sous-chapitre 4.4).

3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

La séquence des événements du transitoire est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2h.3](#). Les principaux paramètres du transitoire sont représentés sur les figures [FIG-15.2.2h.5](#) à [FIG-15.2.2h.11](#).

La PTAAE entraîne la perte des pompes primaires, ce qui conduit à une forte décroissance du débit du réfrigérant primaire. Le déclenchement de la turbine intervenant à l'instant de la perte des

alimentations conduit à une augmentation des pressions secondaires et à une dégradation de l'échange de puissance entre le primaire et le secondaire. Cette dégradation, conjuguée à la perte de débit primaire, entraîne un échauffement et une dilatation du fluide primaire, qui provoque l'augmentation de la température moyenne primaire et, par conséquent, de la pression primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur. Un premier pic de pression primaire [] est rapidement atteint.

Du fait de la perte des pompes primaires, l'arrêt automatique du réacteur intervient rapidement sur le signal de « Basse vitesse GMPP », et conduit à la chute des grappes []. L'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité du cœur ($keff < 1$).

La baisse sensible de puissance qui suit la chute des grappes entraîne une baisse brutale des températures en branches chaudes, de la pression primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur. Du fait de la dégradation de l'échange de puissance entre le primaire et le secondaire, la pression primaire augmente de nouveau après la forte baisse observée suite à la chute des grappes. Cette montée en pression du circuit primaire provoque l'ouverture de la première soupape du pressuriseur vers 45 s, qui conduit à une décharge vapeur de [] tonnes dans le RDP. Cette valeur est inférieure à la masse [] entraînant la rupture des disques du RDP [].

L'ouverture de la première soupape du pressuriseur entraîne également une baisse rapide de la pression primaire qui provoque le démarrage des chaufferettes tout ou rien secourues par les diesels afin d'amener la pression primaire à sa valeur de consigne. La pression primaire augmente donc de nouveau mais n'atteint plus le seuil d'ouverture des soupapes du pressuriseur au cours du transitoire. Le critère technique d'acceptation lié à l'intégrité du RDP est donc respecté, les rejets radiologiques restent tolérables et l'inventaire en eau du circuit primaire reste stable.

L'augmentation de la pression secondaire conduit à l'ouverture des vannes d'isolement des VDA sur signal de Haute Pression GV [] vers 135 s. Les trains VDA assurent alors un maintien de la pression secondaire autour de [] bar. La température moyenne primaire cesse d'augmenter et la pression primaire se stabilise à environ [] bar, en dessous de la pression de tarage des soupapes du pressuriseur. Puis elles décroissent lentement, l'évacuation de la puissance résiduelle étant assurée par le VDA. Si l'opérateur n'intervient pas plus tôt, l'ASG démarre automatiquement, GV par GV, lorsque le signal de Bas Niveau GV est atteint ; l'injection d'eau froide dans les GV augmente sensiblement l'échange primaire-secondaire, température et pression primaires décroissent alors plus rapidement. La puissance résiduelle est alors évacuée par les GV via les VDA et l'ASG garantissant ainsi le respect du critère technique d'acceptation.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation relatifs à l'intégrité du RDP et à l'atteinte de l'état contrôlé, présentés au § 1., est donc respecté. L'état contrôlé est donc atteint

3.3. CONCLUSION

La présente analyse démontre que l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le § 1. est vérifié :

- Le critère technique d'acceptation d'« absence de crise d'ébullition » est respecté, le risque d'endommagement du combustible et de la gaine est écarté (voir § 3.1.).
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible est garantie par l'arrêt automatique du réacteur suivie d'une baisse continue de la puissance nucléaire permettant d'écarter toute hausse significative de la température du combustible.
- L'intégrité du RDP est garantie par l'absence de rupture des disques du RDP (voir § 3.2.).

L'état contrôlé est atteint :

- La sous-criticité du cœur est garantie par la chute des grappes.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée par le secondaire via les VDA et l'ASG.
- L'inventaire en eau du circuit primaire est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables via le respect des critères techniques d'acceptation susmentionnés.

Dans le cadre de la présente étude, l'alimentation électrique externe et les systèmes opérationnels permettant de rétablir le fonctionnement en puissance de la tranche sont supposés être récupérés au bout de 2 heures.

- Il n'est donc pas nécessaire de rejoindre l'état d'arrêt sûr (connexion des trains RIS-RA en mode RA) dans ce transitoire suite à l'atteinte de l'état contrôlé sauf en cas d'indisponibilité d'un ou plusieurs matériels provoquant l'entrée en CIA.
- Si aucun matériel provoquant l'entrée en CIA n'est indisponible et que les alimentations externes sont récupérées, le réacteur amorce un retour en puissance à l'aide de systèmes de conduite normale, indépendamment de leur classement. Toutefois, l'amorçage d'un repli peut être imposée par les STE en cas d'indisponibilité de systèmes de sauvegarde.

La démonstration de l'atteinte d'un état de repli aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA suite à une entrée en CIA ou un requis STE, est couverte par la démonstration présentée dans la section 15.2.3b (scénario de perte des alimentations électriques externes supérieure à 2h).



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 13/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

TAB-15.2.2H.1 PTAAE (<2H) – PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES

□



□

TAB-15.2.2H.2 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

Instant (s)	Evènement
0,00	Initiateur du transitoire : PTAAE Perte de l'alimentation électrique des GMPP et de l'alimentation en eau des GV, extinction des chaufferettes du pressuriseur
1,40	Le seuil d'AAR par « Basse vitesse GMPP » est atteint
□	Déclenchement turbine
□	Début de la chute des grappes
2,30	Instant de $RFTC_{min}$ □ □ □ □ □ □ □
3,00	Instant d'atteinte de la pression seuil □ qui déclencherait l'aspersion normale du pressuriseur (non prise en compte)
4,05	Instant d'atteinte de la pression maximum au pressuriseur □

TAB-15.2.2H.3 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

Instant (s)	Evènement
0,0	Initiateur du transitoire : PTAAE Perte de l'alimentation électrique des GMPP et de l'alimentation en eau des GV, extinction des chaufferettes du pressuriseur et Déclenchement Turbine
1,55	Franchissement du seuil d'AAR par « Basse vitesse GMPP »
□	Début de la chute des grappes
44,7	Ouverture de la première soupape du pressuriseur
79,6	Fermeture de la soupape du pressuriseur
135,1	Ouverture des vannes d'isolement du VDA
2287,1	Démarrage automatique de l'ASG du GV de la boucle portant le pressuriseur
2293,6	Démarrage de l'ASG dans les autres GV



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 18/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2H.1 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DÉBIT BOUCLE ET
VITESSE POMPE PRIMAIRE**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 19/28

**FIG-15.2.2H.2 PTAEE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCES CŒUR ET
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 20/28

**FIG-15.2.2H.3 PTAEE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME POSITION DES GROUPES ET
PRESSION PRESSURISEUR**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 21/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2H.4 PTAEE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ - ÉTUDE COURT TERME RFTC**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 22/28

**FIG-15.2.2H.5 PTAEE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME — PUISSANCE CŒUR ET
DÉBIT PRIMAIRE**

□

**FIG-15.2.2H.6 PTAEE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – TEMPÉRATURES
PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 24/28

**FIG-15.2.2H.7 PTAEE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – PRESSION ET NIVEAU
D'EAU DANS LE PRESSURISEUR**

□

**FIG-15.2.2H.8 PTAEE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ - ÉTUDE MOYEN TERME - DÉCHARGE DE VAPEUR À
LA PREMIÈRE SOUPE DE PRESSURISEUR ET PUISSANCE DES
CHAUFFERETTES**

□

FIG-15.2.2H.9 PTAAE (<2H) – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – PRESSIONS ET NIVEAUX D'EAU DANS LES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 27/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2H.10 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ - ÉTUDE MOYEN TERME - DÉBITS
D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS VAPEUR SORTANT DES VDA**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2H

PAGE 28/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2H.11 PTAAE (<2H) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME – INTÉGRALE DE LA MASSE DÉVERSÉE DANS LE RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR

□

SOMMAIRE

.15.2.21 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE (PERTE DES 4 POMPES ARE ET DE LA POMPE AAD)	8
1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	8
1.1. DÉFINITION	8
1.2. CAUSES	8
2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	8
2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	8
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	10
3. MOYENS DE PROTECTION	11
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	11
5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	11
5.1. COURT TERME	11
5.1.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	11
5.1.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	11
5.1.3. RÉSULTATS	13
5.2. MOYEN TERME	13
5.2.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	13
5.2.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	14
5.2.3. RÉSULTATS	15
5.3. CONCLUSION	16
6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	16
6.1. LONG TERME AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DU FONCTIONNEMENT DU RCV – DIMENSIONNEMENT DU SEUIL DE REPLI VERS LES CONDITIONS DE CONNEXION DU RIS-RA EN MODE RA	16
6.1.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	16
6.1.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	16
6.1.3. RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES	19
6.1.4. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	20

6.2. LONG TERME SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DU FONCTIONNEMENT DU RCV	22
6.2.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	22
6.2.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	22
6.2.3. RÉSULTATS	26
7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	27
7.1. CRITÈRES D'ETUDES	27
7.2. MOYENS DE PROTECTION	28
7.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	28
7.4. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME ET ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	29
7.4.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	29
7.4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	29
7.4.3. RÉSULTATS	30
7.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	30
7.5.1. LONG TERME AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DU FONCTIONNEMENT DU RCV	30
7.5.2. LONG TERME SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DU FONCTIONNEMENT DU RCV	31
8. CONCLUSION	33

TABLEAUX :

TAB-15.2.21.1 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – CONDITIONS INITIALES À COURT, MOYEN ET LONG TERME AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV	34
TAB-15.2.21.2 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – CONDITIONS INITIALES À LONG TERME SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV.....	35
TAB-15.2.21.3 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	36
TAB-15.2.21.4 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS.....	37
TAB-15.2.21.5 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	38
TAB-15.2.21.6 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	39
TAB-15.2.21.7 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – CONDITIONS INITIALES À COURT TERME	41
TAB-15.2.21.8 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	42

FIGURES :

FIG-15.2.2I.1 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS ARE	43
FIG-15.2.2I.2 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBIT ADMIS À LA TURBINE ET PRESSIONS DES GV	44
FIG-15.2.2I.3 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – NIVEAUX GV GAMME ÉTROITE ET DÉBITS VDA	45
FIG-15.2.2I.4 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES	46
FIG-15.2.2I.5 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET NIVEAUX GV GAMME LARGE	47
FIG-15.2.2I.6 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – DÉBITS ARE	48
FIG-15.2.2I.7 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – NIVEAUX GV GAMME ÉTROITE ET DÉBIT ADMIS À LA TURBINE	49
FIG-15.2.2I.8 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – PRESSIONS DES GV ET DÉBITS VDA	50
FIG-15.2.2I.9 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES	51

FIG-15.2.2I.10 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET DÉBITS AUX SOUPAPES DU PRESSURISEUR.....	52
FIG-15.2.2I.11 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – NIVEAUX GV GAMME LARGE ET DÉBITS ASG.....	53
FIG-15.2.2I.12 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – PUISSANCE CŒUR/GVS ET DÉBITS MASSIQUES DU PRIMAIRE	54
FIG-15.2.2I.13 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – PRESSION PRESSURISEUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	55
FIG-15.2.2I.14 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – NIVEAUX PRESSURISEUR ET GV GAMME LARGE	56
FIG-15.2.2I.15 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – MASSE ASG INJECTÉE ET PRESSION GV.....	57
FIG-15.2.2I.16 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –	

ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE	58
FIG–15.2.2I.17 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR– ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – DÉBITS VAPEUR VDA	59
FIG–15.2.2I.18 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – PUISSANCE CŒUR/ GVS ET DÉBITS MASSIQUES DU PRIMAIRE	60
FIG–15.2.2I.19 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – PRESSION PRESSURISEUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES	61
FIG–15.2.2I.20 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – NIVEAUX PRESSURISEUR ET GV GAMME LARGE	62
FIG–15.2.2I.21 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – MASSE ASG INJECTÉE ET PRESSION GV	63
FIG–15.2.2I.22 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE	64

FIG-15.2.21.23 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – DÉBITS MASSIQUES RBS, ISMP ET ISBP.....	65
FIG-15.2.21.24 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – DÉBITS VAPEUR VDA.....	66
FIG-15.2.21.25 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS ARE ET DÉBITS VOLUMIQUES PRIMAIRES	67
FIG-15.2.21.26 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTROLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBIT ADMIS À LA TURBINE ET PRESSIONS DES GV	68
FIG-15.2.21.27 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – NIVEAUX GV GAMME ÉTROITE ET DÉBITS VDA	69
FIG-15.2.21.28 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES	70
FIG-15.2.21.29 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET NIVEAUX GV GAMME LARGE	71
FIG-15.2.21.30 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – ÉVOLUTIONS DE LA TEMPÉRATURE AU CENTRE DE LA PASTILLE ET DE LA TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ	72

.15.2.21 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE (PERTE DES 4 POMPES ARE ET DE LA POMPE AAD)

Le transitoire étudié dans cette section correspond à la perte de l'eau alimentaire normale, alors que le réacteur est dans le domaine de fonctionnement défini par l'État A (de l'arrêt à chaud au fonctionnement en pleine puissance).

Le transitoire est étudié :

- à court terme, vis-à-vis de la crise d'ébullition et de la puissance linéique,
- à moyen terme (jusqu'à l'état contrôlé), vis-à-vis de l'intégrité du RDP,
- à long terme (de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr), vis-à-vis de la consommation d'ASG.

1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1. DÉFINITION

On étudie la perte de l'eau alimentaire normale, alors que le réacteur est dans les conditions de fonctionnement définies par l'État A.

1.2. CAUSES

Ce transitoire peut être causé par :

- l'isolement des lignes d'alimentation normale des GV ou par la défaillance des vannes réglantes ARE, ou
- la défaillance des pompes alimentaires normales, ou
- l'activation intempestive du signal « bas niveau dans la bache ADG » qui conduit au déclenchement des pompes alimentaires normales et de la pompe de démarrage et d'arrêt (AAD).

2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

De l'initiateur à l'état contrôlé

La perte de l'eau alimentaire normale entraîne, alors que le réacteur est en puissance, une diminution du niveau d'eau dans les GV.

Elle a pour conséquence de réduire la capacité du système secondaire à évacuer l'énergie produite dans le cœur.

L'annulation de l'alimentation des générateurs de vapeur limite l'échange entre le primaire et le secondaire. Cette dégradation de l'échange conduisant à un échauffement du primaire, il y a risque d'atteindre la crise d'ébullition dans le cœur tant qu'il n'y pas eu d'arrêt automatique du réacteur et chute des grappes.

Après la chute des grappes, ce transitoire peut également conduire à une surpression dans le circuit primaire et à la décharge de fluide primaire aux soupapes du pressuriseur, tant que la puissance résiduelle n'est pas correctement évacuée au secondaire. Il y a donc un risque de rupture des disques du RDP et de rejets dans l'enceinte.

Le signal « perte d'une pompe ARE » qui génère un arrêt partiel du réacteur, une réduction de la charge à la turbine ainsi qu'une alarme en salle de commande principale n'est pas valorisé car il n'est pas classé F1. Il en va de même pour la fonction de chute de toutes les grappes sur signal de « perte d'eau alimentaire normale ». La limitation « Bas RFTC » peut aussi être atteinte mais elle n'est pas valorisée.

L'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est provoqué :

- par le signal « Bas RFTC »,
- ou par le signal « Bas Niveau GV » (seuil MIN1p),
- ou par le signal « Haute Pression Pressuriseur » (seuil MAX2p).

Côté secondaire, l'AAR provoque le déclenchement de la turbine. La montée en pression dans les générateurs de vapeur après le déclenchement de la turbine conduit à l'ouverture des vannes du GCT (Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur), ou à l'ouverture (seuil MAX1p) des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA) dans les GV concernés, si le GCT est indisponible.

Le niveau d'eau dans les GV va continuer à diminuer jusqu'à atteindre finalement le niveau correspondant au signal de « Bas Niveau GV » (seuil MIN2p). Les pompes ASG sont alors mises en service dans les GV concernés permettant ainsi l'évacuation de la puissance résiduelle.

Atteinte de l'état d'arrêt sûr

L'état d'arrêt sûr est défini comme étant l'état pour lequel le cœur est sous-critique, les rejets radiologiques restent tolérables et la puissance résiduelle est durablement évacuée. La puissance résiduelle est durablement évacuée lorsque les trains RIS-RA sont connectés en mode RA.

Cas réaliste (en considérant l'aggravant et/ou la maintenance préventive sur 1 train ASG) :

A l'issue de la phase automatique, l'opérateur constate qu'au moins un GV est inutilisable sur le critère niveau GV < \square % GL. Ce diagnostic conduit l'opérateur à passer en arrêt à froid et à réaliser un refroidissement immédiat jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

Cas étude :

En raison du refroidissement initié dès l'entrée dans la phase automatique, cette conduite n'est pas pénalisante vis-à-vis du critère de la consommation des bâches ASG ; par conséquent pour la présente étude, on suppose (de manière découplée pour le choix de la conduite) que tous les GV sont utilisables. Cette hypothèse d'étude permet de suivre une conduite incidentelle conduisant, après une phase de stabilisation à une durée de refroidissement plus longue, ce qui est plus pénalisant pour le calcul de volume MIN utile restant disponible dans les bâches ASG au moment du repli vers les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

En conduite incidentelle, la séquence d'opérations à appliquer par l'opérateur pour atteindre l'état d'arrêt sûr est divisée en deux phases :

Stabilisation

Le but de cette phase est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. La stabilisation se poursuit tant que le seuil MIN de la somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables n'est pas atteint. Une fois ce niveau atteint, trois GMPP sur quatre sont arrêtés et le repli en arrêt à froid sur RIS-RA en mode RA est requis.

Passage en état de repli :

Au cours de cette phase, l'opérateur est amené à effectuer une borication à l'aide du RBS au cours du refroidissement. Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été injecté, le RBS est mis à l'arrêt.

Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants. Le circuit primaire est dépressurisé par l'aspersion normale (les soupapes du pressuriseur sont utilisées en cas d'indisponibilité de l'aspersion normale) et les accumulateurs sont isolés au cours de la dépressurisation.

Lorsque le primaire atteint une pression de 32 bar et une température branche chaude de 180 °C, le permissif P14 est validé. Dès que le volume total des bâches ASG n'est plus suffisant ou que la température sortie cœur est inférieure à 135°C, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Passage en Arrêt à Froid (PAF) avec IS

En cas de signal IS lors de la phase de stabilisation en conduite incidentelle, un test d'intégrité primaire est réalisé. Si à l'issue de ce test, une fuite primaire est détectée, le circuit primaire est identifié comme non intègre et l'opérateur est redirigé vers la conduite de Passage en Arrêt à Froid avec IS.

Dans ce cas, l'opérateur lance un refroidissement et effectue une borication à l'aide du RBS. Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été injecté, le RBS est mis à l'arrêt. A l'issue de la phase d'arrêt des ISMP, le circuit primaire est dépressurisé par l'aspersion normale (les soupapes du pressuriseur sont utilisées en cas d'indisponibilité de l'aspersion normale) et les accumulateurs RIS sont isolés au cours de la dépressurisation.

Lorsque le primaire atteint une pression de 32 bar et une température branche chaude de 180 °C, le permissif P14 est validé et la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée. L'état d'arrêt sûr est atteint.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les critères et objectifs de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les transitoires PCC-2 et sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère RFTC supérieur à 1 car la chaîne bas RFTC est sollicitée (voir sous-chapitre 4.4).
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de décharge du pressuriseur sont sollicitées.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontré (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être respectés :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).

- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au [§ 2.1.](#), les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Haute Pression Pressuriseur » (seuil MAX2p), sur signal « Bas Niveau GV » (seuil MIN1p) ou sur signal « Bas RFTC »,
- ouverture automatique de la vanne d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression secondaire » (seuil MAX1p) GV par GV,
- démarrage d'une pompe ASG sur signal « Bas Niveau GV » (seuil MIN2p) GV par GV,
- signal IS (démarrage de l'injection de sécurité, isolement du circuit primaire) sur signal « Basse Pression Pressuriseur » ou signal « Bas ΔP_{sat} » après activation du permissif P12,
- émission du permissif P14 sur seuils de pressions et températures en branches chaudes.

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Parmi les initiateurs retenus dans le [§ 1.2.](#), le cas le plus défavorable est l'activation intempestive du signal « bas niveau dans la bache ADG » car il conduit au déclenchement des pompes alimentaires normales et de la pompe de démarrage et d'arrêt (AAD) et donc à la perte totale de l'eau alimentaire normale des GV.

5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

5.1. COURT TERME

5.1.1. Méthodes et codes de calcul

□

5.1.2. Hypothèses d'études

5.1.2.1. État initial

On suppose le réacteur initialement à puissance maximale, en cycle naturel. Le tableau [TAB-15.2.2i.1](#) présente les conditions initiales retenues.

Les incertitudes sur le niveau GV initial sont choisies de façon à retarder l'AAR par « Bas Niveau GV ». A l'instant initial, le niveau est majoré, cependant l'incertitude procédé devant être considérée dans le même sens sur le niveau GV initial et sur les seuils de protection □ :

□

Le premier pas du fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par le transitoire réalisé en cycle naturel car il est initié à une température primaire inférieure (pour un même niveau de puissance et une pression primaire identique), ce qui est favorable vis à vis du RFTC.

Pour les pas de fonctionnement en prolongation de cycle suivants, la puissance est réduite. La durée de vidange des GV est donc plus lente et le temps d'atteinte du signal « Bas Niveau GV » plus tardif. La dynamique du transitoire étant plus lente, si l'efficacité de la chaîne d'AAR par bas RFTC est

démontrée pour un transitoire initié à 100%PN, elle ne peut être remise en cause pour un niveau de puissance inférieur (le bon dimensionnement des modules avance-retard ayant été vérifié pour un transitoire plus rapide). De plus l'effet favorable vis-à-vis du RFTC de la diminution de puissance et de température est prépondérant par rapport à l'effet pénalisant de la diminution de pression.

Par conséquent, l'étude du transitoire en cycle naturel permet de couvrir les transitoires en prolongation de cycle.

5.1.2.2. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

L'aggravant choisi est la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur, de façon à minimiser la baisse de puissance au moment de la chute des grappes.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cette phase du transitoire, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

5.1.2.3. Hypothèses cœur

□

De manière conservatrice, la puissance neutronique est supposée constante jusqu'à l'AAR. Après l'AAR, la courbe de puissance résiduelle, terme A+B+C, □ avec N-1 grappes et sans séisme est utilisée (cf. sous-chapitre 15.1).

□

5.1.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

La régulation de la pression du pressuriseur via l'aspersion normale est prise en compte car elle est pénalisante vis-à-vis du RFTC (la prise en compte des chaufferettes n'a pas d'impact sur le transitoire car la pression primaire ne fait qu'augmenter avant l'AAR). Le débit d'aspersion normale est majoré □ de manière à dépressuriser au maximum le circuit primaire. La première soupape du pressuriseur s'ouvre □ avec un débit majoré □ (cf. sous-chapitre 15.1). Un temps d'ouverture nul est retenu.

Le débit à la turbine est constant jusqu'au déclenchement de la turbine.

La pression d'ouverture du GCT est plus basse que celle des VDA. La prise en compte du GCT favorise donc l'évacuation de la puissance résiduelle. De manière enveloppe, le GCT n'est pas valorisé et les vannes VDA sont modélisées dans ce transitoire. La capacité des vannes de contrôle du VDA est prise minimale □ et le point de consigne d'ouverture maximal □ (cf. sous-chapitre 15.1). La régulation de pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA est prise en compte. Ce contrôle du pré-positionnement est classé F1A.

Les autres fonctions de régulation ne sont pas prises en compte car elles sont soit sans impact soit favorables vis-à-vis du RFTC.

Aucune fonction d'aide à l'opérateur n'est prise en compte dans cette étude.

Les fonctions de limitation pouvant intervenir dans le transitoire ne sont pas valorisées.

5.1.2.5. Hypothèses protections

Les trois signaux d'AAR modélisés sont :

- le signal « Bas RFTC » (classé F1A) □
□
délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : □ s (valeur maximale □).
- le signal « Haute Pression Pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

seuil MAX2p[]

délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : [] s (valeur maximale[]).

- le signal « Bas Niveau GV » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

seuil MIN1p[]

délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : [] s (valeur maximale[]).

Le délai de déclenchement turbine est minimisé et a lieu [] s après AAR[].

Les caractéristiques prises en compte pour le signal « Haute Pression Secondaire » (classé F1A), qui conduit à l'ouverture des vannes d'isolement du VDA, sont les suivantes :

- seuil MAX1p[],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal : [] (valeur maximale),
- dynamique d'ouverture de la vanne d'isolement du VDA : [] s de temps mort + [] de temps d'ouverture.

La valeur de l'efficacité intégrale de l'AAR tient compte de la grappe la plus antiréactive bloquée en position haute.

A court terme, l'isolement de la purge est valorisé et les caractéristiques prises en compte pour le signal « Bas Niveau GV » (classé F1A) conduisant à cet isolement sont les suivantes :

- seuil MIN1p[],
- temps de fermeture des vannes[].

5.1.3. Résultats

Le tableau [TAB-15.2.2i.3](#) présente la séquence des événements du transitoire de perte de l'eau alimentaire normale. L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2i.1](#) à [FIG-15.2.2i.5](#).

Le transitoire est initié par la perte de l'eau alimentaire normale, qui conduit à une diminution du niveau d'eau dans les GV puis à une augmentation de la pression du secondaire. La température et la pression du primaire augmentent alors. L'aspersion normale se met en service afin de faire diminuer la pression primaire. Par hypothèse, la puissance du cœur reste constante. Ces différents phénomènes contribuent à faire diminuer le RFTC.

Après l'AAR sur « Bas Niveau GV » et la chute des grappes à [] secondes, la puissance, la pression et la température primaire diminuent. Le RFTC initial est recalé sur le seuil LCO [] et le RFTC physique [] minimum [] est atteint peu après la chute des grappes []. Cette valeur étant supérieure au critère de 1,00, il n'y a pas de risque de crise d'ébullition. Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible est donc garanti.

Par ailleurs, le critère technique d'acceptation vis-à-vis de la puissance linéique est respecté puisque la puissance thermique cœur n'augmente jamais au-dessus de sa valeur initiale.

Enfin, suite au déclenchement turbine, la pression au secondaire augmente rapidement provoquant l'ouverture des VDA à 60,5 secondes et l'évacuation de la puissance résiduelle par le circuit secondaire.

5.2. MOYEN TERME

5.2.1. Méthodes et codes de calcul

□

5.2.2. Hypothèses d'études

5.2.2.1. état initial

Les hypothèses visent à obtenir une pression primaire maximum ainsi qu'à accentuer la dilatation du fluide primaire. □ La température primaire initiale correspondant à la limite basse à 100% PN de la température primaire en prolongation de cycle est considérée car elle conduit à une masse primaire déchargée plus importante.

Les conditions initiales pénalisantes en termes de masse rejetée au RDP sont présentées au tableau [TAB-15.2.2i.1](#). Les incertitudes sur le niveau GV sont choisies de façon à retarder les seuils de protection. A l'instant initial, le niveau est majoré, cependant l'incertitude procédé devant être considérée dans le même sens sur le niveau GV initial et sur les seuils de protection □ :

□

5.2.2.2. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

De manière pénalisante, l'aggravant retenu est la défaillance d'une ligne d'aspersion normale de façon à obtenir une augmentation rapide de la pression primaire.

La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG (pompe correspondant à la boucle primaire portant le pressuriseur).

5.2.2.3. Hypothèses cœur

De manière conservatrice, la puissance neutronique est supposée constante jusqu'à l'AAR. Après l'AAR, la courbe de puissance résiduelle, terme A+B+C, □ avec N grappes et sans séisme est utilisée (cf. sous-chapitre 15.1).

□

5.2.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

La régulation de la pression du pressuriseur via l'aspersion normale est valorisée. Une seule ligne d'aspersion est disponible compte tenu de l'aggravant retenu. Le débit maximal d'aspersion normale est minimisé □ de façon à favoriser la montée en pression du circuit primaire. La première soupape du pressuriseur s'ouvre à □ avec un débit majoré □ (cf. sous-chapitre 15.1). Un temps d'ouverture nul est retenu.

Le débit à la turbine est constant jusqu'au déclenchement de la turbine.

De par le choix de maintenance préventive retenue, 3 lignes ASG sur 4 sont disponibles. Le débit ASG est minimisé □.

Le GCT n'est pas valorisé et les vannes VDA sont modélisées dans ce transitoire. La capacité des vannes de contrôle du VDA est prise minimale □ et le point de consigne d'ouverture maximal □ (cf. sous-chapitre 15.1). La régulation de pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA est prise en compte. Ce contrôle du pré-positionnement est classé F1A.

Les autres fonctions de régulation ne sont pas prises en compte car soit elles sont sans impact soit elles entraînent une diminution de la pression primaire. Les fonctions de limitation pouvant intervenir dans le transitoire ne sont pas valorisées.

5.2.2.5. Hypothèses protections

Les trois signaux d'AAR modélisés sont :

- le signal « Bas RFTC » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

seuil étude : []

délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : [] s (valeur maximale []).

- le signal « Haute Pression Pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
seuil MAX2p []
délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : [] s (valeur maximale []).
- le signal « Bas Niveau GV » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
seuil MIN1p []
délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : [] s (valeur maximale []).

Le délai de déclenchement turbine est minimisé et a lieu [] après AAR [].

Les caractéristiques prises en compte pour le signal « Haute Pression Secondaire » (classé F1A), qui conduit à l'ouverture des vannes d'isolement du VDA, sont les suivantes :

- seuil MAX1p [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal : [] s (valeur maximale),
- dynamique d'ouverture de la vanne d'isolement du VDA : [] s de temps mort + [] s de temps d'ouverture.

A moyen terme, l'ASG est valorisé et les caractéristiques prises en compte pour le signal « Bas Niveau GV » (classé F1A), qui conduit à la mise en route des pompes ASG, sont les suivantes :

- seuil MIN2p [],
- délai d'obtention du plein débit : [] s [].

A court terme, l'isolement de la purge est valorisé et les caractéristiques prises en compte pour le signal « Bas Niveau GV » (classé F1A) conduisant à cet isolement sont les suivantes :

- seuil MIN1p [],
- temps de fermeture des vannes [].

5.2.3. Résultats

La séquence des événements pour le transitoire de perte de l'eau alimentaire normale à moyen terme est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2i.4](#). L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2i.6](#) à [FIG-15.2.2i.11](#).

La perte de l'eau alimentaire normale entraîne une dégradation de l'échange entre le primaire et le secondaire, conduisant ainsi à un échauffement et une montée en pression du primaire. La régulation de pression primaire ne suffit pas à limiter cette montée en pression. L'Arrêt Automatique du Réacteur a lieu à 40,3 secondes sur signal de « Haute Pression Pressuriseur » et conduit à la diminution de la pression primaire.

Après l'AAR, le déclenchement turbine implique une remontée de la pression secondaire qui entraîne la remontée de la pression primaire. Cette augmentation est arrêtée par l'ouverture des VDA qui stabilise la pression secondaire à [] bar abs. La pression primaire maximale atteinte au cours du transitoire est inférieure à la pression d'ouverture de la première soupape du pressuriseur [], elle se stabilise ensuite à une valeur proche de la pression initiale.

Le niveau dans chaque GV diminue alors jusqu'à atteindre le niveau de mise en service des pompes ASG, permettant ainsi l'évacuation de la puissance résiduelle. L'état contrôlé est alors atteint.

Analyse de la prolongation de cycle :

Le transitoire présenté précédemment est réalisé avec le point de fonctionnement à pleine puissance qui présente la masse primaire la plus importante, ce qui correspond au point de fonctionnement en prolongation de cycle à 100%PN (pour lequel la température primaire est abaissée). De plus, de façon

découplée et pénalisante, la pression de consigne du VDA est celle du cycle naturel (sans prise en compte de la baisse de ce seuil en prolongation de cycle), ce qui conduit à la plus grande dilatation possible du fluide primaire.

Le cas présenté est donc enveloppe de la prolongation de cycle.

5.3. CONCLUSION

La démonstration effectuée au § 5.1. garantit le respect des critères techniques d'acceptation vis-à-vis de l'intégrité de la première barrière (absence de crise d'ébullition et de fusion à cœur des pastilles de combustible).

Les résultats présentés dans la partie moyen terme (§ 5.2.) démontrent l'absence de sollicitation des soupapes pressuriseur, l'intégrité du RDP est donc garantie.

L'absence de rejet radiologique est garantie puisque les critères relatifs à l'intégrité des gaines du combustible sont respectés et qu'aucune ouverture de soupape pressuriseur n'est observée.

Par ailleurs la chute des grappes assure la sous-criticité du cœur, la puissance résiduelle est évacuée par les GV et l'inventaire en eau est stable puisqu'il n'y a pas de perte d'inventaire en eau du primaire. L'état contrôlé est donc atteint.

6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

L'étude de la phase long terme est réalisée en deux temps :

- L'objectif de la première partie (§ 6.1.) est d'identifier le volume utile minimal disponible dans les bâches ASG permettant d'assurer le passage en état de repli jusqu'à la connexion du RIS-RA en mode RA. Ce volume est à ajouter aux volumes morts des bâches ASG afin de définir le seuil de repli dans la phase de réorientation de la procédure Stabilisation en Conduite Incidentelle. Dans cette partie, on suppose la continuité de fonctionnement du RCV, et aucune fuite aux joints des GMPP non compensée n'est donc considérée.
- L'objectif de la deuxième partie (§ 6.2.) est de confirmer la capacité à rallier l'état d'arrêt sûr en considérant cette fois une fuite aux joints des GMPP non compensée (la continuité de fonctionnement du RCV pouvant ne pas être assurée du fait de son classement).

6.1. LONG TERME AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DU FONCTIONNEMENT DU RCV – DIMENSIONNEMENT DU SEUIL DE REPLI VERS LES CONDITIONS DE CONNEXION DU RIS-RA EN MODE RA

L'étude de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr avec prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée en se basant sur un jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B). Puis, l'analyse des modifications introduites ultérieurement a conduit à reprendre une partie de cette étude par argumentaire.

Le fonctionnement du RCV étant valorisé dans ce transitoire l'injection aux joints des GMPP est opérante et aucune fuite aux joints des GMPP non compensée n'est considérée.

6.1.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

□

6.1.2. Hypothèses d'études

6.1.2.1. État initial

Les incertitudes sont choisies dans le but de majorer l'énergie primaire à évacuer au secondaire et à limiter la capacité du secondaire à évacuer cette énergie. □ :




Ces conditions initiales sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.2i.1](#).

6.1.2.2. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

L'aggravant pénalisant est la défaillance d'une pompe ASG car il conduit à une vidange plus importante des bâches ASG, par rapport à un aggravant sur un VDA, un train RBS ou une vanne du barillet amont ASG.





La maintenance préventive est appliquée sur un train ASG.




6.1.2.3. Hypothèses cœur





La puissance cœur est supposée constante jusqu'au début de la chute des grappes ; puis la courbe de puissance résiduelle utilisée est la courbe enveloppe A+B+C  avec N grappes et sans séisme (voir sous-chapitre 15.1).

6.1.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

A l'instant initial, on suppose que l'alimentation normale des générateurs de vapeur s'annule instantanément.

Pour augmenter l'énergie primaire à évacuer au secondaire, les chaufferettes sont prises en compte pendant la phase automatique. Elles sont déclenchées quand la pression dans le pressuriseur excède  bar  ou si le niveau pressuriseur devient inférieur à  % .


Les pompes ASG démarrent sur signal « Bas niveau GV » (seuil MIN2p) et peuvent débiter au débit minimal de  m³/h.  La régulation de niveau d'eau dans les GV est prise en compte pendant la phase de refroidissement : un plein débit est considéré jusqu'à l'atteinte de la consigne  pour augmenter la consommation d'eau dans les bâches ASG, ensuite le débit est ajusté pour maintenir ce niveau.

 La capacité des vannes de contrôle du VDA est prise minimale  et le point de consigne d'ouverture maximal . On suppose qu'à l'ouverture des vannes d'isolement, les vannes réglantes se ferment instantanément pour maintenir la pression de consigne , jusqu'à ce que l'opérateur procède à une ouverture contrôlée de ces vannes pour refroidir le fluide primaire.

La régulation de la pression du pressuriseur via l'aspersion normale est prise en compte car elle est pénalisante vis-à-vis de la consommation des bâches ASG. Le débit d'aspersion est majoré de manière à solliciter les soupapes du pressuriseur le moins possible.

Pendant la conduite post-accidentelle, l'opérateur peut être amené à utiliser les soupapes du pressuriseur à la fin de la phase de refroidissement (en cas d'indisponibilité de l'aspersion normale), si la pression primaire est trop élevée pour connecter le RIS-RA en mode RA.

Par ailleurs, pendant la phase de refroidissement du fluide primaire, il est prévu que l'opérateur procède à une borication avec le RBS (le RCV n'étant pas classé F1) et injecte un volume de bore assurant l'obtention de la concentration en bore à froid requise. Cependant, les deux trains RBS étant en service (car l'aggravant pénalisant est l'indisponibilité d'une pompe ASG), le débit d'injection est pris nul de manière conservatrice (ce qui correspond à un épuisement début de cycle pour lequel la CB en puissance est supérieure à la CB requise). En effet, la prise en compte de deux trains RBS conduirait à une injection d'eau relativement froide, sans pénaliser le gradient de refroidissement (avec deux trains l'insertion d'anti-réactivité compense un refroidissement à -50° C/h), ce qui serait plutôt bénéfique vis-à-vis de la consommation d'ASG.

En ce qui concerne l'IS, si elle est sollicitée, les débits injectés par les pompes ISMP et ISBP disponibles sont supposés minimaux, à la température maximale . Ces valeurs sont retenues afin de minimiser le plus possible le refroidissement dû à une injection de sécurité et ainsi maximiser la consommation des bâches ASG.

La régulation de niveau pressuriseur est considérée pour éviter le démarrage de l'IS et est prise en compte de manière pénalisante : seul l'appoint d'eau par la charge est modélisé avec une température maximale de l'eau injectée en branche chaude.

Aucune autre régulation ou action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur n'est prise en compte.

6.1.2.5. Hypothèses protection

Arrêt Automatique du Réacteur

L'AAR a lieu sur signal « Bas Niveau GV » (classé F1A), les hypothèses associées sont les suivantes, elles visent à retarder la chute des grappes :

- valeur minimale du seuil [].
- délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : [] s.

Arrêt de la turbine, ouverture des vannes VDA

Pour le déclenchement de la turbine, on retient les hypothèses qui augmentent la vidange des GV. Pour l'ouverture du VDA, on retient des hypothèses qui limitent l'évacuation de la puissance résiduelle par le secondaire :

- La fermeture des vannes de déclenchement turbine sur compte-rendu d'AAR est supposée avoir lieu [] s après le signal d'AAR.
- L'ouverture des vannes d'isolement de la décharge à l'atmosphère est provoquée par le signal Haute Pression GV (classé F1A) ; les caractéristiques prises en compte pour ce signal sont les suivantes :
 - seuil MAX1p [],
 - temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal : [] s (valeur max.),
 - dynamique d'ouverture de la vanne d'isolement du VDA : [] s de temps mort + [] s de temps d'ouverture.

Démarrage de l'ASG

Les pompes ASG démarrent sur signal classé F1A de « Bas Niveau GV » (seuil MIN2p). Les hypothèses associées à ce signal sont les suivantes, elles visent à limiter l'inventaire en eau secondaire au moment où les pompes ASG commencent à débiter, et à retarder l'alimentation après l'atteinte du seuil :

- seuil MIN2p [],
- délai d'obtention du plein débit : [] s [].

6.1.2.6. Actions opérateur

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le signal d'AAR.

Cas réaliste (en considérant l'aggravant et/ou la maintenance préventive sur 1 train ASG) :

A l'issue de la phase automatique, l'opérateur constate qu'au moins un GV est inutilisable sur le critère niveau GV < []% GL. Ce diagnostic conduit l'opérateur à passer en arrêt à froid et à réaliser un refroidissement immédiat jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

Cas étude :

De manière pénalisante vis-à-vis du critère de consommation des bâches ASG, on suppose (de manière découplée pour le choix de la conduite) que tous les GV sont utilisables. Cette hypothèse d'étude permet de suivre une conduite incidentelle conduisant à une durée de refroidissement plus longue, ce qui est ainsi plus pénalisant pour le calcul de volume utile MIN dans les bâches ASG.

L'objectif de l'étude étant d'identifier le volume utile minimal disponible dans les bâches ASG permettant d'assurer le passage en état de repli jusqu'à la connexion du RIS-RA en mode RA, on recherche la durée maximale pendant laquelle les opérateurs peuvent rester dans la phase de stabilisation avant de commencer le refroidissement, qui permet d'atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Dans l'étude, la phase de stabilisation est optimisée de manière à connecter le RIS-RA en mode RA sur un critère de vidange du volume utile des bâches ASG pour une température de 135°C en branche chaude. Cette étude ainsi que celle de la défaillance passive de la section 15.2.1 permettent de dimensionner le seuil minimum dans les bâches ASG qui conditionne le passage en état de repli.

L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle oriente l'opérateur vers la procédure Stabilisation en Conduite Incidentelle. Au cours de cette phase, une stabilisation de la TRIC est demandée. Parallèlement, le module « contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte par réglage du débit de l'ASG.

Les GV déclarés inutilisables sont isolés côté eau et côté vapeur.

Dans la séquence réorientation, sur le critère « somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN », l'opérateur arrête trois GMPP sur quatre avant d'être orienté vers la procédure Passage en Etat de repli en Conduite Incidentelle.

Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si 2 trains RBS sont en service et le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2p ou si 1 train RBS est en service,
- 50°C/h si 2 trains RBS sont en service et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2p ou si aucun train RBS n'est en service et la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise.

De manière pénalisante, le débit d'injection du RBS est pris nul (voir § 6.1.2.4.). En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu à la valeur nominale à l'aide de l'ASG.

Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été injecté, la borication est arrêtée.

Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants. Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale (les soupapes du pressuriseur sont utilisées en cas d'indisponibilité de l'aspersion normale).

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous 70 bar abs.

Une fois P14 validé, l'état final est obtenu lorsque les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA retenues pour l'étude sont atteintes : vidange du volume utile des bâches ASG pour une température de 135°C en branche chaude.

6.1.3. Résultats intermédiaires

La séquence des événements pour le transitoire de perte de l'eau alimentaire normale à long terme avec prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV est présentée dans le tableau [TAB-](#)

15.2.2i.5. L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2i.12](#) à [FIG-15.2.2i.17](#).

Le seuil de bas niveau GV est atteint 42,8 secondes après la perte de l'eau alimentaire normale, provoquant le signal d'arrêt automatique du réacteur [] puis la chute des grappes []. La puissance thermique cœur, initialement à 102%PN, chute rapidement.

Pendant la phase automatique, les chauffelettes et l'aspersion normale permettent de maintenir la pression pressuriseur au-dessus de 155 bar. Du côté secondaire, la pression augmente rapidement jusqu'à atteindre la pression de tarage des VDA []. Du fait du déclenchement turbine qui suit l'AAR, le débit vapeur chute fortement. Les niveaux d'eau dans les générateurs de vapeur diminuent jusqu'à ce que le seuil « Bas niveau GV » (MIN2p) soit atteint. A 271 secondes le signal « Bas niveau GV » provoque le démarrage des trains ASG disponibles (GV 1 et 2) – les trains ASG des GV 3 et 4 étant ceux retenus pour l'aggravant et la maintenance préventive. Jusqu'au début de la phase de stabilisation (après 1800s après l'AAR), l'injection d'ASG dans les GV 1 et 2 se fait à plein débit jusqu'à obtention du niveau de consigne []. Au début de la phase de stabilisation, ce niveau n'est pas encore atteint, l'opérateur agit alors pour maintenir le niveau GV à la valeur atteinte par l'ASG, soit environ 45% GL.

Le calcul démontre que l'opérateur dispose d'environ [] heures [] après le signal d'AAR pour engager la procédure de repli afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr (connexion du RIS-RA en mode RA). Pour cela il procède à un refroidissement contrôlé à -50°C/h via les VDA et doit arrêter 3 des 4 GMPP.

L'injection par le RCV démarre à [] secondes pour maintenir le niveau pressuriseur à sa valeur de consigne après l'AAR [].

Après [] secondes, les VDA ne permettent plus d'assurer un refroidissement à -50 °C/h. Le taux de refroidissement est limité par la capacité des VDA jusqu'à la fin du transitoire.

Les conditions de connexion au RIS-RA en mode RA sont atteintes à [] secondes []. La consommation d'ASG est alors de [] tonnes. A ce résultat, on ajoute la quantité d'eau évacuée par l'APG entre l'arrêt de l'ARE (instant initial) et le démarrage de l'ASG (287 secondes). Le débit APG étant égal à []% du débit vapeur dans chaque GV, la quantité d'eau évacuée est de l'ordre de [] t. La consommation totale d'ASG s'élève donc à [] t.

L'étude permet donc de montrer qu'en cas de perte ARE, il est possible de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sans réalimenter les bâches ASG pendant la phase post-accidentelle, avec un délai de 6h entre le signal d'AAR et le début de la phase de repli et en arrêtant 3 pompes primaires sur 4 à la fin de la phase de stabilisation.

Le volume minimum d'eau dans les bâches ASG nécessaire à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA est alors évalué à [] m³. Il correspond au volume utile restant dans les bâches ASG à l'instant du passage en état de repli. Ce volume doit être cumulé aux volumes morts des bâches ASG afin de définir le seuil de repli dans la phase de réorientation de la procédure Stabilisation en Conduite Incidentelle.

Analyse de la prolongation de cycle :

En prolongation de cycle, le niveau de puissance, la température et la pression primaire sont abaissés. Ces conditions sont favorables vis-à-vis de la vidange des GV par rapport au fonctionnement en cycle naturel, par conséquent, le transitoire réalisé enveloppe le fonctionnement en prolongation de cycle.

6.1.4. Mise en cohérence avec l'état final de conception

6.1.4.1. Listes des modifications

Les modifications introduites entre le jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15.1) sont les suivantes :

- prise en compte de la cible haute de dépressurisation en ΔT_{sat} [] pour le passage en état de repli,

- non-isolement de l'échantillonnage GV sur démarrage de l'ASG,
- isolement de la purge sur un signal de « Bas niveau GV » :
□
- consigne de la régulation de niveau GV par l'ASG à □,
- validation du permissif P19 lors de l'entrée dans la stratégie « Passage en Etat de Repli ».

Le volume global des bâches ASG est modifié □.

6.1.4.2. Résultats

Suite aux modifications citées ci-dessus, le bilan final de consommation de bâche ASG □ doit être ré-estimé.

Poste 1 : Consommation ASG liée à la prise en compte d'une borne haute de la cible de dépressurisation

Le calcul basé sur un jeu d'hypothèses intermédiaires n'utilisant pas la borne haute du ΔT_{sat} de la cible de dépressurisation □ la consommation de bâche ASG supplémentaire couvrant une dépressurisation finale maximale et un fonctionnement des chaufferettes jusqu'à leur arrêt sur □ doit être ajoutée au bilan final.

L'état de repli correspondant à la connexion du RIS-RA en mode RA, le refroidissement □ est arrêté lorsque la température primaire est inférieure à 135°C. Ainsi en fin de transitoire de refroidissement, la pression primaire est au maximum de P_{prim} □ avec la prise en compte d'une incertitude □ sur la mesure de ΔT_{sat} . Le RIS-RA en mode RA étant connecté à une pression primaire de □ une dépressurisation de □ au maximum sera demandée. La durée nécessaire pour réaliser cette dépressurisation est inférieure à 10 minutes. Les résultats du calcul de perte ARE/AAD avec prise en compte de la défaillance passive (voir section 15.2.1) montrent que cette durée est bien enveloppe du temps nécessaire à cette dépressurisation.

La consommation de bâches ASG supplémentaire, associée à cette dépressurisation finale, est estimée ci-après à l'aide d'un bilan d'énergie :

- puissance résiduelle 5 h après AAR □ Ce niveau de puissance est un majorant de la puissance résiduelle à évacuer lors du refroidissement, dans la mesure où ce dernier débute après 5 h (il débute environ 6 h après le signal d'AAR, cf. § 6.1.3.).
- La puissance d'un GMPP est à prendre en compte, les autres pompes primaires ayant été arrêtées par l'opérateur au début du refroidissement. La puissance considérée pour un GMPP est de □ MW (valeur en état d'arrêt à froid).
- La puissance des chaufferettes n'est pas prise en compte dans cette phase car elles sont arrêtées lors de la dépressurisation finale.
- différence d'enthalpie spécifique minimale entre la vapeur saturée déchargée au VDA et l'eau ASG injectée à □ La prise en compte de ce terme minimisé maximise la différence de consommation d'ASG.

La différence de consommation ASG maximum est donc de :

- $\Delta \text{MasseMAX (Pres)} = \square$ tonnes,
- $\Delta \text{MasseMAX (GMPP)} = \square$ tonnes.

Une dépressurisation finale de □ bar entraîne □ une consommation supplémentaire d'ASG inférieure à □ tonnes.

De plus, la prise en compte d'un fonctionnement des chaufferettes tant que $\Delta T_{sat} < \square$ °C est ajoutée. Les chaufferettes sont considérées du début du refroidissement contrôlé jusqu'à leur déclenchement

lorsque \square de telle sorte que la pression primaire est maintenue stable à la valeur atteinte lors de la phase de stabilisation. Par découplage, la puissance des chaufferettes est prise maximale et \square sur une période de 7500s. L'évacuation de cette puissance conduit à une consommation d'ASG supplémentaire de \square .

Poste 2 : Consommation ASG liée à la prise en compte de la purge GV

La prise en compte de l'isolement de la purge GV sur signal « Niveau GV < MIN1p \square » classé F1A au lieu de « Niveau GV < MIN2 \square » doit être considérée. Le niveau GV devient inférieur à \square (seuil pénalisé) \square après le début du transitoire et les vannes d'isolement de la purge se ferment en \square . \square , la quantité d'eau évacuée à la purge après arrêt de l'ARE (instant initial) est de \square .

Poste 3 : Consommation ASG liée à l'absence d'isolement de l'échantillonnage GV

La prise en compte de l'absence d'isolement de l'échantillonnage de la partie secondaire des GV sur déclenchement de l'ASG doit être considérée. \square , la quantité d'eau évacuée par l'échantillonnage sur toute la durée du transitoire est de \square .

A noter que la modification de la consigne de la régulation de niveau GV par l'ASG n'entraîne pas de réévaluation de la consommation de bêche ASG, le précédent niveau de consigne étant enveloppe du dernier.

Le bilan de consommation de bêche ASG est alors le suivant :

D'après le [§ 6.1.3.](#), la consommation d'ASG finale est \square (sans prise en compte de la purge et de l'échantillonnage).

Suite à la mise en cohérence avec l'état final de conception, la consommation totale d'ASG est de \square sur toute la durée du transitoire. Cela représente une consommation supplémentaire d'ASG de \square par rapport au [§ 6.1.3.](#) Cela conduit à un volume d'eau utilisable minimum dans les bèches ASG \square . Ce volume doit être cumulé aux volumes morts des bèches ASG afin de définir le seuil de repli dans la phase de réorientation de la procédure Stabilisation en Conduite Incidentelle.

Suite à cette réévaluation du seuil de repli, le délai de stabilisation est désormais inférieur à 6 h.

Nota : *Le permissif P19 qui est validé lors de l'entrée dans la conduite « Passage en Etat de Repli » n'a pas d'impact sur le résultat de l'étude.*

6.2. LONG TERME SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DU FONCTIONNEMENT DU RCV

La continuité de fonctionnement du RCV n'étant pas assurée (non classé F1), un transitoire considérant l'indisponibilité du RCV et une fuite aux joints des GMPP non compensée dès l'instant initial est explicitement étudié dans le but de couvrir toutes les discontinuités de fonctionnement du RCV.

Le jeu d'hypothèse utilisé pour ce transitoire est en cohérence avec le sous-chapitre 15.1 \square .

6.2.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

\square

6.2.2. Hypothèses d'études

6.2.2.1. État initial

Les incertitudes sont choisies dans le but de majorer l'énergie primaire à évacuer au secondaire et de limiter la capacité du secondaire à évacuer cette énergie. \square :



Ces conditions initiales sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.2i.2](#).


6.2.2.2. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

L'aggravant pénalisant est la défaillance d'une pompe RBS car il conduit à une vidange plus importante des bâches ASG, par rapport à un aggravant sur un VDA, une pompe ASG ou une vanne du barillet amont ASG.

En effet, la prise en compte d'un seul train RBS limite le gradient de refroidissement contrôlé à -25°C/h avant l'atteinte de la CB requise en arrêt à froid et le passage à un refroidissement contrôlé à -50°C/h , ce qui retarde l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA et augmente la consommation ASG. De plus, un aggravant sur un VDA ou une pompe ASG est moins pénalisant que la défaillance d'une pompe RBS vis-à-vis de la consommation de bâche ASG car le gradient du refroidissement contrôlé (-50°C/h) peut être assuré jusqu'à la température de connexion du RIS-RA en mode RA (180°C) avec deux GV alimentés par l'ASG et contrôlés en pression par les VDA. De ce fait, le refroidissement jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA est plus court et la consommation de bâche ASG est moins importante.





La maintenance préventive est appliquée sur un train ASG.




6.2.2.3. Hypothèses cœur






La puissance cœur est supposée constante jusqu'au début de la chute des grappes ; puis la courbe de puissance résiduelle utilisée est la courbe enveloppe A+B+C  avec N grappes et sans séisme (voir sous-chapitre 15.1).

6.2.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

A l'instant initial, on suppose que l'alimentation normale des générateurs de vapeur s'annule instantanément.

Pour augmenter l'énergie primaire à évacuer au secondaire et compenser la diminution de pression due à la fuite, les chaufferettes sont prises en compte pendant la phase automatique. Elles sont déclenchées quand la pression dans le pressuriseur excède  bar  ou si le niveau pressuriseur devient inférieur à  % .

Les pompes ASG démarrent sur signal « Bas niveau GV » (seuil MIN2p) et peuvent débiter au débit minimal . La température maximale de l'ASG est prise égale à  °C. La régulation de niveau d'eau dans les GV est prise en compte pendant la phase de refroidissement : un plein débit est considéré jusqu'à l'atteinte de la consigne  pour augmenter la consommation d'eau dans les bâches ASG, ensuite le débit est ajusté pour maintenir ce niveau.

Le volume utile minimal requis dans les bâches ASG est . La capacité des vannes de contrôle du VDA est prise minimale  et le point de consigne d'ouverture maximal . On suppose qu'à l'ouverture des vannes d'isolement, les vannes réglantes se ferment instantanément pour maintenir la pression de consigne , .

La régulation de la pression du pressuriseur via l'aspersion normale est prise en compte car elle est pénalisante vis-à-vis de la consommation des bâches ASG. Elle permet de solliciter les soupapes du pressuriseur le moins possible.

Pendant la conduite post-accidentelle, l'opérateur peut être amené à utiliser l'aspersion normale (les soupapes du pressuriseur sont utilisées en cas d'indisponibilité de l'aspersion normale) à la fin de la phase de refroidissement, si la pression primaire est trop élevée pour connecter le RIS-RA en mode RA. Le débit d'aspersion est minoré de manière à prolonger cette phase de dépressurisation et donc de pénaliser la consommation des bâches ASG.

Par ailleurs, pendant la phase de refroidissement du fluide primaire, il est prévu que l'opérateur procède à une borication avec le RBS (le RCV étant considéré indisponible) et injecte un volume de bore assurant l'obtention de la concentration en bore à froid requise. [1]. Par conséquent, il n'y a qu'une seule file RBS disponible ce qui conduit l'opérateur à lancer un refroidissement à -25°C/h jusqu'à ce que la CB requise en arrêt à froid soit atteinte. On considère que l'injection du volume [1] de RBS permet d'atteindre cette CB. Ensuite l'opérateur peut lancer un refroidissement à -50°C/h . Le RBS est supposé arrêté à la fin de l'injection [1] de bore assurant l'atteinte de la CB requise en arrêt à froid. De manière conservatrice, le débit RBS est pris minimal [1].

En ce qui concerne l'IS, les débits injectés par les pompes ISMP et ISBP disponibles sont supposés minimaux, à la température maximale [1]. Ces valeurs sont retenues afin de minimiser le plus possible le refroidissement dû à l'injection de sécurité et ainsi maximiser la consommation des bâches ASG.

La continuité de fonctionnement du RCV n'étant pas assurée (non classé F1), l'injection aux joints est considérée comme inopérante et une fuite aux joints des GMPP non compensée est considérée dès l'instant initial. [1].

Aucune autre régulation ou action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur n'est prise en compte.

6.2.2.5. Hypothèses protection

Arrêt Automatique du Réacteur

L'AAR a lieu sur signal « Bas Niveau GV » (classé F1A), les hypothèses associées [1] visent à retarder la chute des grappes :

[1]

Arrêt de la turbine, ouverture des vannes VDA

Pour le déclenchement de la turbine, on retient les hypothèses qui augmentent la vidange des GV. Pour l'ouverture du VDA, on retient des hypothèses qui limitent l'évacuation de la puissance résiduelle par le secondaire :

[1]

Démarrage automatique de l'IS

Le démarrage de l'IS est provoqué par le signal IS sur basse pression du pressuriseur (classé F1A).

[1] :

[1]

Refroidissement partiel automatique

Le refroidissement partiel est provoqué par le signal IS sur basse pression du pressuriseur (classé F1A). [1] :

[1]

Démarrage automatique de l'ASG

Les pompes ASG démarrent sur signal classé F1A de « Bas Niveau GV » (seuil MIN2p). Les hypothèses associées à ce signal [1] visent à limiter l'inventaire en eau secondaire au moment où les pompes ASG commencent à débiter, et à retarder l'alimentation après l'atteinte du seuil :

[1]

Démarrage automatique du RBS

Le démarrage automatique du RBS est provoqué par un signal de basse pression pressuriseur (classé F1A). □ :

□

6.2.2.6. Actions opérateur

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le signal d'AAR.

Cas réaliste (en considérant l'aggravant et/ou la maintenance préventive sur 1 train ASG) :

A l'issue de la phase automatique, l'opérateur constate qu'au moins un GV est inutilisable sur le critère niveau GV < □% GL. Ce diagnostic conduit l'opérateur à passer en arrêt à froid et à réaliser un refroidissement immédiat jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

Cas étude :

De manière pénalisante vis-à-vis du critère de consommation des bâches ASG, on suppose (de manière découplée pour le choix de la conduite) que tous les GV sont utilisables. Cette hypothèse d'étude permet de commencer par suivre une conduite incidentelle conduisant à une durée de refroidissement plus longue, ce qui est ainsi plus pénalisant vis-à-vis de la consommation de bâches ASG.

L'objectif de l'étude de ce cas est de vérifier la capacité à rallier l'état d'arrêt sûr en cas de perte ARE avec prise en compte de la fuite aux joints des GMPP non compensée.

L'orientation initiale en Conduite Incidentelle renvoie l'opérateur vers la procédure Stabilisation en Conduite Incidentelle dans laquelle une stabilisation de la TRIC est demandée. Parallèlement, le module « contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte par réglage du débit de l'ASG.

Les GV déclarés inutilisables sont isolés côté eau et côté vapeur.

Dans la phase de réorientation de la stabilisation en conduite incidentelle, on suppose de manière découplée pour le choix de la conduite que la CB requise est atteinte. Cette hypothèse d'étude permet de rester dans la stratégie de stabilisation sans anticipation de la borication par le RBS avant le début du refroidissement opérateur. Suite à la fuite aux joints des GMPP non compensée, le pressuriseur se vide, les chaufferettes s'arrêtent automatiquement et la pression primaire diminue. En cas de démarrage automatique du RBS sur un critère de basse pression pressuriseur, □.

Suite au signal IS sur basse pression pressuriseur, l'opérateur est dirigé en phase 2 de la stabilisation en conduite incidentelle et orienté, lorsque le refroidissement partiel est terminé, vers un « Test d'Intégrité Primaire ». Le pressuriseur étant vide, le primaire est identifié non intègre. L'opérateur est alors orienté vers la conduite de Passage en Arrêt à Froid avec IS.

□ La marge à la saturation étant suffisante, le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si 1 train RBS est en service,
- 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si aucun train RBS n'est en service et la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise.

Lorsqu'un volume □ de RBS a été injecté, la concentration en bore requise est atteinte □. Le gradient de refroidissement peut alors être augmenté à -50°C/h.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu à la valeur nominale à l'aide de l'ASG.

Lors de la phase 1 de la stratégie PAF avec IS, l'opérateur cherche à basculer les ISMP sur leur grande ligne à débit nul ou à les arrêter. Il ouvre les deux premières grandes lignes à débit nul lorsque ΔT_{sat} devient supérieur à $\square^{\circ}C$ alors que la TRIC est toujours supérieure à $\square^{\circ}C$. Dès que ΔT_{sat} devient supérieur à $\square^{\circ}C$, il ouvre la troisième ligne. Si la pression primaire est stable après cette troisième ouverture d'une grande ligne à débit nul d'une pompe ISMP, l'arrêt des GMPP n'est pas demandé.

Lorsque la TRIC passe sous $\square^{\circ}C$, l'opérateur bascule le dernier ISMP sur sa grande ligne à débit nul. Si P14 n'est pas présent l'opérateur arrête tous les ISMP et si P14 est présent il active P14. Dans les deux cas, ces actions l'envoient en phase 2 de la stratégie PAF avec IS.

Dans cette phase, si la pression est toujours supérieure à la pression de connexion des trains RIS-RA en mode RA, l'opérateur doit dépressuriser le primaire. Les GMPP étant en fonctionnement, l'opérateur dépressurise le primaire à l'aide de l'aspersion normale tout en conservant une marge à la saturation suffisante.

L'opérateur isole les accumulateurs RIS quand la pression primaire passe sous \square bar abs.

Une fois P14 validé, si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN3 \square alors l'état final est obtenu, les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont atteintes : température en branche chaude inférieure à $180^{\circ}C$ et pression en branche chaude inférieure à 32 bar.

Si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN3 après validation de P14, les GMPP sont arrêtés. Cet arrêt induisant une remontée en température, les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont atteintes lorsque la température en branche chaude repasse sous $180^{\circ}C$.

6.2.3. Résultats

La séquence des événements pour le transitoire de perte de l'eau alimentaire normale à long terme est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2i.6](#). L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2i.18](#) à [FIG-15.2.2i.24](#).

L'indisponibilité du RCV et la fuite aux joints des GMPP sont considérés dès le début du transitoire.

Le seuil de bas niveau GV est atteint 42,8 secondes après la perte de l'eau alimentaire normale, provoquant le signal d'arrêt automatique du réacteur \square puis la chute des grappes \square . La puissance thermique cœur, initialement à 102%PN, chute rapidement.

Pendant la phase automatique, les chaufferettes et l'aspersion normale permettent de maintenir la pression pressuriseur au-dessus de 155 bar. Du côté secondaire, la pression augmente rapidement jusqu'à atteindre la pression de tarage des VDA \square . Du fait du déclenchement turbine qui suit l'AAR, le débit vapeur chute fortement. Les niveaux d'eau dans les générateurs de vapeur diminuent jusqu'à ce que le seuil « Bas niveau GV » (MIN2p) soit atteint. A 256 secondes, le signal « Bas niveau GV » provoque le démarrage du train ASG du GV 3, puis à 271 secondes les trains ASG des GV 1 et 2 démarrent également – le train ASG du GV 4 étant celui retenu pour la maintenance préventive. Jusqu'au début de la phase de stabilisation (après 1800s après l'AAR), l'injection d'ASG dans les GV 1, 2 et 3 se fait à plein débit jusqu'à obtention du niveau de consigne \square . Au début de la phase de stabilisation, ce niveau n'est pas encore atteint, l'opérateur agit alors pour maintenir le niveau GV à la valeur atteinte par l'ASG \square .

Pendant 9763 secondes, les chaufferettes compensent la diminution de pression primaire due à la fuite aux joints des pompes primaires. Toutefois, le RCV étant supposé indisponible, le pressuriseur se vide progressivement. Lorsque son niveau passe sous le seuil MIN3, les chaufferettes s'arrêtent automatiquement. A partir de cet instant une dépressurisation du primaire commence. Cette dernière s'accélère lorsque la ligne d'expansion du pressuriseur est vidangée et à 18892 secondes, le signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur » (MIN3p) est émis et le refroidissement partiel démarre automatiquement.

Dès que ce dernier est terminé, l'opérateur lance un refroidissement à $-25^{\circ}C/h$ et démarre le RBS.

La TRIC est alors supérieure à \square °C et trois ISMP sont successivement basculés sur leur grande ligne à débit nul suivant un critère de ΔT_{sat} . Les deux premiers trains sont basculés lorsque $\Delta T_{sat} > \square$ °C et le troisième lorsque $\Delta T_{sat} > \square$ °C. La pression primaire restant stable après cette troisième ouverture d'une grande ligne à débit nul d'une pompe ISMP, l'arrêt des GMPP n'est pas demandé.

A 32316 secondes, \square m³ de RBS ont été injectés et la CB d'arrêt à froid est considérée comme étant atteinte. A cet instant, l'opérateur arrête le RBS et modifie le gradient de refroidissement de -25°C/h à -50°C/h.

A 33938 secondes, lorsque la TRIC devient inférieure à \square °C, l'opérateur arrête toutes les pompes ISMP et commence la dépressurisation du primaire à l'aide de l'aspersion normale.

Le permissif P14 est validé à 34273 secondes. Le niveau pressuriseur étant inférieur au seuil MIN3, les GMPP sont arrêtés. La température primaire remonte temporairement.

Les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont atteintes à 35502 secondes (soit environ 10 heures après l'AAR) lorsque la température en branche chaude repasse sous 180° C \square . La consommation d'ASG est alors de \square tonnes. A ce résultat, on ajoute la quantité d'eau évacuée par l'APG entre l'arrêt de l'ARE (instant initial) et son isolement sur bas niveau GV \square c'est-à-dire l'instant de l'AAR \square . Le débit APG étant égal à \square % du débit vapeur dans chaque GV, la quantité d'eau évacuée est inférieure à \square tonnes. Il faut également ajouter la quantité d'eau évacuée par l'échantillonnage GV qui n'est pas isolé pendant ce transitoire \square . La consommation totale d'ASG s'élève donc à \square t.

L'étude permet donc de montrer qu'en cas de perte ARE sans prise en compte de la continuité de fonctionnement du RCV, il est possible de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sans réalimenter les bâches ASG pendant la phase post-accidentelle.

Analyse de la prolongation de cycle :

En prolongation de cycle, le niveau de puissance, la température et la pression primaire sont abaissés. Ces conditions sont favorables vis-à-vis de la vidange des GV par rapport au fonctionnement en cycle naturel, par conséquent, le transitoire réalisé enveloppe le fonctionnement en prolongation de cycle.

L'état d'arrêt sûr est atteint :

- L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
- La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion des trains RIS-RA ce qui permet l'évacuation durable de la puissance résiduelle.
- Les rejets radiologiques restent tolérables puisque les critères relatifs aux gaines du combustible sont respectés (voir [§ 5.1.](#)).

7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de perte de l'eau alimentaire normale (perte des 4 pompes ARE et de la pompe AAD). Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : instant initial, instant du signal d'AAR ou instant du signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

7.1. CRITÈRES D'ETUDES

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Pour cet accident, les critères techniques d'acceptation suivants sont vérifiés :

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482° C, pour les transitoires rapides ne conduisant pas à une oxydation de la gaine du combustible.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

7.2. MOYENS DE PROTECTION

Ils sont identiques à ceux décrits dans l'étude sans MDTE ([§ 3.](#)).

7.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Comme pour l'étude réalisée sans prise en compte du MDTE, le cas le plus défavorable est l'activation intempestive du signal « bas niveau dans la bache ADG » car il conduit au déclenchement des pompes alimentaires normales et de la pompe de démarrage et d'arrêt (AAD) et donc à la perte totale de l'eau alimentaire normale des GV.

Le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : instant initial, instant du signal d'AAR ou instant du signal d'IS.

Le cumul du MDTE considéré dès l'instant initial conduirait très rapidement à un AAR par basse vitesse des pompes primaires. L'accident est similaire à l'accident de perte totale des alimentations électriques externes (section 15.2.2h), puisque la perte des alimentations entraîne la perte de l'eau alimentaire normale. Par conséquent, cette configuration est couverte par l'étude de la section 15.2.2h.

Le cumul du MDTE à l'instant du signal d'IS n'est pas pertinent pour l'atteinte de l'état contrôlé, par conséquent, on étudie la prise en compte du cumul du MDTE à l'instant du signal d'AAR.

En revanche, pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, le cumul du MDTE est étudié à l'instant de l'AAR et à l'instant du signal IS.

7.4. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME ET ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

7.4.1. Méthodes et codes de calcul

□

7.4.2. Hypothèses d'études

7.4.2.1. état initial

Les conditions initiales considérées sont identiques à celles de l'étude court terme réalisée sans MDTE décrites au § 5.1.2.1. et sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.2i.7](#).

7.4.2.2. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

L'aggravant et la maintenance préventive sont identiques à ceux retenus dans l'étude sans MDTE : la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur (aggravant) et pas de maintenance préventive.

7.4.2.3. Hypothèses cœur

Les données neutroniques retenues pour l'étude de l'effet du MDTE à court terme sont issues du sous-chapitre 15.1.

Le coefficient Doppler puissance est pris maximum en valeur absolue pour limiter la diminution de puissance après l'AAR.

Le coefficient Doppler température est pris minimum en valeur absolue pour limiter la diminution de puissance.

Le coefficient de densité modérateur est pris minimum (nul) de manière pénalisante.

□

Le temps de chute des grappes maximal avec séisme □ est considéré conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2) pour un transitoire PCC-2 avec prise en compte du MDTE.

La valeur de l'efficacité intégrale de l'Arrêt Automatique du Réacteur tient compte de la grappe la plus anti-réactive bloquée en position haute.

□

Le pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition est calculé à l'instant de RFTC minimal, à partir des conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique coeur, débit, pression et température primaires) issues du transitoire réalisé □. Par ailleurs, le calcul est réalisé avec la courbe de fuel census spécifique présentée dans le sous-chapitre 15.1, recalée par homothétie sur le facteur d'élévation d'enthalpie maximal $F\Delta H$ choisi de façon à ce que le RFTC initial physique □, soit égal à la valeur du seuil DNBSAL (□ voir sous-chapitre 4.4). □.

7.4.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Les pompes primaires sont arrêtées dès l'instant du cumul du MDTE (postulé à l'instant de l'AAR). La courbe de décroissance de débit primaire est pénalisée de manière à avoir la décroissance la plus rapide.

La régulation de la pression du pressuriseur via l'aspersion normale est prise en compte avant l'instant de cumul du MDTE (qui entraîne l'arrêt de l'aspersion normale) car elle est pénalisante vis-à-vis du RFTC (la prise en compte des chaufferettes n'a pas d'impact sur l'accident car la pression primaire ne fait qu'augmenter avant l'AAR). Le débit d'aspersion normale est majoré de façon à maximiser la dépressurisation du circuit primaire.

Les hypothèses relatives aux soupapes du pressuriseur et aux vannes VDA sont identiques à celles présentées au [§ 5.1.2.4.](#) pour l'étude court terme réalisée sans MDTE.

Les autres fonctions de régulations ne sont pas prises en compte car elles sont soit sans impact soit favorables vis-à-vis du RFTC. Les fonctions de limitations pouvant intervenir dans l'accident ne sont pas valorisées.

Aucune fonction d'aide à l'opérateur n'est prise en compte dans cette étude.

7.4.2.5. Hypothèses protections

Les fonctions de protection sont identiques à celles décrites pour l'étude court terme réalisée sans MDTE au [§ 5.1.2.5.](#)

7.4.3. Résultats

Le tableau [TAB-15.2.2i.8](#) présente la séquence des événements de l'accident de perte de l'eau alimentaire normale avec cumul MDTE. L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée sur les figures [FIG-15.2.2i.25](#) à [FIG-15.2.2i.29](#).

Compte tenu des hypothèses retenues, le MDTE est postulé à 51 s, à l'instant du franchissement du seuil d'AAR sur « Bas niveau GV ». Le débit primaire décroît et provoque un échauffement du fluide primaire et une montée en pression du circuit primaire.

Le RFTC minimum est atteint à 56,0 s et % des crayons entrent en crise d'ébullition (NCE) au cours de l'accident, ce qui est inférieur au critère technique d'acceptation relatif aux accidents PCC-4 (NCE inférieur à 10%).

La température maximale de la gaine atteinte au cours de l'accident est de °C et la température maximale au centre de la pastille est de °C (0% du combustible fondu). L'évolution de ces températures est présentée sur la figure [FIG-15.2.2i.30](#). Les critères relatifs aux accidents PCC4 concernant les dommages limités sur les assemblages du combustible sont donc respectés.

A moyen terme, après la chute des grappes et l'ouverture des VDA, le circuit primaire s'équilibrera avec le circuit secondaire et la puissance résiduelle sera évacuée par les GV via les VDA et l'ASG.

La chute des grappes assure la sous-criticité du cœur, la puissance résiduelle est évacuée par les GV et l'inventaire en eau est stable puisqu'il n'y a pas de perte d'inventaire en eau du primaire, ce qui garantit des rejets radiologiques tolérables. L'état contrôlé est donc atteint.

7.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

7.5.1. Long terme avec prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV

Si le cumul du MDTE est pris en compte à l'instant initial de l'accident, l'accident de perte de l'eau alimentaire normale avec prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV et cumul du MDTE est similaire à l'accident de perte totale des alimentations électriques externes. Par conséquent, la phase long terme de cet accident est couverte par l'étude du chapitre 15.2.3b (PTAEE > 2h), qui montre par un calcul explicite que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Si le cumul du MDTE est pris en compte à l'instant de l'AAR, la perte des pompes primaires intervient environ 50 secondes après le début de l'accident, ce qui ralentit la baisse du niveau GV (par rapport au cas où le débit primaire est maintenu).

- 1) Si à l'issue de la phase automatique, l'indisponibilité des pompes primaires est constatée, avec une marge à la saturation suffisante et des GV utilisables , l'opérateur est orienté vers une conduite incidentelle identique à celle de la PTAEE > 2h (voir section 15.2.3b).

Dans cette conduite, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation, dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. L'état d'arrêt à chaud obtenu est un état contrôlé. Deux heures après la perte totale des alimentations électriques, le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé.

La stratégie de passage en état de repli conduit au passage en arrêt intermédiaire jusqu'aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA. Une borication du circuit primaire est réalisée, en utilisant le RCV ou par le RBS si le RCV est indisponible. Un volume de bore assurant la concentration en bore requise est injecté. Parallèlement, le refroidissement du fluide primaire est réalisé par l'ouverture contrôlée des vannes VDA. La vitesse de refroidissement du fluide primaire est de 50 °C/h ou 25 °C/h si un seul train RBS est disponible. Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu grâce à l'ASG. Pendant le refroidissement, le circuit primaire est dépressurisé par l'aspersion auxiliaire ou si besoin les soupapes du pressuriseur. L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square bar abs.

Vis-à-vis de la consommation d'ASG, l'accident de perte de l'eau alimentaire normale avec prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV et cumul du MDTE à l'instant de l'AAR est couvert par le transitoire de perte de l'eau alimentaire normale sans fuite aux joints non compensée sans cumul MDTE présenté dans le § 6.1. En effet les deux scénarios sont identiques jusqu'à l'instant de l'AAR. Par la suite :

- La durée de la phase de stabilisation est de 2h (compte tenu de la perte des alimentations électriques externes), alors que dans le calcul du transitoire de perte ARE sans cumul MDTE, cette durée est considérée de manière conservatrice égale à \square h.
- L'énergie des GMPP à évacuer n'est plus à considérer (alors que sans cumul du MDTE, les 4 GMPP sont en fonctionnement pendant la phase de stabilisation et une sur les 4 reste en fonctionnement pendant la phase de repli).

On peut donc conclure que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sur cet accident.

- 2) Si à l'issue de la phase automatique, l'opérateur constate qu'au moins un GV est inutilisable sur le critère niveau GV < \square %GL, ce diagnostic le conduit à passer en arrêt à froid et à réaliser un refroidissement immédiat jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

Cette stratégie de conduite permet d'atteindre les conditions de connexion au RIS-RA en mode RA plus rapidement que sur l'étude de PTAAE > 2h, puisque la phase de refroidissement démarre immédiatement sans passer par une phase de stabilisation. Par conséquent elle conduit à une consommation plus faible d'ASG. L'étude de la section 15.2.3b ayant montré que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, c'est également le cas pour la présente étude.

Le cumul du MDTE à l'instant du signal IS n'est pas pertinent pour le cas avec prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV.

Quel que soit l'instant du cumul MDTE, l'état d'arrêt sûr est atteint :

- L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
- La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion des trains RIS-RA ce qui permet une évacuation durable de la puissance résiduelle.
- Les rejets radiologiques restent tolérables puisque les critères liés aux dommages sur les assemblages du combustible sont respectés (voir § 7.4.).

7.5.2. Long terme sans prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV

Si le cumul du MDTE est pris en compte à l'instant initial de l'accident, l'accident de perte de l'eau alimentaire normale sans prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV est similaire à l'accident de perte totale des alimentations électriques externes. Par conséquent, la phase long terme de cet accident est couverte par l'étude de la section 15.2.3b (PTAAE > 2h), qui montre que la

capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Si le cumul du MDTE est pris en compte à l'instant de l'AAR, la perte des pompes primaires intervient environ 50 secondes après le début de l'accident, ce qui ralentit la baisse du niveau GV (par rapport au cas où le débit primaire est maintenu).

- 1) Si à l'issue de la phase automatique, l'indisponibilité des pompes primaires est constatée, avec une marge à la saturation suffisante et des GV utilisables , l'opérateur est orienté en conduite incidentelle.

Dans cette conduite, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation, dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. L'état d'arrêt à chaud obtenu est un état contrôlé. Deux heures après la perte totale des alimentations électriques, le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé.

La stratégie de passage en état de repli conduit au passage en arrêt intermédiaire jusqu'aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA. Une borication du circuit primaire est réalisée, via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise. Parallèlement, le refroidissement du fluide primaire est réalisé par l'ouverture contrôlée des vannes VDA. La vitesse de refroidissement du fluide primaire est de 50 °C/h ou 25 °C/h si un seul train RBS est disponible. Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu grâce à l'ASG. Pendant le refroidissement, le circuit primaire est dépressurisé par l'aspersion auxiliaire ou si besoin les soupapes du pressuriseur.

Dès le début de l'accident, les chaufferettes compensent la diminution de pression primaire due à la fuite aux joints des GMPP. Toutefois, le RCV est indisponible et le pressuriseur se vide progressivement. Lorsque son niveau passe sous le seuil MIN3, les chaufferettes s'arrêtent automatiquement. A partir de cet instant une dépressurisation du primaire commence. Pendant le refroidissement initié lors du passage en état de repli, le signal IS sur « Bas ΔPsat » peut être déclenché et le refroidissement partiel démarré automatiquement. L'opérateur est alors dirigé vers la conduite Passage en Arrêt à Froid avec IS.

Vis-à-vis de la consommation d'ASG, l'accident de perte de l'eau alimentaire normale sans prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV et cumul du MDTE à l'instant de l'AAR est couvert par le transitoire de perte de l'eau alimentaire normale sans prise en compte de la continuité du fonctionnement du RCV et sans cumul MDTE présenté dans le § 6.2.. En effet :

- La durée de la phase de stabilisation est de 2h (compte tenu de la perte des alimentations électriques externes), alors que dans le calcul du transitoire de perte ARE avec fuite aux joints des GMPP non compensée et sans cumul MDTE, cette durée est supérieure à h.
- L'énergie des GMPP à évacuer n'est plus à considérer (alors que sans cumul du MDTE, les 4 GMPP sont en fonctionnement pendant la phase de stabilisation ainsi que pendant la phase 1 et une partie de la phase 2 du PAF avec IS).

On peut donc conclure que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sur cet accident.

- 2) Si à l'issue de la phase automatique, l'opérateur constate qu'au moins un GV est inutilisable sur le critère niveau GV < %GL, ce diagnostic le conduit à passer en arrêt à froid et à réaliser un refroidissement immédiat.

Vis-à-vis de la consommation d'ASG, l'accident de perte de l'eau alimentaire normale avec fuite aux joints des GMPP non compensée et cumul du MDTE à l'instant de l'AAR est toujours couvert par le transitoire de perte de l'eau alimentaire normale avec fuite aux joints des GMPP non compensée sans cumul MDTE présenté dans le § 6.2.. En effet, l'argumentaire du paragraphe 1. est valable dans ce cas à la différence qu'il n'y a pas de phase de stabilisation et que le repli est alors initié plus tôt au cours de l'accident. On peut donc conclure que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sur cet accident.

Si le cumul du MDTE est postulé à l'instant du signal IS, l'énergie des GMPP n'est plus à évacuer à partir de cet instant. De ce fait, la consommation de bache ASG pour rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA est plus faible que pour le cas sans cumul du MDTE. L'étude de ce cas ayant montré que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, c'est également valable pour le cas présent.

Quel que soit l'instant du cumul MDTE, l'état d'arrêt sûr est atteint :

- L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
- La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion des trains RIS-RA ce qui permet une évacuation durable de la puissance résiduelle.
- Les rejets radiologiques restent tolérables puisque les critères liés aux dommages sur les assemblages du combustible sont respectés (voir [§ 7.4.](#)).

8. CONCLUSION

Les analyses présentées dans ce chapitre démontrent que pour l'accident de perte de l'eau alimentaire normale (perte des 4 pompes ARE et de la pompe AAD) :

- Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'intégrité des gaines du combustible (voir [§ 5.1.](#)) et à l'intégrité du RDP (voir [§ 5.2.](#)) est garanti pour le cas sans MDTE.
- Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages limités sur les assemblages du combustible (voir [§ 7.4.](#)) est garanti pour le cas avec MDTE.
- Les critères relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé (voir [§ 5.2.](#) et [§ 7.4.](#)) puis de l'état d'arrêt sûr sont atteints (voir [§ 6.](#) et [§ 7.5.](#)) pour le cas sans MDTE comme pour le cas avec MDTE.

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés aux [§ 2.2.](#) et [§ 7.1.](#) est donc respecté.

TAB-15.2.21.1 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – CONDITIONS INITIALES À COURT, MOYEN ET LONG TERME AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV

□

TAB-15.2.2I.2 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – CONDITIONS INITIALES À LONG TERME SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV

□

**TAB-15.2.21.3 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE
SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME –
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Perte de l'eau alimentaire normale
51,0	Niveau GV gamme étroite < MIN1p □
□	AAR par « Bas Niveau GV »
□	Chute des grappes
53,2	RFTC minimum□
□	Déclenchement turbine
60,5	Première ouverture des VDA
80,0	Fin du transitoire

TAB-15.2.21.4 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE
SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME –
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Perte de l'eau alimentaire normale
39,4	Pression pressuriseur > MAX2p □
□	AAR par « Haute Pression Pressuriseur »
□	Chute des grappes
□	Déclenchement turbine
91,2	Première ouverture des VDA
1076,5	Niveau GV gamme large dans le GV 1, 2 et 4 < MIN2p □
□	Obtention du plein débit ASG train 1, 2 et 4
1800,0	Fin du transitoire

**TAB-15.2.21.5 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE
SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE
SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC
PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE
FONCTIONNEMENT DU RCV – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS**

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Perte de l'eau alimentaire normale
42,8	Niveau GV < MIN1p □
□	AAR par bas niveau GV
□	Chute des grappes
□	Déclenchement turbine
58,0	Première ouverture des VDA
270,7	Mise en service de l'ASG train 2
271,2	Mise en service de l'ASG train 1
□	Démarrage du refroidissement à 50°C/h par les VDA Arrêt des GMPP 1, 2 et 4
□	Début d'injection par le RCV
□	Validation de P12
□	Isolement des accumulateurs
□	Validation de P14
□	Atteinte température BC de 135 °C pour 2/4 boucles □
□	Fin du transitoire

TAB-15.2.21.6 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE
SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS
PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE
FONCTIONNEMENT DU RCV – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Perte de l'eau alimentaire normale
42,8	Niveau GV < MIN1p □
□	AAR par bas niveau GV
□	Chute des grappes
□	Déclenchement turbine
58,0	Première ouverture des VDA
255,5	Mise en service de l'ASG train 3
270,5	Mise en service de l'ASG train 2
271,0	Mise en service de l'ASG train 1
9763	Arrêt automatique des chaufferettes sur « Niveau Pressuriseur < MIN3 »
18892	Signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur » Démarrage du refroidissement partiel
19356	Fin du refroidissement partiel Lancement du refroidissement à -25°C/h Démarrage du RBS Validation de P19
30978	Ouverture de la grande ligne à débit nul des ISMP 1 et 2 sur « $\Delta T_{sat} > \square^\circ\text{C}$ et Température sortie cœur > $\square^\circ\text{C}$ »
32316	CB d'arrêt à froid atteinte : lancement du refroidissement à -50°C/h Arrêt du RBS
32483	Ouverture de la grande ligne à débit nul de l'ISMP 3 sur « $\Delta T_{sat} > \square^\circ\text{C}$ et Température sortie cœur > $\square^\circ\text{C}$ »
33938	Arrêt de tous les trains ISMP



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.21

PAGE 40/72

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènement</i>
	Dépressurisation par l'aspersion normale
33955	Isolement des accumulateurs
34273	Validation de P14 (Température branche chaude < []°C, Pression branche chaude < []bar) Arrêt des GMPP sur « P14 validé et Niveau Pressuriseur < Min3 »
35502	[] Conditions de connexion du RIS-RA en mode RA atteintes Fin du transitoire



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.21

PAGE 41/72

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.21.7 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE
AVEC CUMUL DU MDTE – CONDITIONS INITIALES À
COURT TERME

□

**TAB-15.2.21.8 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE
AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME –
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

<i>Temps (s)</i>	<i>Evènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Perte de l'eau alimentaire normale
51,0	Niveau GV gamme étroite < MIN1p□ - cumul MDTE
□	AAR par « Bas Niveau GV »
□	Chute des grappes
□	Déclenchement turbine
56,0	RFTC minimum □
61,4	Première ouverture des VDA
80,0	Fin de l'accident

**FIG-15.2.21.1 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS ARE**

□

FIG-15.2.21.2 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBIT ADMIS À LA TURBINE ET PRESSIONS DES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.21

PAGE 45/72

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.21.3 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – NIVEAUX GV GAMME ÉTROITE ET DÉBITS VDA

□

FIG-15.2.21.4 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.21

PAGE 47/72

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.21.5 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION
PRESSURISEUR ET NIVEAUX GV GAMME LARGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.21

PAGE 48/72

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.21.6 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – DÉBITS ARE

□

FIG-15.2.21.7 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – NIVEAUX GV GAMME ÉTROITE ET DÉBIT ADMIS À LA TURBINE

□

**FIG-15.2.21.8 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – PRESSIONS DES GV ET
DÉBITS VDA**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.21

PAGE 51/72

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.21.9 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – PUISSANCES CŒUR ET
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.21.10 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – PRESSION
PRESSURISEUR ET DÉBITS AUX SOUPAPES DU PRESSURISEUR**

□

**FIG-15.2.21.11 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À MOYEN TERME – NIVEAUX GV GAMME
LARGE ET DÉBITS ASG**

□

FIG-15.2.21.12 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – PUISSANCE CŒUR/GVS ET DÉBITS MASSIQUES DU PRIMAIRE

□

FIG-15.2.21.13 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – PRESSION PRESSURISEUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□

FIG-15.2.21.14 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – NIVEAUX PRESSURISEUR ET GV GAMME LARGE

□

FIG-15.2.21.15 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – MASSE ASG INJECTÉE ET PRESSION GV

□

FIG-15.2.21.16 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE



FIG-15.2.21.17 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR- ÉTUDE À LONG TERME BASÉE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE – AVEC PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – DÉBITS VAPEUR
VDA

□

FIG-15.2.21.18 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – PUISSANCE CŒUR/GVS ET DÉBITS MASSIQUES DU PRIMAIRE

□

FIG-15.2.21.19 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – PRESSION PRESSURISEUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□

FIG-15.2.21.20 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – NIVEAUX PRESSURISEUR ET GV GAMME LARGE

□

FIG-15.2.21.21 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE À LONG TERME – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – MASSE ASG INJECTÉE ET PRESSION GV

□

FIG-15.2.21.22 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□

FIG-15.2.21.23 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – DÉBITS MASSIQUES RBS, ISMP ET ISBP

□

FIG-15.2.21.24 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – SANS PRISE EN COMPTE DE LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RCV – DÉBITS VAPEUR VDA

□

**FIG-15.2.21.25 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS ARE ET DÉBITS
VOLUMIQUES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.21.26 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTROLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBIT ADMIS À LA
TURBINE ET PRESSIONS DES GV**

□

**FIG-15.2.21.27 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – NIVEAUX GV GAMME
ÉTROITE ET DÉBITS VDA**

□

**FIG-15.2.21.28 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.21.29 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION
PRESSURISEUR ET NIVEAUX GV GAMME LARGE**

□

FIG-15.2.21.30 PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – ÉVOLUTIONS DE LA TEMPÉRATURE AU CENTRE DE LA PASTILLE ET DE LA TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ

□


SOMMAIRE


.15.2.2K PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE SANS AAR PARTIEL	4
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	4
2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	6
2.1. PHÉNOMÈNES IMPORTANTS ET QUALIFICATION DES CODES UTILISÉS	6
2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	7
2.3. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	8
2.4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	9
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	9
3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	9
3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	9
3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME	11
4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	12
4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'ACCIDENT	12
4.2. CRITÈRES D'ETUDES	12
4.3. MOYENS DE PROTECTION	13
4.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CÔNTRÔLE – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	13
4.5. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	15
4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	16
LISTE DES RÉFÉRENCES.	17

TABLEAUX :

TAB-15.2.2K.1 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE – PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES.....	18
TAB-15.2.2K.2 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	20
TAB-15.2.2K.3 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	21
TAB-15.2.2K.4 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	22

FIGURES :

FIG-15.2.2K.1 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DÉBITS ET SIGNAUX .....	23
FIG-15.2.2K.2 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES	24
FIG-15.2.2K.3 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME POSITION DES GROUPES ET PRESSION PRESSURISEUR.....	25
FIG-15.2.2K.4 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME RFTC.....	26
FIG-15.2.2K.5 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME PUISSANCES CŒUR ET DÉBIT PRIMAIRE	27
FIG-15.2.2K.6 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	28

FIG–15.2.2K.7 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME PRESSION ET NIVEAU D’EAU DANS LE PRESSURISEUR	29
FIG–15.2.2K.8 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME DÉCHARGE DE VAPEUR À LA PREMIÈRE SOUPE DU PRESSURISEUR ET PUISSANCE DES CHAUFFERETTES	30
FIG–15.2.2K.9 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME PRESSIONS ET NIVEAUX D’EAU DANS LES GV	31
FIG–15.2.2K.10 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME DÉBITS D’ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS VAPEUR SORTANT DES GV	32
FIG–15.2.2K.11 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME INTÉGRALE DE LA MASSE DÉVERSÉE DANS LE RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR	33
FIG–15.2.2K.12 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU MDTE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DÉBITS ET SIGNAUX 	34
FIG–15.2.2K.13 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU MDTE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES	35
FIG–15.2.2K.14 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU MDTE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME POSITION DES GROUPES ET PRESSION PRESSURISEUR	36
FIG–15.2.2K.15 PERTE D’UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU MDTE DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME TEMPÉRATURE DE GAINÉ	37

.15.2.2K PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE SANS AAR PARTIEL

Cet événement est analysé seulement avec le réacteur en puissance (état A).

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Une perte partielle du débit de réfrigérant primaire est due à l'annulation du couple moteur sur une pompe suite à une défaillance mécanique ou électrique d'une pompe primaire, ou de l'interruption de l'alimentation électrique d'un jeu de barres. Ce transitoire se traduit par une décroissance du débit dans la boucle affectée et par une légère augmentation du débit dans les boucles saines, le débit cœur diminuant en fonction de ces deux effets. Le transfert de chaleur vers le circuit secondaire est dissymétrique : il est fortement dégradé dans le générateur de vapeur de la boucle affectée par la perte de pompe, suite à la réduction de débit primaire ; il est au contraire légèrement amélioré dans les 3 autres boucles. L'échauffement global du primaire qui en résulte conduit à une dilatation du réfrigérant, et entraîne une expansion dans le pressuriseur ainsi qu'une augmentation de pression dans tout le circuit primaire. Cette augmentation peut conduire à la mise en service de l'aspersion au pressuriseur avant l'Arrêt Automatique du Réacteur.

La diminution du débit dans la boucle primaire affectée conduit à l'Arrêt Automatique du Réacteur sur un signal de « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4.

Après le déclenchement de l'Arrêt Automatique du Réacteur, l'énergie emmagasinée dans les crayons combustibles continue à être transférée, avec une puissance réduite du fait des contre-réactions de densité modérateur ou constante si cette contre-réaction est nulle, ce qui provoque la dilatation du réfrigérant primaire. Simultanément, le transfert de chaleur aux générateurs de vapeur est diminué, suite à la réduction de débit primaire, et suite à l'augmentation de la température secondaire (le débit de vapeur de la turbine et le débit d'eau alimentaire normale sont ramenés à zéro suite à l'Arrêt Automatique du Réacteur). La dilatation rapide du réfrigérant dans le cœur du réacteur, combinée à la baisse de transfert thermique dans les générateurs de vapeur, tend à accroître l'expansion dans le pressuriseur et l'augmentation de pression dans le circuit primaire, pouvant conduire à l'ouverture des soupapes de sûreté du pressuriseur.

Protection

Le signal d'Arrêt Automatique du réacteur « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 assure la protection du réacteur contre la perte d'une pompe primaire. Le signal de compte-rendu d'AAR provoque le déclenchement de la turbine et l'isolement des lignes grand débit de l'eau alimentaire normale.

Les autres signaux de protection sollicités sont le signal « Haute Pression GV » pour l'ouverture des vannes d'isolement du VDA, GV par GV, et éventuellement le signal de « Très Bas Niveau GV » pour le démarrage de l'ASG, GV par GV.

Critères d'études

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés à la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère en RFTC supérieur à 1,0.
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustibles doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.

Le respect du critère en puissance linéique (phase à court terme), qui constitue un critère technique d'acceptation vis-à-vis de la non fusion du combustible, ne fait l'objet d'aucune vérification spécifique dans la présente section. En effet, en l'absence de crise d'ébullition, les températures du combustible sont peu sensibles à la diminution du débit primaire et elles sont pilotées essentiellement par la puissance nucléaire qui ne fait que décroître en transitoire et par le facteur de point chaud, FQ, qui reste relativement constant en transitoire. Il n'y a donc pas de problème de sûreté lié à la température du combustible pour ce transitoire.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état contrôlé (arrêt à chaud), les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- L'AAR est déclenché à partir du signal suivant : « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 [] .
- 4 trains VDA pour l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation de la pression [] ,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV lorsque le niveau GV < [] Gamme Large,
- 3 soupapes de sûreté du pressuriseur pour limiter la pression du RCP avec des seuils à [] bar abs (1^{ère} soupape pressuriseur), [] bar abs (2^{ème} soupape pressuriseur) et [] bar abs (3^{ème} soupape pressuriseur).

De l'événement initiateur à l'état contrôlé, le transitoire peut être divisé en deux phases distinctes :

- la phase « court terme », caractérisée par une diminution rapide du RFTC et un risque d'apparition de la crise d'ébullition, c'est-à-dire les premières secondes du transitoire,
- la phase « moyen terme », au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur doit être assurée et pour laquelle la masse de vapeur déchargée dans le RDP doit rester inférieure à la masse critique qui entraînerait la rupture des disques de ce dernier. La phase moyen terme se poursuit jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, les fonctions F1B suivantes (au moins) sont disponibles :

- 4 trains VDA pour le refroidissement jusqu'à la connexion du RRA ,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV ,
- 2 trains RBS pour la borication .

Dans les phases à moyen et à long termes, la prise en compte de la maintenance préventive et d'un aggravant peut conduire à la perte d'un ou de deux systèmes décrits ci-dessus.

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Pour l'évolution du transitoire jusqu'à l'obtention de l'état contrôlé, les deux phases susmentionnées (court terme et moyen terme) doivent être étudiées séparément.

L'étude de la phase à court terme consiste à évaluer la valeur minimale de RFTC atteinte en cours de transitoire. L'évolution du transitoire est simulée à l'aide de calculs dans lesquels on suppose que le transitoire de perte d'une pompe primaire se produit à l'instant $t=0s$.

L'étude explicite de la phase à moyen terme consiste à vérifier la non rupture des disques du RDP. L'évolution du transitoire est simulée à l'aide de calculs cinétique-point dans lesquels on suppose que le transitoire de perte d'une pompe primaire se produit à l'instant $t=0s$. Cette étude a été menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaires (voir Annexe 15B).

L'étude explicite des phases à moyen et à long termes (comportement global de l'installation) pour les autres critères de sûreté n'est pas nécessaire car ces phases sont couvertes par d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus anti-réactive)	Sans objet
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	<input type="checkbox"/>	1 pompe ASG (ou 1 diesel conduisant également à perdre 1 pompe ASG)
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr	Cf. cas de référence (voir § 3.3.)	

Tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour la phase court terme, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

2.1. PHÉNOMÈNES IMPORTANTS ET QUALIFICATION DES CODES UTILISÉS

La famille d'événements analysée est la perte totale ou partielle du débit primaire.

Dans le cas présent, l'événement considéré est la perte d'une pompe primaire. Pour cetranstioire, le cumul du Manque de Tension Externe fait l'objet d'une étude distincte reportée en § 4. En l'absence de cumul du Manque de Tension Externe, les trois autres pompes primaires restent en fonction, de même que l'alimentation en eau du côté secondaire et le condenseur.

Phénomènes

Les phénomènes étudiés ici sont fondamentalement les mêmes que pour la perte totale des alimentations électriques externes de courte durée (voir section 15.2.2h) et la défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué – voir section 15.2.4h).

Codes et Qualification

□

Ces codes sont décrits en Annexe 15A, ainsi que leur base de qualification.

2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

1) Méthode d'analyse

□

□

2) Données neutroniques et thermiques

Les données neutroniques et thermiques considérées afin de pénaliser le transitoire □ sont les suivantes :

- Le coefficient de température modérateur est choisi minimum en valeur absolue □ (voir sous-chapitre 4.3) □.
- Le coefficient de transfert thermique du jeu pastille/gaine est minimum et constant au cours du transitoire □.
- La fraction effective de neutrons retardés est maximum □ (voir sous-chapitre 4.3).

3) Conditions initiales et limites

Les conditions initiales ont été sélectionnées de manière à être les plus pénalisantes vis-à-vis du risque d'entrée en crise d'ébullition.

□

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2k.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

4) Hypothèses relatives aux systèmes

GMPP

La courbe de ralentissement du débit du cœur prend en compte, de manière pénalisante, une inertie minimisée des pompes primaires. La valeur utilisée pour le moment d'inertie est la même que pour les études de perte totale des alimentations électriques externes de courte durée (voir section 15.2.2h) et de défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué – voir section 15.2.4h).

Système de protection

L'arrêt automatique du réacteur est sollicité par le signal de « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 ; ce signal est associé au permissif P3.

□

Le temps de chute des grappes considéré ne prend pas en compte le séisme. Il est maximal □ (voir sous-chapitre 15.1).

L'efficacité intégrale de l'arrêt automatique du réacteur (N-1 grappes) est diminuée de son incertitude □. Une valeur enveloppe prenant en compte la dispersion entre cycles et les pénalités pour modèles perturbés (tilt, FPPR, SCTR) est retenue.

De façon découplée, le déclenchement turbine est supposé avoir lieu sans retard sur le signal d'AAR.

L'isolement de l'alimentation normale des générateurs de vapeur intervient suite à l'arrêt automatique du réacteur.

5) **Vérification du critère en RFTC**

La valeur minimale du RFTC est calculée de manière découplée pour l'assemblage chaud, tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issue du transitoire neutronique.
- Le facteur d'élévation d'enthalpie est maximal \square (voir sous-chapitre 4.3) ; il est associé à une distribution radiale de puissance cœur dite « de conception » (voir sous-chapitre 4.4).
- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et températures primaires) sont issues du transitoire neutronique.

2.3. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

1) **Méthodes d'analyse**

\square
Il s'agit de vérifier, avec les règles d'étude définies dans la section 15.0.2, que la puissance résiduelle est correctement évacuée, et que l'état contrôlé est atteint.

L'analyse doit donc permettre de vérifier la non rupture du Réservoir de Décharge du Pressuriseur (RDP), permettant d'écarter le risque de rejets dans l'enceinte de confinement. Dans cette approche, si une soupape SEMPELL est sollicitée, sa non-refermeture est exclue du champ d'application de l'aggravant unique.

L'analyse relative à la vérification des autres critères de sûreté n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres événements.

2) **Conditions initiales et limites**

Les conditions initiales utilisées, les hypothèses relatives au cœur et les hypothèses relatives aux régulations sont précisées dans le tableau [TAB-15.2.2k.1](#). Ce tableau précise également les hypothèses concernant l'aggravant et la maintenance préventive.

Les hypothèses retenues visent à favoriser la sollicitation de la première soupape du pressuriseur et à pénaliser la masse de vapeur déchargée dans le RDP. Ce sont donc les hypothèses conduisant à la plus grande dilatation du fluide primaire avant l'atteinte de l'état contrôlé. Ainsi, en particulier :

- Le point de fonctionnement initial retenu est le point de fonctionnement limite en prolongation de cycle à pleine puissance, avec un débit primaire maximal et une surface d'échange primaire/secondaire nominale : ces conditions couvrent celles du cycle naturel, car elles conduisent à une température moyenne primaire initiale minimale à pleine puissance, ce qui conduit d'une part à une masse d'eau primaire initiale plus élevée qu'en cycle naturel, et d'autre part à un échauffement plus important du fluide primaire entre l'instant initial et l'état contrôlé.
- Les hypothèses retenues visent à favoriser l'échauffement du fluide primaire après l'arrêt automatique du réacteur \square .

De manière pénalisante, une inertie minimale des pompes primaires est prise en compte.

3) **Hypothèses relatives aux systèmes de protection et de sauvegarde**

L'exhaustivité des simulations qui ont été réalisées dans le cadre du transitoire de perte d'une pompe primaire montre qu'une double sollicitation des soupapes du pressuriseur n'est pas possible.

Arrêt automatique du réacteur

L'arrêt automatique du réacteur est sollicité par le signal « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 (classé F1A) ; ce signal est associé au permissif P3.

\square
Le temps de chute des grappes considéré ne prend pas en compte le séisme. Il est maximal \square (voir Annexe 15B).

Déclenchement de la turbine

La fermeture des vannes de déclenchement turbine sur compte-rendu d'AAR est effective dans un délai minimal de [] s après le signal d'AAR.

Ouverture des vannes VDA

L'ouverture des vannes d'isolement de la décharge à l'atmosphère est provoquée par le signal « Haute Pression GV » (Max1p) (classé F1A). Les vannes de contrôle du VDA sont prépositionnées avec la baisse de puissance causée par l'AAR (la régulation du prépositionnement est classée F1A).

La capacité des vannes du VDA est supposée maximale dans le but d'accentuer la dépressurisation primaire.

[]

Démarrage de l'ASG

Les pompes ASG démarrent sur signal « Très Bas Niveau GV » (classé F1A).

[]

On prend en compte un débit minimal [], et une température maximale de l'eau des secours [].

Soupapes du pressuriseur

La première soupape du pressuriseur est supposée s'ouvrir à [] bar abs [] ; sa capacité est supposée maximale, et l'hystérésis prise en compte pour la refermeture de la soupape est de [] de la pression de tarage, soit [] bar (voir Annexe 15B). Le temps de fermeture de la soupape est pris maximal [].

2.4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

L'étude de l'événement de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres événements (voir § 3.3.).

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME

La séquence des événements du transitoire se trouve dans le tableau [TAB-15.2.2k.2](#). Les principaux paramètres du transitoire sont représentés sur les figures [FIG-15.2.2k.1](#) à [FIG-15.2.2k.4](#).

L'étude de la phase court terme montre que, même dans les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire avec la valeur maximale du $F\Delta H$ et la distribution axiale de puissance pénalisante de l'assemblage chaud (le plus pénalisant vis-à-vis du critère en RFTC), la valeur de RFTC atteinte au cours du transitoire [] est supérieure à 1, ce qui garantit l'absence de crise d'ébullition.

3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

Phase moyen terme relative au respect des rejets d'activité dans l'enceinte

Résultats

La séquence des événements du transitoire est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2k.3](#). Les principaux paramètres du transitoire sont représentés sur les figures [FIG-15.2.2k.5](#) à [FIG-15.2.2k.11](#).

La perte d'une pompe primaire conduit à une forte décroissance du débit du réfrigérant primaire provoquant l'augmentation de la température moyenne primaire et, par conséquent, de la pression primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur (la régulation par l'aspersion normale étant indisponible du fait de l'initiateur). Un premier pic de pression primaire [] est rapidement atteint.

Du fait de la perte d'une pompe primaire, l'arrêt automatique du réacteur intervient assez rapidement sur signal de « Très bas débit boucle », et conduit à la chute des grappes []. La baisse sensible de puissance qui suit la chute des grappes entraîne une baisse brutale des températures en branches chaudes, de la pression primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur.

Le déclenchement de la turbine intervient [] secondes après le début du transitoire et conduit à une augmentation des pressions secondaires et à une dégradation de l'échange de puissance entre le primaire et le secondaire. Cette dégradation, conjuguée à la perte de débit primaire, entraîne un nouvel échauffement et une nouvelle dilatation du fluide primaire. La montée en pression primaire provoque l'ouverture de la première soupape du pressuriseur à 144,9 secondes, conduisant à une décharge vapeur de [] tonnes dans le RDP, et à une baisse rapide de la pression primaire. La pression primaire augmente de nouveau après la fermeture de la soupape.

L'augmentation de la pression secondaire conduit à l'ouverture des vannes d'isolement des VDA sur signal de Haute Pression GV, [] vers 241,5 s. Les trains VDA assurent alors un maintien de la pression secondaire []. La température et la pression primaires se stabilisent, l'évacuation de la puissance résiduelle étant assurée. Si l'opérateur n'intervient pas plus tôt, l'ASG démarre automatiquement, GV par GV, lorsque le signal de « Très Bas Niveau GV » est atteint.

Conclusions

[] tonnes de vapeur sont déchargées dans le RDP lors de l'unique ouverture de la première soupape du pressuriseur qui a lieu environ 124 secondes après le début de la chute des grappes. La masse déchargée est inférieure à la masse critique de [] tonnes entraînant la rupture des disques du RDP []. Le critère technique d'acceptation lié à l'intégrité du RDP est donc respecté.

Phase moyen terme relative au respect des autres critères de sûreté

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppés par rapport à l'évènement de perte d'une pompe primaire sans AAR partiel :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : Respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1. sont donc vérifiés.

3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RR1/SEC ou ISBP/RR1/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport au transitoire de perte d'une pompe primaire sans AAR partiel :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte du vide du condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : Respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RR1/SEC ou ISBP/RR1/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme

Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1. sont donc vérifiés.

Les actions de conduite décrites ci-dessous prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE. La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG.

Les actions de conduite sont les suivantes :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », le Diagnostic Primaire Fermé, après vérification de la non dégradation des fonctions d'état, oriente l'opérateur vers la procédure « Stabilisation en Conduite Incidentelle » pour le cas sans cumul du MDTE. Pour le cas avec cumul du MDTE, après application de la fiche EFS « perte 10kV », l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en Conduite Incidentelle » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et « N PZR < 0% » sont négatives.

Pour le cas sans MDTE, après la phase de stabilisation, l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication CI » sur le critère $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$, vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN$ ou $N_{PZR} > \square\%$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure Borication CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'injecter le volume RBS requis. L'opérateur est ensuite orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères délai d'amorçage écoulé ou somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN$ ou $N_{PZR} > \square\%$, vers la procédure « Stabilisation CI » sur le critère $CB > CB_{requis}$ ou $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure PER en CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50°C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et la $CB > CB_{requis}$ ou si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et le $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$ ou si 2 trains RBS sont en service, ou à 25°C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bars relatifs, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RRA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas où un GV devient inutilisable avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RRA en mode RA, l'opérateur est réorienté vers la procédure PAF sans IS.

Dans la procédure PAF sans IS, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la $CB > CB_{requis}$ ou si le $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$ requis, ou à 25°C/h si 1 train RBS est en service et le $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bars relatifs, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RRA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque De Tension Externe) sur le transitoire de perte d'une pompe primaire sans AAR partiel étudié précédemment dans la section. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : à l'instant initial, à l'arrêt automatique du réacteur et au signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré pour l'arrêt automatique du réacteur.

4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'ACCIDENT

Elles sont identiques à celles décrites pour le transitoire de perte d'une pompe primaire sans AAR partiel sans MDTE (voir § 1.).

4.2. CRITÈRES D'ETUDES

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés à la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustibles susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10%.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de la gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section de crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.

Le respect du critère de fusion de 10% du combustible au point chaud ne fait l'objet d'aucune vérification spécifique pour l'analyse de l'accident avec cumul du MDTE. En effet, jusqu'au cumul du MDTE, les critères techniques d'acceptation relatifs aux transitoires PCC-2 pour la phase court terme sont respectés (absence de crise d'ébullition et de fusion à cœur des pastilles de combustible— voir [§ 1.](#) et [§ 3.1.](#)). Après le cumul du MDTE, l'accident est alors assez rapide pour que les températures du combustible soient peu sensibles à la dégradation de l'évacuation de la puissance par le fluide primaire et qu'elles soient pilotées essentiellement par la puissance nucléaire qui ne fait que décroître. Il n'y a donc pas de problème de sûreté lié à la température du combustible pour l'accident de perte d'une pompe primaire sans AAR partiel avec cumul du MDTE.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé:
 - Le cœur est sous critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

4.3. MOYENS DE PROTECTION

En complément des actions du système de protection du réacteur décrites pour le transitoire sans cumul du MDTE (voir [§ 1.](#)), les actions du système de protection du réacteur suivantes peuvent intervenir :

- « Bas débit boucle » dans 2 boucles sur 4,
- « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4.

Les caractéristiques de ces chaînes de protection sont précisées dans le sous-chapitre 15.1.

4.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CÔNTRÔLE – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

1) Choix de l'aggravant et impact de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'études PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

En cohérence avec l'étude de perte d'une pompe sans cumul du MDTE, l'aggravant unique considéré dans cette étude est le blocage de la grappe la plus anti-réactive hors du cœur lors de l'AAR.

Aucune maintenance préventive pénalisant l'accident n'est identifiée.

2) Méthode d'analyse et codes de calcul




3) Hypothèses d'étude

Les conditions initiales et limites, ainsi que les données neutroniques et thermiques, sont identiques à celles retenues pour le transitoire pénalisant étudié sans cumul du MDTE (voir § 2.2.), à l'exception de l'axial-offset cœur initial.




Il conduit alors :

- au ralentissement des 3 autres pompes primaires,
- à la perte de l'alimentation normale des générateurs de vapeur : le débit ARE est supposé s'annuler instantanément.



Le temps de chute des grappes considéré pour l'arrêt automatique du réacteur prend en compte le séisme. Il est maximal et vaut  (voir sous-chapitre 15.1).

4) Vérification critère en nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition

Dans un premier temps, le RFTC est calculé de manière découplée pour l'assemblage chaud, tout au long de l'accident, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issue du transitoire neutronique.
- Le facteur d'élévation d'enthalpie est maximal  (voir sous-chapitre 4.3) ; il est associé à une distribution radiale de puissance cœur dite « de conception » (voir sous-chapitre 4.4).
- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) sont issues du transitoire neutronique.

Le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est ensuite calculé, autour de l'instant de RFTC minimal, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issue du transitoire neutronique.
- Le calcul est réalisé avec chacune des courbes de fuel census  correspondant aux cycles de la première gestion FA3 (voir sous-chapitre 4.3), recalées par homothétie sur le facteur d'élévation d'enthalpie maximal ( voir sous-chapitre 4.3).
- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) sont issues du transitoire neutronique.

On retient le nombre maximal de crayons entrant en crise d'ébullition pour comparaison au critère technique d'acceptation de 10%.

5) Vérification du critère en température de gaine

Les données neutroniques considérées pour l'analyse thermique découplée sont les suivantes :

- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance nucléaire, pression, débit massique et densité) sont issues du transitoire neutronique.
- L'évolution du facteur de point chaud FQ de l'assemblage considéré issue du transitoire neutronique est translatée de telle sorte qu'à l'instant initial, la puissance linéique soit égale à la limite de fonctionnement (soit 450 W/cm).
- L'entrée en crise d'ébullition est supposée intervenir de façon conservatrice à l'instant de cumul du MDTE.

- Le coefficient de transfert thermique dans le jeu pastille/gaine est de façon conservative minimal à l'instant initial, puis maximal à l'instant d'entrée en crise d'ébullition de façon à pénaliser la température de gaine.

6) Résultats

La séquence des évènements de l'accident avec cumul du MDTE se trouve dans le tableau [TAB-15.2.2k.4](#). Les évolutions des principaux paramètres de l'accident sont représentées sur les figures [FIG-15.2.2k.12](#) à [FIG-15.2.2k.14](#).

Cet accident conduit au maximum à l'entrée en crise d'ébullition de % des crayons combustibles. Le maximum de température atteint par la gaine au point chaud est de °C.

L'évolution de la température à l'intérieur de la gaine est donnée figure [FIG-15.2.2k.15](#).

Par conséquent les critères techniques d'acceptation « nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition < 10% » et « température maximale de la gaine < 1482°C » sont respectés pour l'accident de perte d'une pompe primaire sans AAR partiel avec cumul du MDTE.

4.5. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres évènements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces évènements sont enveloppes par rapport à l'accident de perte d'une pompe primaire sans AAR partiel avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : Respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme avec cumul du MDTE

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 4.2](#). sont donc vérifiés.

4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres accidents (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRR/SEC ou ISBP/RRR/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport à l'accident de perte d'une pompe primaire sans AAR partiel avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : Respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRR/SEC ou ISBP/RRR/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme avec cumul du MDTE

Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 4.2.](#) sont donc vérifiés.

Les actions de conduite permettant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont présentées en [§ 3.3.](#)



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 17/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

TAB-15.2.2K.1 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE – PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES

□



□

**TAB-15.2.2K.2 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

Instant (s)	Événement
0,00	Initiateur du transitoire : perte d'une pompe primaire
21,65	Le seuil d'AAR par « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 est atteint □
□	□
□	Déclenchement turbine
□	Début de la chute des grappes Instant de $RFTC_{min}$ □
23,55	Instant d'atteinte de la pression maximum au pressuriseur □

TAB-15.2.2K.3 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

Instant (s)	Événement
0,00	Initiateur du transitoire : perte d'une pompe primaire
19,80	Le seuil d'AAR par « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 est atteint □
□	□
□	Début de la chute des grappes
□	Déclenchement turbine
144,90	Ouverture de la première soupape du pressuriseur
175,30	Fermeture de la première soupape du pressuriseur □
241,5	Ouverture des vannes d'isolement du VDA
1420,55	Démarrage de l'ASG

**TAB-15.2.2K.4 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE AVEC
CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS**

Instant (s)	Événement
0,00	Initiateur du transitoire : perte d'une pompe primaire
21,65	Le seuil d'AAR par « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 est atteint □
□	□
□	Déclenchement turbine
22,50	Instant d'atteinte de la pression seuil □ qui déclencherait l'aspersion normale du pressuriseur (non prise en compte car pas d'impact sur le respect des critères techniques d'acceptation)
□	Début de la chute des grappes
22,80	Instant de RFTC min Instant où la fraction de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est maximale □
24,40	Instant d'atteinte de la pression maximum au pressuriseur □
25,35	Instant d'atteinte de la température maximale de gaine



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 23/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2K.1 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DÉBITS
ET SIGNAUX**

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 24/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2K.2 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
PUISSANCE CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 25/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2K.3 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
POSITION DES GROUPES ET PRESSION PRESSURISEUR**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 26/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2K.4 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME RFTC**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 27/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2K.5 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
PUISSANCES CŒUR ET DÉBIT PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 28/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2K.6 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.2K.7 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
PRESSION ET NIVEAU D'EAU DANS LE PRESSURISEUR**

□

**FIG-15.2.2K.8 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
DÉCHARGE DE VAPEUR À LA PREMIÈRE SOUPE DU
PRESSURISEUR ET PUISSANCE DES CHAUFFERETTES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 31/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2K.9 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
PRESSIONS ET NIVEAUX D'EAU DANS LES GV**

□

**FIG-15.2.2K.10 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME DÉBITS
D'ALIMENTATION DES GV ET DÉBITS VAPEUR SORTANT DES GV**

□

**FIG-15.2.2K.11 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN
TERME INTÉGRALE DE LA MASSE DÉVERSÉE DANS LE
RÉSERVOIR DE DÉCHARGE DU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 34/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2K.12 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU
MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME DÉBITS ET SIGNAUX □

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 35/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2K.13 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU
MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR ET TEMPÉRATURES
PRIMAIRES**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 36/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2K.14 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU
MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME POSITION DES GROUPES ET PRESSION
PRESSURISEUR

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2K

PAGE 37/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2K.15 PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE AVEC CUMUL DU
MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME TEMPÉRATURE DE GAINÉ

□

SOMMAIRE

.15.2.2M RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTAT A)	8
1. RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE	8
1.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	8
1.2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	10
1.2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	10
1.2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	14
1.2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	14
1.3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	14
1.3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	14
1.3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	17
1.3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME	18
1.4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	20
1.4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'ACCIDENT	20
1.4.2. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION	20
1.4.3. MOYENS DE PROTECTION	20
1.4.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	21
1.4.5. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	23
1.4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	24
2. RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE	25
2.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	25

2.2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	27
2.2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME (ATTENTE À CHAUD)	28
2.2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME (ATTENTE À CHAUD)	30
2.2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME (ATTENTE À CHAUD)	31
2.3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	31
2.3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME (ATTENTE À CHAUD)	31
2.3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME (ATTENTE À CHAUD)	31
2.3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME (ATTENTE À CHAUD)	32
2.4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	34
2.4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'ACCIDENT	34
2.4.2. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION	34
2.4.3. MOYENS DE PROTECTION	35
2.4.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME (ATTENTE À CHAUD)	35
2.4.5. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME (ATTENTE À CHAUD)	36
2.4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME (ATTENTE À CHAUD)	37
LISTE DES RÉFÉRENCES	39

TABLEAUX :

TAB-15.2.2M.1 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES	40
TAB-15.2.2M.2 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN PUISSANCE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - FAH ET FQ DE RECALAGE	41
TAB-15.2.2M.3 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN PUISSANCE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	42
TAB-15.2.2M.4 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN PUISSANCE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE– SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	43
TAB-15.2.2M.5 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	44
TAB-15.2.2M.6 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	45
TAB-15.2.2M.7 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PROTECTION SPÉCIFIQUE	46
TAB-15.2.2M.8 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PROTECTION SPÉCIFIQUE	47
TAB-15.2.2M.9 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE À PUISSANCE NULLE – ATTENTE À CHAUD DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT	

CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES 48

TAB–15.2.2M.10 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – ATTENTE À CHAUD DE L’EVENEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RÉSULTATS..... 49

TAB–15.2.2M.11 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL MDTE – ATTENTE À CHAUD DE L’EVENEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES 51

TAB–15.2.2M.12 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL MDTE – ATTENTE À CHAUD DE L’EVENEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RÉSULTATS 52

FIGURES :

FIG–15.2.2M.1 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE - SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE LA CHAINE DE PROTECTION PAR BAS RFTC 53

FIG–15.2.2M.2 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE - SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE LA CHAINE DE PROTECTION PAR PUISSANCE LINÉIQUE ÉLEVÉE..... 54

FIG–15.2.2M.3 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L’EVENEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RFTC PHYSIQUE MINIMAL EN FONCTION DE LA VITESSE D’INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 100%PN 55

FIG–15.2.2M.4 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE : DE L’EVENEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RFTC PHYSIQUE MINIMAL EN FONCTION DE LA VITESSE D’INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 60%PN 56

FIG–15.2.2M.5 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L’EVENEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RFTC PHYSIQUE MINIMAL EN FONCTION DE LA VITESSE D’INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 10%PN 57






FIG-15.2.2M.6 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - PUISSANCE LINÉIQUE MAXIMALE EN FONCTION DE LA VITESSE D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 100% PN	58
FIG-15.2.2M.7 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE LINÉIQUE MAXIMALE EN FONCTION DE LA VITESSE D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 60%PN	59
FIG-15.2.2M.8 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE LINÉIQUE MAXIMALE EN FONCTION DE LA VITESSE D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 10%PN	60
FIG-15.2.2M.9 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC CAS 100%PN –  PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES.....	61
FIG-15.2.2M.10 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC CAS 100%PN –  PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES.....	65
FIG-15.2.2M.11 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE - CAS 100%PN –  PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES	69
FIG-15.2.2M.12 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE - DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – CAS 100%PN –  PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES.....	72
FIG-15.2.2M.13 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – CAS 100%PN –  PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES	73

FIG-15.2.2M.14 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – CAS 60%PN – □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES 74

FIG-15.2.2M.15 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – COURBE DE FUEL CENSUS SPÉCIFIQUE POUR LES CAS À PUISSANCE RÉDUITE (60%PN ET 10%PN)..... 75

FIG-15.2.2M.16 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC CAS 10%PN – □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES 76

FIG-15.2.2M.17 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE CAS 10%PN – □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES 79

FIG-15.2.2M.18 SCHÉMA DES □ GRAPPES DE CONTRÔLE ET D'ARRÊT 83

FIG-15.2.2M.19 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – RÉACTIVITÉ 84

FIG-15.2.2M.20 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – NIVEAUX DE PUISSANCE NUCLÉAIRE ET THERMIQUE..... 85

FIG-15.2.2M.21 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – NIVEAUX DE PUISSANCE NUCLÉAIRE ET THERMIQUE (ZOOM)..... 86

**FIG–15.2.2M.22 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE
NULLE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT
EN RFTC – TEMPÉRATURE AU CENTRE DU COMBUSTIBLE..... 87**

**FIG–15.2.2M.23 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE
NULLE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT
EN RFTC – RFTC 88**

**FIG–15.2.2M.24 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE
NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR À
L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU
TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – DÉBIT CŒUR..... 89**

**FIG–15.2.2M.25 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE
NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR À
L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU
TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – NIVEAUX DE PUISSANCE
NUCLÉAIRE ET THERMIQUE 90**

**FIG–15.2.2M.26 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE
NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR À
L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU
TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – NIVEAUX DE PUISSANCE
NUCLÉAIRE ET THERMIQUE (ZOOM) 91**

**FIG–15.2.2M.27 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE
NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR À
L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU
TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – TEMPÉRATURE AU CENTRE
DU COMBUSTIBLE 92**

**FIG–15.2.2M.28 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE
NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L’EVENEMENT INITIATEUR À
L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU
TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – RFTC 93**

.15.2.2M RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTAT A)

Le retrait incontrôlé de groupes est un transitoire faisant partie des conditions de catégorie 2 (PCC-2) s'il survient dans l'état A du réacteur, mais il fait partie des conditions de catégorie 3 (PCC-3) s'il survient dans les états B, C, ou D du réacteur (voir section 15.2.3m).

Pour l'état A, l'analyse détaillée présentée ci-dessous est réalisée pour les conditions : en puissance et à puissance nulle, de l'arrêt à chaud (sous critique) à l'attente à chaud (critique).

La vitesse de retrait des groupes est prise de façon enveloppe et conservative à une valeur très élevée (75 cm/min).

1. RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE

1.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Un retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance entraîne une augmentation du flux de chaleur dans le cœur. Jusqu'à l'ouverture des vannes de décharge ou des soupapes de sûreté du secondaire, le déséquilibre entre la chaleur extraite par les générateurs de vapeur et la puissance dégagée dans le primaire augmente. Il en résulte un accroissement de la température et de la pression du réfrigérant.

Dans le cas d'un transitoire d'insertion lente de réactivité, l'accroissement de température du réfrigérant primaire suit l'accroissement de la puissance nucléaire ; ceci peut éventuellement conduire à la crise d'ébullition nucléée.

Dans le cas d'un transitoire d'insertion rapide de réactivité, la puissance nucléaire s'accroît très rapidement contrairement à la température du réfrigérant ; ceci peut conduire à endommager le combustible (crise d'ébullition nucléée ou puissance linéique élevée).

Le retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance peut survenir à cause :

- d'une erreur de pilotage de l'opérateur,
- d'une erreur d'un système de contrôle,
- de la défaillance d'un équipement.

protection

Les différentes actions du système de protection du réacteur qui peuvent intervenir dans la protection du cœur pour un transitoire de ce type sont les suivantes :

- bas Rapport de Flux Thermique Critique (Bas RFTC),
- taux élevé d'augmentation du flux nucléaire,
- puissance linéique élevée,
- puissance thermique élevée,
- pression du pressuriseur élevée,
- niveau du pressuriseur élevé,
- pression secondaire élevée.

Toutefois, les protections « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée » assurent une protection efficace du cœur pour la plupart des transitoires d'insertion de réactivité, à l'exception des plus rapides pour lesquels l'activation de la protection doit se faire dans un délai très bref, ce qui est assuré par la protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire ».

critères d'étude

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère en RFTC supérieur à 1,0.
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état contrôlé (arrêt à chaud), les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- l'AAR déclenché à partir du signal « Bas RFTC » ou « Puissance linéique élevée » ou « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire »,
- 4 trains VDA pour l'évacuation de la puissance cœur par le secondaire et la limitation de la pression \square ,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV lorsque le niveau GV < \square % Gamme Large,
- 3 soupapes de sûreté du pressuriseur pour limiter la pression du RCP, avec des seuils à \square bar (1^{ère} soupape pressuriseur), \square bar (2^{ème} soupape pressuriseur) et \square bar (3^{ème} soupape pressuriseur).

De l'évènement initiateur à l'état contrôlé, le transitoire peut être divisé en deux phases distinctes :

- la phase « court terme », caractérisée par des marges en RFTC et en puissance linéique réduites et un risque d'apparition de la crise d'ébullition ou de fusion du combustible, typiquement durant les 30 premières secondes du transitoire,
- la phase « moyen terme », jusqu'à la première action de l'opérateur, au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur par le fluide primaire doit être assurée et pour laquelle le rejet d'activité dans l'atmosphère du fluide secondaire via les trains VDA doit être évalué jusqu'à obtention de l'état contrôlé.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, les fonctions F1B suivantes (au moins) sont disponibles :

- 4 trains VDA pour le refroidissement jusqu'à la connexion au RRA ,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV ,
- 2 trains RBS pour la borication .

Dans les phases à moyen et à long termes, la prise en compte de la maintenance préventive et d'un aggravant peut conduire à la perte d'un ou de deux systèmes décrits ci-dessus.

1.2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Pour l'évolution du transitoire jusqu'à l'obtention de l'état contrôlé, les deux phases susmentionnées (court terme et moyen terme) doivent être étudiées séparément.

L'étude de la phase à court terme consiste à évaluer la valeur de RFTC et la valeur de puissance linéique en cours de transitoire. L'évolution du transitoire est simulée à l'aide de calculs dans lesquels on suppose que le transitoire de retrait des groupes de contrôle se produit à l'instant t=0s.

L'étude explicite des phases à moyen et à long termes (comportement global de l'installation) n'est pas nécessaire car ces phases sont couvertes par d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus anti-réactive)	Aucun impact
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	Cf. cas de référence (voir § 1.3.2. et § 1.3.3.)	
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr		

Tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

1.2.1. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé : Étude de la phase court terme

1) **méthode d'analyse**

Le but de cette étude est d'ajuster au mieux les temps de réponse et les valeurs des constantes de temps et des seuils des chaînes de protection « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée » pour :

- obtenir une protection efficace contre tous les taux d'insertion de réactivité,
- limiter la variation du RFTC et de la puissance linéique pendant le transitoire,
- obtenir des marges suffisantes pour les transitoires de fonctionnement.

□

□

Les perturbations radiales et axiales de la distribution de puissance lors d'un transitoire de Retrait Incontrôlé de Groupes en Puissance sont évaluées dans le dimensionnement des seuils sites RFTC et puissance linéique □ (voir sous-chapitre 4.4).

Deux analyses sont effectuées : une analyse avec la chaîne de protection « Bas RFTC » et une analyse avec la chaîne de protection « Puissance linéique élevée ».

analyse avec la chaîne de protection « Bas RFTC »

L'évolution du RFTC physique au cours du transitoire est calculée □ (voir annexe 15A).

En parallèle, un algorithme global fournit l'évolution du RFTC en ligne tel que calculé par le système de protection (voir sous-chapitre 4.4).

Ces deux calculs sont effectués avec la même distribution axiale de puissance (maintenue constante tout au long du transitoire □) et le même RFTC initial.

Un schéma simplifié de la protection « Bas RFTC » telle qu'elle est simulée dans l'algorithme global est présenté en figure [FIG-15.2.2m.1](#). Les constantes de temps de chacun des modules (avance retard et filtres) sont indiquées sur la figure.

Le RFTC en ligne est calculé à l'aide des mesures suivantes :

- la distribution de puissance nucléaire reconstruite à partir de l'instrumentation incore (collectrons),
- la pression issue des capteurs de pression primaire,
- le débit cœur dérivé des capteurs de vitesse des pompes primaires,
- la température d'entrée cœur issue des capteurs de température branche froide.

Les signaux collectrons sont traités au travers d'un module de filtrage. La constante de temps de ce module est choisie pour tenir compte du retard entre les variations de puissance nucléaire (paramètre mesuré et utilisé pour les calculs de RFTC) et les variations de flux thermique (paramètre significatif pour le RFTC physique).

Les mesures de température branche froide sont traitées au travers d'un module de filtrage et d'un module d'avance retard. Le but de ce module est de compenser le retard dû aux capteurs de température et l'avance entre les températures branche froide (utilisées dans les calculs de RFTC) et la température d'entrée cœur (paramètre significatif pour le RFTC physique).

La valeur calculée du RFTC est elle aussi traitée au travers d'un module d'avance retard, principalement pour compenser le délai total entre l'activation du seuil « Bas RFTC » et le début de la chute des grappes (AAR).

La chaîne de protection « Bas RFTC » assure la protection du cœur pour une large gamme de transitoires d'insertion de réactivité mais son temps de réponse n'est pas suffisamment court pour faire face aux transitoires très rapides. C'est la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » qui assure une protection efficace lorsque la vitesse d'insertion de réactivité est élevée.

□

analyse avec la chaîne de protection « Puissance linéique élevée »

L'évolution de la puissance linéique en ligne au cours du transitoire est calculée avec le code □ (voir annexe 15A).

Ce calcul est effectué avec une distribution axiale de puissance □ et un facteur de point chaud maintenus constants tout au long du transitoire.

Un schéma simplifié de la protection « Puissance linéique élevée » est présenté en figure [FIG-15.2.2m.2](#) (voir sous-chapitre 4.4). Les constantes de temps de chacun des modules (avance retard et filtres) sont indiquées sur la figure.

La puissance linéique en ligne est calculée à l'aide de la mesure de puissance nucléaire issue des collectrons traitée au travers d'un module de filtrage. La constante de temps de ce module est choisie pour tenir compte du retard entre les variations de puissance nucléaire et les variations de flux thermique.

La valeur calculée de puissance linéique est elle aussi traitée au travers d'un module d'avance retard, principalement pour compenser le délai total entre l'activation du seuil « Puissance linéique élevée » et le début de la chute des grappes (AAR).

La chaîne de protection « Puissance linéique élevée » assure la protection du cœur pour une large gamme de transitoires d'insertion de réactivité mais son temps de réponse n'est pas suffisamment court pour faire face aux transitoires très rapides.

C'est la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » qui assure une protection efficace lorsque la vitesse d'insertion de réactivité est élevée.

□

analyse avec la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire »

La chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » doit couvrir le domaine des insertions rapides de réactivité, domaine non couvert par les chaînes « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée ».

Il s'agit donc de démontrer que, pour les cas limites vis-à-vis de l'efficacité des chaînes de protection génériques initiés à 100%PN, la chaîne de protection spécifique provoque bien l'arrêt automatique du réacteur dans un délai tel que la variation maximale de RFTC ou de puissance linéique au cours du transitoire soit inférieure à la marge entre la valeur de la limite de fonctionnement et les critères techniques d'acceptation.

La variation maximale de RFTC au cours du transitoire limite est la suivante :

$$\Delta RFTC = \frac{RFTC_{initial} - RFTC_{min}}{RFTC_{min}}$$

La variation maximale de puissance linéique au cours du transitoire limite est la suivante :

$$\Delta(PLIN) = PLIN_{max} - PLIN_{initial}$$

Pour les cas limites vis-à-vis de l'efficacité des chaînes de protection génériques initiés à 60%PN et 10% PN (donc initiés bien au-dessus des limites de fonctionnement en RFTC et bien en dessous des limites de fonctionnement en puissance linéique), il s'agit de montrer que la chaîne de protection spécifique provoque bien l'arrêt automatique du réacteur dans un délai tel que le RFTC minimal (respectivement la puissance linéique maximale) obtenu reste supérieur (respectivement inférieure) aux critères.

□

Le choix de la distribution axiale de puissance et de la vitesse de retrait des groupes est effectué de manière à obtenir un taux d'insertion de réactivité égal à celui des cas limites vis-à-vis de l'efficacité des chaînes de protection génériques. Pour atteindre ces taux d'insertion de réactivité, il est nécessaire de considérer des distributions axiales de puissance très déséquilibrées et des vitesses de retrait supérieures à la vitesse maximale de 75 cm/min.

Le choix des distributions axiales de puissance et des vitesses de retrait des groupes met en évidence le caractère très conservatif des transitoires étudiés, qui sont néanmoins analysés dans l'objectif de démontrer l'efficacité du système de protection vis-à-vis de l'ensemble de la gamme des transitoires d'insertion de réactivité.

2) **conditions initiales**

L'analyse du transitoire est faite à pleine puissance et à des niveaux de puissance intermédiaires. Les conditions initiales sont choisies de façon à être conservatives vis-à-vis du RFTC et de la puissance linéique. Les valeurs initiales de puissance, température moyenne du modérateur, pression primaire et niveau pressuriseur sont les valeurs extrêmes compatibles avec un fonctionnement en régime permanent.

□

tableau : conditions initiales pour les transitoires à court terme

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2m.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

Pour le transitoire à 100 %PN, le $F_{\Delta H}$ est choisi de façon à ce que le RFTC initial soit égal à la valeur « étude » de la limite de fonctionnement en RFTC. Le FQ est, quant à lui, choisi de façon à ce que la puissance linéique initiale soit égale à la valeur « étude » de la limite de fonctionnement en puissance linéique.

Pour les puissances intermédiaires, une valeur initiale de découplage conservative est adoptée pour le $F_{\Delta H}$ et le FQ. Ces valeurs prennent en compte l'éventuelle insertion des grappes à l'instant initial et sont si besoin augmentées de façon à provoquer l'arrêt automatique du réacteur par « Bas RFTC » ou « Puissance linéique élevée » avant les autres arrêts automatiques du réacteur susceptibles d'intervenir. Les valeurs de FQ et de $F_{\Delta H}$ de recalage utilisées sont données dans le tableau [TAB-15.2.2m.2](#).

Pour l'analyse avec la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » :

- Vis-à-vis du calcul de la variation de RFTC, la distribution radiale est ajustée de manière à obtenir une valeur de RFTC minimale calculée \square égale au critère de 1,0.
- Vis-à-vis du calcul de la puissance linéique maximale pour les cas initiés à 100% PN, le facteur de point chaud utilisé permet d'obtenir une valeur de puissance linéique initiale maximale égale à la limite de fonctionnement de 450 W/cm.
- Vis-à-vis du calcul de la puissance linéique maximale pour les cas initiés à 60%PN et 10% PN, le facteur de point chaud (cf. [TAB-15.2.2m.2](#)) utilisé permet d'obtenir une valeur de puissance linéique initiale maximale au niveau de puissance initial considéré.

3) hypothèses relatives au cœur

- coefficients de réactivité : deux jeux de coefficients sont utilisés pour chacun des niveaux de puissance et chaque taux d'insertion de réactivité.
 - contre réactions minimales
 - Le coefficient de densité modérateur est égal à zéro.
 - Le coefficient Doppler est minimal en valeur absolue.
 - Les coefficients cinétiques sont minimaux.
 - contre réactions maximales
 - Le coefficient de densité modérateur est maximal en valeur absolue.
 - Le coefficient Doppler est maximal en valeur absolue.
 - Les coefficients cinétiques sont maximaux.
- coefficient de transfert de chaleur du combustible vers le réfrigérant : Une valeur maximale est utilisée pour maximiser la puissance thermique au cours du transitoire.
- efficacité intégrale de l'arrêt automatique du réacteur : La grappe ayant la plus grande anti-réactivité reste par hypothèse coincée au-dessus du cœur. L'insertion d'anti-réactivité suite à l'arrêt automatique du réacteur est de ce fait minimisée, ce qui permet de disposer d'une sous criticité finale minimale ; de plus, la courbe d'insertion de réactivité en fonction du temps la plus conservative est utilisée.

Les principales valeurs sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2m.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

4) taux d'insertion de réactivité

Pour vérifier que les différents arrêts automatiques du réacteur fournissent une protection adéquate dans toutes les situations, une gamme très large de taux d'insertion de réactivité \square est explorée, couvrant tous les cas de retrait incontrôlé sur tous les cycles de la gestion du combustible, à partir de différents niveaux de puissance initiaux.

5) actions de protection

Les seuils d'arrêt automatique du réacteur par « Bas RFTC », « Puissance linéique élevée » et « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire », ainsi que les temps de retard à l'arrêt automatique du réacteur sont donnés dans le tableau [TAB-15.2.2m.1](#).

Les valeurs de seuil prennent en compte les incertitudes concernant l'instrumentation et les points de consigne alors que les retards sont par hypothèse à leurs valeurs maximales.

Le temps de chute des grappes considéré pour l'arrêt automatique du réacteur ne prend pas en compte le séisme. Il est maximal \square (voir sous-chapitre 15.1).

6) **systèmes de régulation**

Pour être conservatif vis-à-vis du RFTC, le système de contrôle de la pression primaire est par hypothèse opérationnel et le débit d'aspersion du pressuriseur est pris en compte à sa valeur maximale pour limiter l'accroissement de pression dans le circuit primaire au cours du transitoire. Les transitoires prennent en compte un réglage intermédiaire des paramètres de la régulation de pression : l'impact de cette hypothèse est évalué par la réalisation d'une étude de sensibilité aux réglages optimisés de la régulation de pression primaire.

La régulation de niveau GV est prise en compte pour éviter, lors des transitoires très lents, la vidange des GV et l'AAR par bas niveau GV.

1.2.2. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Étude de la phase moyen terme

L'étude de l'évènement initiateur à l'état contrôlé n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres transitoires (voir [§ 1.3.2.](#)).

1.2.3. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr – Étude de la phase long terme

L'étude de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres transitoires (voir [§ 1.3.3.](#)).

1.3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

1.3.1. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Conclusions relatives à la phase court terme

1) **résultats de l'analyse avec la chaîne de protection « Bas RFTC »**

L'étude vis-à-vis du RFTC montre que le cœur est protégé par la chaîne « Bas RFTC » jusqu'à la vitesse de :

- \square pcm/s à 100 %PN avec les contre-réactions minimales,
- \square pcm/s à 60 %PN avec les contre-réactions minimales,
- \square pcm/s à 10 %PN avec les contre-réactions minimales.

Pour des contre-réactions maximales, le cœur est protégé pour toutes les vitesses aux trois niveaux de puissance.

Les graphiques de résultats pour les puissances initiales de 100 %PN, 60 %PN et 10 %PN sont donnés en figures [FIG-15.2.2m.3](#) à [FIG-15.2.2m.5](#).

Les résultats en termes d'évolution de puissance nucléaire, puissance thermique, pression pressuriseur, température moyenne du réfrigérant et RFTC pour la puissance de 100 %PN, les contre-réactions minimales et les vitesses \square sont donnés à titre illustratif en figures [FIG-15.2.2m.9](#) et [FIG-15.2.2m.10](#). La séquence des événements correspondant au cas le plus pénalisant de ces deux cas est détaillée au tableau [TAB-15.2.2m.3](#).

Concernant l'analyse avec la chaîne « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire », des vitesses de retrait des groupes et des valeurs de ΔI très importantes sont considérées afin de reproduire les évolutions de puissance nucléaire des cas limites déterminés précédemment. pour un niveau de puissance initiale de 100 %PN :

- L'évolution de la puissance nucléaire est recalée sur le cas limite de \square pcm/s - contre-réactions minimales obtenu lors de l'analyse avec la chaîne « Bas RFTC ». La valeur de RFTC minimal reste supérieure au critère et la variation maximale de RFTC obtenue est alors de \square %. Cette valeur est bien inférieure à la valeur \square utilisée pour déterminer le seuil de l'alarme « Bas RFTC » dans le cadre de la conception thermo-hydraulique (voir sous-chapitre 4.4). Par conséquent, à 100 %PN, la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation

du flux nucléaire » assure la protection du cœur vis-à-vis du critère en RFTC, lorsque la vitesse d'insertion de réactivité est supérieure à \square pcm/s.

pour un niveau de puissance initiale de 60 %PN :

- Pour le cas limite de \square pcm/s - contre-réactions minimales obtenu lors de l'analyse avec la chaîne « Bas RFTC », il n'existe pas de conditions réalistes en termes de vitesses de retrait des groupes et de ΔI qui permettent de reproduire l'évolution rapide de puissance nucléaire. Par conséquent, à 60 %PN, la chaîne de protection par « Bas RFTC » suffit à elle seule à assurer la protection du cœur vis-à-vis du critère en RFTC.

pour un niveau de puissance initiale de 10 %PN :

- Pour le cas limite de \square pcm/s - contre-réactions minimales obtenu lors de l'analyse avec la chaîne « Bas RFTC », il n'existe pas de conditions réalistes en termes de vitesses de retrait des groupes et de ΔI qui permettent de reproduire l'évolution rapide de puissance nucléaire. Par conséquent, à 10 %PN, la chaîne de protection par « Bas RFTC » suffit à elle seule à assurer la protection du cœur vis-à-vis du critère en RFTC.

L'évolution de la puissance nucléaire est donnée en figure [FIG-15.2.2m.12](#) pour le cas initié à 100%PN avec une hypothèse de contre réactions minimales et une insertion de réactivité égale à \square pcm/s.

\square
 \square

étude de sensibilité aux réglages optimisés de la régulation de pression primaire sur les transitoires valorisant la chaîne de protection « Bas RFTC » :

Les cas limites vis-à-vis de l'efficacité de la chaîne de protection « Bas RFTC » initiés à 100%PN, 60%PN et 10%PN, avec l'hypothèse de contre réactions minimales sont repris en considérant les réglages optimisés de la régulation de pression primaire.

Les comportements des grandeurs caractéristiques du transitoire (puissances, pression, température moyenne) et du RFTC sont similaires à ceux tracés en figure [FIG-15.2.2m.9](#).

La prise en compte de l'optimisation de la régulation de pression primaire n'a pas d'impact sur l'efficacité de la chaîne de protection « Bas RFTC » pour les vitesses d'insertion de réactivité limites à 100%PN, 60%PN et 10%PN.

2) résultats de l'analyse avec la chaîne de protection « Puissance linéique élevée »

L'étude vis-à-vis de la puissance linéique montre que le cœur est protégé par la chaîne « Puissance linéique élevée » jusqu'à la vitesse de :

- \square pcm/s à 100 %PN avec les contre-réactions minimales,
- \square pcm/s à 60 %PN avec les contre-réactions minimales,
- \square pcm/s à 10 %PN avec les contre-réactions minimales.

Pour des contre-réactions maximales, le cœur est protégé pour toutes les vitesses aux trois niveaux de puissance.

Les graphiques de résultats pour les puissances de 100 %PN, 60 %PN et 10 %PN sont donnés en figures [FIG-15.2.2m.6](#) à [FIG-15.2.2m.8](#).

Les résultats en termes d'évolution de puissance nucléaire, puissance thermique, pression pressuriseur et température moyenne du réfrigérant pour la puissance de 100 %PN, les contre-réactions minimales et la vitesse \square sont donnés à titre illustratif en figure [FIG-15.2.2m.11](#). La séquence des événements correspondante est détaillée au tableau [TAB-15.2.2m.4](#).

Concernant l'analyse avec la chaîne « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire », des vitesses de retrait des groupes et des valeurs de ΔI très importantes sont considérées afin de reproduire les évolutions de puissance nucléaire des cas limites déterminés précédemment.

pour un niveau de puissance initiale de 100 %PN :

- L'évolution de la puissance nucléaire est recalée sur le cas limite de \square pcm/s - contre-réactions minimales obtenu lors de l'analyse avec la chaîne « Puissance linéique élevée ». La puissance linéique maximale obtenue est de \square W/cm et reste inférieure au critère et la

variation absolue maximale de puissance linéique obtenue est alors de \square W/cm. Cette valeur est bien inférieure à la valeur \square correspondant à l'écart entre la limite de fonctionnement (alarme) et le critère. Par conséquent, à 100 %PN, la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » assure la protection du cœur vis-à-vis du critère en puissance linéique, lorsque la vitesse d'insertion de réactivité est supérieure à \square pcm/s.

pour un niveau de puissance initiale de 60 %PN :

- L'évolution de la puissance nucléaire est recalée sur le cas limite de \square pcm/s - contre-réactions minimales obtenu lors de l'analyse avec la chaîne « Puissance linéique élevée ». La variation absolue maximale de puissance linéique obtenue est alors de \square W/cm soit une puissance linéique maximale atteinte de \square W/cm qui reste inférieure au critère. Par conséquent, à 60 %PN, la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » assure la protection du cœur vis-à-vis du critère en puissance linéique, lorsque la vitesse d'insertion de réactivité est supérieure à \square pcm/s.

pour un niveau de puissance initiale de 10 %PN :

- L'évolution de puissance nucléaire est recalée sur le cas limite de \square pcm/s - contre-réactions minimales obtenu lors de l'analyse avec la chaîne « Puissance linéique élevée ». La variation absolue maximale de puissance linéique obtenue est alors de \square W/cm soit une puissance linéique maximale atteinte de \square W/cm qui reste inférieure au critère. Par conséquent, à 10 %PN, la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » assure la protection du cœur vis-à-vis du critère en puissance linéique, lorsque la vitesse d'insertion de réactivité est supérieure à \square pcm/s.

Les évolutions de puissance nucléaire sont données en figure [FIG-15.2.2m.13](#) pour le cas initié à 100%PN avec une hypothèse de contre réactions minimales et une insertion de réactivité égale à \square pcm/set en figure [FIG-15.2.2m.14](#) pour le cas initié à 60%PN avec une hypothèse de contre réactions minimales et une insertion de réactivité égale à \square pcm/s.

3) **conclusions**

pour une puissance initiale égale à 100 %PN :

- La chaîne de protection « Bas RFTC » assure une protection efficace du cœur jusqu'à une vitesse d'insertion de réactivité de \square pcm/s lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions minimales, et pour toute la gamme d'insertion de réactivité lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions maximales.
- La chaîne de protection « Puissance linéique élevée » assure une protection efficace du cœur jusqu'à une vitesse d'insertion de réactivité de \square pcm/s lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions minimales, et pour toute la gamme d'insertion de réactivité lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions maximales.

pour une puissance initiale égale à 60 %PN :

- La chaîne de protection « Bas RFTC » assure une protection efficace du cœur jusqu'à une vitesse d'insertion de réactivité de \square pcm/s lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions minimales, et pour toute la gamme d'insertion de réactivité lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions maximales.
- La chaîne de protection « Puissance linéique élevée » assure une protection efficace du cœur jusqu'à une vitesse d'insertion de réactivité de \square pcm/s lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions minimales, et pour toute la gamme d'insertion de réactivité lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions maximales.

pour une puissance initiale égale à 10 %PN :

- La chaîne de protection « Bas RFTC » assure une protection efficace du cœur jusqu'à une vitesse d'insertion de réactivité de \square pcm/s lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions minimales, et pour toute la gamme d'insertion de réactivité lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions maximales.

- La chaîne de protection « Puissance linéique élevée » assure une protection efficace du cœur jusqu'à une vitesse d'insertion de réactivité de \square pcm/s lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions minimales, et pour toute la gamme d'insertion de réactivité lorsque l'on prend en compte l'hypothèse de contre réactions maximales.

Au-delà des vitesses limites précédentes :

- Pour assurer la protection du cœur contre la crise d'ébullition, pour une puissance initiale égale à 100 %PN, il est nécessaire de dimensionner l'alarme de façon à assurer un écart minimal \square entre l'alarme et le critère RFTC de 1,0.
A 60 %PN et 10 %PN, il n'existe pas de conditions réalistes qui permettent de reproduire l'évolution rapide de puissance nucléaire pour de telles vitesses. Par conséquent, la chaîne de protection par « Bas RFTC » suffit à elle seule à assurer la protection du cœur vis-à-vis du critère en RFTC.
- Pour assurer la protection du cœur contre une puissance linéique élevée, pour une puissance initiale égale à 100 %PN, il est nécessaire de dimensionner l'alarme de façon à assurer un écart minimal \square entre l'alarme et le critère en puissance linéique de 590 W/cm.
La protection du cœur contre une puissance linéique élevée pour une puissance initiale égale à 60 %PN et 10 %PN est démontrée par le respect du critère en puissance linéique de 590 W/cm.

Finalement, compte tenu des valeurs des alarmes retenues, l'étude montre que le cœur est protégé vis-à-vis de la crise d'ébullition et de la puissance linéique, sur toute la gamme de vitesse d'insertion de réactivité \square .

1.3.2. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Conclusions relatives à la phase moyen terme

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des quatre critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité/intégrité des barrières » et « intégrité du RDP » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces transitoires sont enveloppés par rapport au transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.
Intégrité du RDP	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la valeur de la pression primaire maximale est supérieure.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité/intégrité des barrières » et « intégrité du RDP » pour la phase moyen terme

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.1.](#) sont donc vérifiés.

1.3.3. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr – Conclusions relatives à la phase long terme

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces transitoires sont enveloppes par rapport autransitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(Voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(Voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme

Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1.1. sont donc vérifiés.

Les actions de conduite décrites ci-dessous prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE. La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG.

Les actions de conduite sont les suivantes :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », le Diagnostic Primaire Fermé, après vérification de la non dégradation des fonctions d'état, oriente l'opérateur vers la procédure « Stabilisation en Conduite Incidentelle » pour le cas sans cumul du MDTE. Pour le cas avec cumul du MDTE, après application de la fiche EFS « perte 10kV » l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en Conduite Incidentelle » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et « N PZR < \square % » sont négatives.

Pour le cas sans MDTE, après la phase de stabilisation, l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication CI » sur le critère $CB < CB$ requise et $V_{RBS} < V_{RBS}$ requis, vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN ou N PZR > \square %, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure Borication CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'injecter le volume RBS requis. L'opérateur est ensuite orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères délai d'amorçage écoulé ou somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN ou N PZR > \square %, vers la procédure « Stabilisation CI » sur le critère $CB > CB$ requise ou $V_{RBS} > V_{RBS}$ requis, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure PER en CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB$ requise et $V_{RBS} < V_{RBS}$ requis.

Le RCP est refroidi à 50 °C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et la $CB > CB$ requise ou si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et le $V_{RBS} > V_{RBS}$ requis ou si 2 trains RBS sont en service, ou à 25 °C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bar, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas où un GV devient inutilisable avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, l'opérateur est réorienté vers la procédure PAF sans IS.

Dans la procédure PAF sans IS, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB$ requise et $V_{RBS} < V_{RBS}$ requis.

Le RCP est refroidi à 50 °C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la $CB > CB$ requise ou si $V_{RBS} > V_{RBS}$ requis, ou à 25 °C/h si 1 train RBS est en service et le $V_{RBS} < V_{RBS}$ requis.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bar, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance étudié précédemment dans le chapitre. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : à l'instant initial, à l'arrêt automatique du réacteur et au signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté, et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré pour l'arrêt automatique du réacteur.

1.4.1. Identification des causes de l'accident

Elles sont identiques à celles décrites pour le transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance (voir [§ 1.1.](#)).

1.4.2. Critères techniques d'acceptation

Les objectifs et critères à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés à la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation pour cet accident sont indiqués ci-dessous.

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10%.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de la gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section de crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10% de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.4.3. Moyens de protection

En complément des actions du système de protection du réacteur décrites pour le transitoire sans cumul du MDTE (voir [§ 1.1.](#)), les actions du système de protection du réacteur suivantes peuvent intervenir :

- « Bas débit boucle » dans 2 boucles sur 4,
- « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4.

Les caractéristiques de ces chaînes de protection sont précisées dans le sous-chapitre 15.1.

1.4.4. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Étude de la phase court terme

1) **choix de l'aggravant et impact de la maintenance préventive**

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

En cohérence avec l'étude réalisée sans cumul de MDTE (voir § 1.2.), l'aggravant unique considéré dans cette étude est le blocage de la grappe la plus anti-réactive hors du cœur lors du l'AAR.

Aucune maintenance préventive pénalisant le transitoire n'est identifiée.

2) **cas étudiés**

transitoires sollicitant la protection générique par « Bas RFTC » :

Pour les transitoires sollicitant l'arrêt automatique du réacteur par « Bas RFTC », l'étude sans cumul de MDTE (voir § 1.3.) a montré que :

- Dans les cas de contre-réactions maximales, la chaîne de protection « Bas RFTC » protège le cœur sur toute la gamme d'insertion de réactivité étudiée.
- Dans les cas de contre-réactions minimales, la chaîne de protection « Bas RFTC » assure la protection du cœur jusqu'à une vitesse limite d'insertion de réactivité qui dépend du niveau de puissance. Pour des vitesses supérieures à cette vitesse limite, la protection est assurée par la chaîne « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire ».

En conséquence, le cumul du MDTE est étudié sur les transitoires sollicitant l'arrêt automatique du réacteur par « Bas RFTC » :

- à la vitesse d'insertion de réactivité conduisant au RFTC minimal pour les cas avec des contre-réactions maximales,
- à la vitesse limite d'insertion de réactivité des niveaux de puissance étudiés pour les cas avec des contre-réactions minimales.

transitoires sollicitant la protection générique par « Puissance linéique élevée » :

Pour les transitoires sollicitant l'arrêt automatique du réacteur par « Puissance linéique élevée », l'étude sans cumul de MDTE (voir § 1.3.) a montré que :

- Dans les cas de contre-réactions maximales, la chaîne de protection « Puissance linéique élevée » protège le cœur sur toute la gamme d'insertion de réactivité étudiée.
- Dans les cas de contre-réactions minimales, la chaîne de protection « Puissance linéique élevée » assure la protection du cœur jusqu'à une vitesse limite d'insertion de réactivité qui dépend du niveau de puissance. Pour des vitesses supérieures à cette vitesse limite, la protection est assurée par la chaîne « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire ».

En conséquence, le cumul de MDTE est étudié sur les transitoires sollicitant l'arrêt automatique du réacteur par « Puissance linéique élevée » :

- à la vitesse d'insertion de réactivité conduisant à la puissance linéique maximale pour les cas avec des contre-réactions maximales,
- à la vitesse limite d'insertion de réactivité des niveaux de puissance étudiés pour les cas avec des contre-réactions minimales.

transitoires sollicitant la protection spécifique par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » :

Pour les transitoires sollicitant l'arrêt automatique du réacteur par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire », le cumul du MDTE est étudié sur les transitoires en limite d'efficacité des chaînes génériques « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée », issus de l'étude sans cumul du MDTE (voir § 1.3.).

Seuls les cas de contre-réactions minimales sont considérés puisqu'avec l'hypothèse de contre réactions maximales, les chaînes génériques « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée » assurent une protection efficace du cœur pour toute la gamme d'insertion de réactivité étudiée. La

chaîne de protection spécifique par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » n'est alors pas nécessaire à la démonstration du respect des critères de sûreté pour ces cas.

De la même manière, vis-à-vis du RFTC, seul le cas initié à 100%PN est étudié puisqu'à 60%PN et 10%PN, il n'existe pas de conditions réalistes en termes de vitesses de retrait des groupes et de ΔI qui permettent de reproduire l'évolution rapide de la puissance nucléaire des cas limites. Par conséquent, à 60%PN et à 10%PN, la chaîne de protection par « Bas RFTC » suffit à elle seule à assurer la protection du cœur et la chaîne de protection spécifique par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » n'est alors pas nécessaire à la démonstration du respect des critères de sûreté pour ces cas.

3) méthode d'analyse

□
□

4) hypothèses d'étude

Les conditions initiales ainsi que les données neutroniques et thermiques, sont identiques à celles retenues pour les transitoires étudiés sans cumul du MDTE (voir § 1.2.1.).

Par ailleurs, les insertions de réactivité retenues sont celles des transitoires équivalents étudiés sans cumul du MDTE (voir § 1.3.).

□ Il conduit alors :

- au ralentissement des 4 pompes primaires,
- à la perte de l'alimentation normale des générateurs de vapeur : le débit ARE est supposé s'annuler instantanément.

Le temps de chute des grappes considéré pour l'arrêt automatique du réacteur prend en compte le séisme. Il est maximal □ (voir sous-chapitre 15.1).

Le pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition est calculé, autour de l'instant de RFTC minimal, à partir des conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) □.

Le calcul à 100% PN est réalisé avec la courbe de fuel census spécifique présentée dans le sous-chapitre 15.1 Cette courbe est recalée par homothétie sur le facteur d'élévation d'enthalpie maximal $F\Delta H$ choisi de façon à ce que le RFTC initial soit égal à la valeur du seuil DNB_{SAL} □. □

Pour les cas étudiés à puissance réduite (60%PN et 10%PN), la courbe de fuel census spécifique est adaptée à la gamme de $F\Delta H$ rencontrée à ces niveaux de puissance. Elle est ensuite recalée par homothétie sur la valeur du $F\Delta H$ retenue dans le transitoire équivalent étudié sans cumul du MDTE (ces valeurs de $F\Delta H$ sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.2m.2](#)). Cette courbe est présentée en figure [FIG-15.2.2m.15](#).

Les températures de gaine et de pastille sont calculées à partir des données suivantes :

- Les conditions thermo-hydrauliques (température, pression, débit massique et densité) ainsi que la puissance nucléaire sont issues du transitoire réalisé avec □.
- Le facteur de point chaud FQ est constant et est présenté dans le tableau [TAB-15.2.2m.2](#). Pour les cas à 100%PN, il est ajusté de telle sorte qu'à l'instant initial, la puissance linéique soit égale à la valeur « étude » de la limite de fonctionnement en puissance linéique □. Pour les cas étudiés à puissance réduite (60%PN et 10%PN), le FQ est égal à la valeur retenue dans le transitoire équivalent étudié sans cumul du MDTE.
- L'entrée en crise d'ébullition est supposée intervenir de façon conservative soit à l'instant initial (pour les cas des contre-réactions minimales), soit à l'instant du cumul du MDTE (pour les cas des contre-réactions maximales pour lesquels il a été montré qu'en l'absence de MDTE, les chaînes génériques assurent une protection efficace du cœur pour toute la gamme d'insertion de réactivité étudiée, assurant ainsi l'absence de crise d'ébullition jusqu'à l'intervention du cumul du MDTE).
- Le coefficient de transfert thermique dans le jeu pastille/gaine est de façon conservative :
 - maximal tout au long du transitoire pour pénaliser la température du combustible □,
 - minimal à l'instant initial, puis maximal soit à □ s (pour les cas des contre-réactions minimales), soit à l'instant d'entrée en crise d'ébullition (pour le cas des contre-réactions maximales), pour pénaliser la température de gaine □.

5) résultats

transitoires sollicitant la protection générique par « Bas RFTC » :

La séquence des événements du transitoire pénalisant vis-à-vis du RFTC avec cumul du MDTE (10% PN, \square pcm/s, contre réactions minimales) est détaillée au tableau [TAB-15.2.2m.5](#). Les résultats en termes d'évolution des principaux paramètres du transitoire sont représentés en figure [FIG-15.2.2m.16](#).

Ce transitoire conduit, au maximum, à l'entrée en crise d'ébullition de \square % des crayons combustibles.

étude de sensibilité aux réglages optimisés de la régulation de pression primaire sur les transitoires valorisant la chaîne de protection « Bas RFTC » :

L'étude de sensibilité aux réglages optimisés de la régulation de pression primaire sur les transitoires avec cumul MDTE valorisant la chaîne de protection « Bas RFTC » est réalisée comme indiquée au §1.3.1a). La prise en compte de l'optimisation de la régulation de pression primaire n'a pas d'impact sur la quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition.

transitoires sollicitant la protection générique par « Puissance linéique élevée » :

La séquence des événements du transitoire pénalisant vis-à-vis de la puissance linéique avec cumul du MDTE (10% PN, \square pcm/s, contre réactions minimales) est détaillée au tableau [TAB-15.2.2m.6](#). Les résultats en termes d'évolution des principaux paramètres du transitoire sont représentés en figure [FIG-15.2.2m.17](#).

Le maximum de température atteint par la gaine au point chaud est de \square ° C. La fraction de combustible fondu atteint au point chaud est de \square %.

Les évolutions de la température à l'intérieur de la gaine sont données en figure [FIG-15.2.2m.17](#).

transitoires sollicitant la protection spécifique par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » :

Pour le cumul du MDTE sur les transitoires sollicitant l'arrêt automatique du réacteur par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire », les variations de RFTC et de puissance linéique sont présentées respectivement dans les tableaux [TAB-15.2.2m.7](#) et [TAB-15.2.2m.8](#).

La variation relative maximale de RFTC est inférieure à celle obtenue pour le transitoire équivalent étudié avec MDTE et sollicitant la protection par « Bas RFTC ». En conséquence, l'étude avec prise en compte de cette protection générique est enveloppe de celle où l'on considère la protection spécifique par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire ». Le pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition demeure donc inférieur au critère technique d'acceptation de 10%.

La variation absolue maximale de puissance linéique est inférieure à celle obtenue pour les transitoires équivalents étudiés avec MDTE et sollicitant la protection par « Puissance linéique élevée ». En conséquence, l'étude avec prise en compte de cette protection générique est enveloppe de celle où l'on considère la protection spécifique par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire ». La température maximale de la gaine et la fraction de combustible fondu au point chaud demeurent donc inférieures aux critères technique d'acceptation.

Par conséquent, les critères technique d'acceptation « pourcentage de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition < 10% », « température de la gaine < 1482° C » et « fusion du combustible au point chaud < 10% en volume » sont respectés pour le transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance avec cumul du MDTE.

1.4.5. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Étude de la phase moyen terme

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport au transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme avec cumul du MDTE

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.4.2.](#) sont donc vérifiés.

1.4.6. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr – Étude de la phase long terme

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport au transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle en puissance avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.

Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme avec cumul du MDTE

Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.4.2.](#) sont donc vérifiés.

Les actions de conduite permettant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont présentées en [§ 1.3.3.](#)

2. RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE

2.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Un retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle conduit à un apport incontrôlé de réactivité dans le cœur du réacteur et provoque une excursion de puissance. Un tel transitoire pourrait apparaître à la suite :

- d'une défaillance électrique : mauvais fonctionnement des systèmes de régulation ou de la commande des grappes au moment où il est procédé à la montée des groupes en séquence pour obtenir la criticité,
- d'une défaillance humaine : erreur de l'opérateur lors des procédures de démarrage.

Par conception, ce mauvais fonctionnement ne peut pas occasionner le retrait simultané de plusieurs groupes. En effet, le système de surveillance (RCSL) est équipé d'un verrouillage qui empêche la sélection en même temps de grappes appartenant à des groupes différents, parmi le groupe de contrôle P, le groupe d'arrêt N1 et le groupe d'arrêt N2.

Par conséquent, l'apport maximal de réactivité est celui qui résulte du retrait simultané à la vitesse maximale des mécanismes, soit de toutes les grappes de contrôle du groupe P, soit de toutes les grappes d'arrêt du groupe N1, soit de toutes les grappes d'arrêt du groupe N2. La localisation des grappes dans le cœur en fonction de leur groupe d'appartenance est décrite en figure [FIG-15.2.2m.18.](#)

Ce scénario peut varier en fonction de l'état initial :

- arrêt à chaud : Tous les groupes sont initialement totalement insérés dans le cœur. Un des trois groupes (P, N1, N2) est retiré, les deux autres groupes restant insérés dans le cœur. Les trois configurations sont étudiées (retrait de P, N1 ou N2),
- attente à chaud : Les groupes d'arrêt N1 et N2 sont initialement totalement extraits, le groupe de contrôle P est, lui, totalement² inséré, puis retiré.

2. La position initiale du groupe qui se retire adoptée pour l'étude du transitoire peut être légèrement différente pour obtenir l'efficacité maximale visée lors du retour en puissance.

- états intermédiaires entre l'arrêt à chaud et l'attente à chaud : L'insertion initiale des différents groupes, et par suite les configurations à étudier, sont dictées par la procédure de divergence.

En arrêt à chaud, la concentration en bore requise dans cet état standard de la tranche est telle qu'en cas de retrait incontrôlé de groupes, le cœur reste sous-critique.

En attente à chaud et dans les états intermédiaires entre l'arrêt à chaud et l'attente à chaud, l'apport incontrôlé de réactivité dans le cœur du réacteur dû au retrait incontrôlé de groupes peut rendre le cœur critique et entraîner une excursion de puissance. La réponse du flux neutronique à l'apport continu de réactivité se caractérise par une hausse très rapide de ce dernier, limitée par la contre réaction due au coefficient Doppler négatif. Cette limitation intrinsèque de l'excursion de puissance est importante parce qu'elle limite la puissance pendant le temps de latence avant la mise en œuvre effective des protections.

protection

Les différentes actions du système de protection du réacteur qui peuvent intervenir dans la protection du cœur pour un transitoire de ce type sont les suivantes :

- « taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » sur chaîne niveau puissance ,
- « bas temps de doublement (niveau intermédiaire) » ,
- « haut flux nucléaire (niveau intermédiaire) » .

En raison de l'augmentation rapide de la puissance lors d'un retrait incontrôlé de groupes, tous les points de consigne d'arrêt automatique sont atteints pratiquement simultanément. Dans la mesure où elle est la première à provoquer la chute effective des grappes, seule la chaîne de protection « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » sur chaîne niveau puissance est prise en compte dans les transitoires.

critères d'étude

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition, assurée par un RFTC supérieur au critère $DNBR_{design\ limit}$, soit : si le RFTC minimal intervient en aval de la première grille de mélange ; si le RFTC minimal intervient en amont de la première grille de mélange (voir sous-chapitre 4.4).
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium .
- La tenue mécanique des gaines des crayons combustibles doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la déformation diamétrale anélastique des gaines des crayons combustibles est inférieure à 1%.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.

- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état contrôlé (arrêt à chaud), les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- L'AAR est déclenché à partir d'un des 3 signaux listés précédemment.
- 4 trains VDA pour l'évacuation de la puissance cœur par le secondaire et la limitation de la pression \square ,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV lorsque le niveau GV $< \square\%$ Gamme Large,
- 3 soupapes de sûreté du pressuriseur pour limiter la pression du RCP, avec des seuils à \square bar (1^{ère} soupape pressuriseur), \square bar (2^{ème} soupape pressuriseur) et \square bar (3^{ème} soupape pressuriseur).
- De l'évènement initiateur à l'état contrôlé, le transitoire peut être divisé en deux phases distinctes :
 - la phase « court terme », caractérisée par des marges en RFTC et en température combustible réduites et un risque d'apparition de la crise d'ébullition, de fusion du combustible ou de rupture mécanique de la gaine par déformation, typiquement durant les 30 premières secondes du transitoire,
 - la phase « moyen terme », jusqu'à la première action de l'opérateur, au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur par le fluide primaire doit être assurée et pour laquelle le rejet d'activité dans l'atmosphère du fluide secondaire via les trains VDA doit être évalué jusqu'à obtention de l'état contrôlé.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, les fonctions F1B suivantes (au moins) sont disponibles :

- 4 trains VDA pour le refroidissement jusqu'à la connexion du RRA (action manuelle),
- 4 trains ASG mis en service GV par GV (action automatique ou manuelle),
- 2 trains RBS pour la borication (action manuelle).

Dans les phases à moyen et à long termes, la prise en compte de la maintenance préventive et d'un aggravant peut conduire à la perte d'un ou de deux systèmes décrits ci-dessus.

2.2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Pour l'évolution du transitoire jusqu'à l'obtention de l'état contrôlé, les deux phases susmentionnées (court terme et moyen terme) doivent être étudiées séparément.

En arrêt à chaud, la sous-criticité du cœur en cas de retrait incontrôlé de groupes est garantie par la concentration en bore qui est requise dans cet état standard de la tranche et qui est présentée dans le sous-chapitre 4.5. Cette concentration en bore est telle qu'un retrait incontrôlé de groupes survenant en arrêt à chaud ne conduit pas à un risque de passage du cœur à l'état critique. L'analyse explicite du retrait incontrôlé de groupes en arrêt à chaud n'est donc pas nécessaire.

En attente à chaud et dans les états intermédiaires entre l'arrêt à chaud et l'attente à chaud, l'étude de la phase à court terme consiste à évaluer la valeur minimale de RFTC et la valeur maximale de la température combustible atteintes en cours de transitoire. L'évolution du transitoire est simulée à l'aide de calculs \square dans lesquels on suppose que le retrait de groupes se produit à l'instant $t=0s$. En

pratique, l'étude des transitoires de retrait incontrôlé de groupes dans les états intermédiaires est couverte par l'étude des transitoires en attente à chaud [1].

En attente à chaud et dans les états intermédiaires, l'étude explicite des phases à moyen et à long termes (comportement global de l'installation) n'est pas nécessaire car ces phases sont couvertes par d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus pénalisante vis-à-vis de chacun des critères)	Aucun impact
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	Cf. cas de référence (voir § 2.3.2. et § 2.3.3.)	
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr		

tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

2.2.1. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Étude de la phase court terme (attente à chaud)

1) méthode d'analyse

[1]
[1]

2) conditions initiales

Les conditions initiales ont été sélectionnées de manière à être les plus pénalisantes vis-à-vis de l'ébullition critique en régime permanent et des températures combustible. L'impact de la plupart de ces hypothèses est essentiellement de parvenir à un niveau de puissance totale plus élevé ou à une densité de puissance locale plus importante pour l'analyse et donc de produire des températures combustible plus fortes, des températures de fluide de refroidissement plus hautes et finalement des valeurs de RFTC inférieures.

Deux groupes de conditions initiales sont définis : le premier groupe présente les conditions pénalisantes pour les calculs de RFTC et le deuxième groupe présente les conditions pénalisantes pour les calculs de température combustible, les conditions pénalisantes étant définies pour chaque transitoire.

Les principales conditions initiales considérées afin de pénaliser les transitoires [1] sont les suivantes :

- faible niveau de puissance initial,
- déséquilibre axial de puissance négatif à pleine puissance (distribution de xénon piquée en haut du cœur), [1]
- La température primaire pénalisante (minimale ou maximale) est recherchée pour chaque transitoire. [1]

- pression primaire minimale,
- débit primaire maximal,
- La sous-criticité est nulle.

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2m.9](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

3) hypothèses relatives au cœur

Le retrait incontrôlé de groupes est étudié en début, en milieu et en fin de cycle naturel. L'étude réalisée en fin de cycle naturel couvre le fonctionnement en prolongation de cycle en intégrant un domaine de température et de pression élargi et des données neutroniques enveloppes des épuisements de fin de cycle et de fin de stretch. L'analyse est effectuée pour tous les cycles de la première gestion de combustible : dans le cas de la fin de cycle, le cycle P1 est traité séparément des autres cycles du fait de ses caractéristiques particulières.

Les données neutroniques spécifiques au retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle sont l'efficacité différentielle des groupes maximale ainsi que les FQ et $F\Delta H$ à la cote correspondante.

□

Deux groupes d'hypothèses relatives au cœur sont définis : le premier groupe présente les hypothèses pénalisantes pour les calculs de RFTC et le deuxième groupe présente les hypothèses pénalisantes pour les calculs de température combustible, les hypothèses pénalisantes étant définies pour chaque transitoire.

Les principales hypothèses relatives au cœur considérées afin de pénaliser les transitoires □ sont les suivantes :

- vitesse du retrait des grappes : La vitesse maximale de 75 cm / min est prise en compte.
- efficacité du retrait des grappes : L'efficacité différentielle maximale du groupe qui se retire calculée en transitoire est ajustée sur la donnée neutronique spécifique enveloppe de tous les cycles de la gestion de combustible (sauf en fin de cycle où le cycle P1 est traité séparément) et affectée de l'incertitude de calcul, des pénalités et des provisions.
- La durée totale jusqu'à arrêt complet du réacteur est constituée des éléments suivants :
 - le temps nécessaire à l'atteinte du point de consigne d'arrêt automatique du réacteur : Ce temps est un résultat du calcul de transitoire.
 - un délai supplémentaire entre le signal d'arrêt automatique du réacteur et le début de la chute des grappes (□ s),
 - la durée de cette chute prise maximale, sans prise en compte du séisme.
- Pendant la chute, l'efficacité des grappes en fonction du temps est calculée sur la base :
 - des caractéristiques conservatives de la chute des grappes, à savoir la position des grappes en fonction du temps, telles que décrites dans le sous-chapitre 15.1 pour les grappes chutant depuis le haut du cœur,
 - d'une durée de chute conservative pour les grappes qui chutent à partir d'une position à l'intérieur (ou légèrement au-dessus) de l'amortisseur (c'est le cas des grappes appartenant au groupe qui se retire au moment où survient l'arrêt automatique),
 - de l'efficacité des grappes en fonction de leur position calculée □ sur la base de la répartition de puissance réelle □.
- Le modèle de cœur est ajusté de manière à couvrir tous les cycles de la gestion de combustible (sauf en fin de cycle où le cycle P1 est traité séparément) et toutes les incertitudes de calcul. Les principales hypothèses sont :
 - Le coefficient de transfert thermique du jeu pastille/gaine est nominal.
 - La fraction de neutrons retardés pénalisante (minimale ou maximale) est recherchée pour chaque transitoire.
 - Le coefficient de température Doppler est choisi minimal en valeur absolue.
 - Le coefficient de température modérateur est choisi minimal en valeur absolue.

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2m.9](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

4) actions de protection

Le seuil « études » (intégrant les incertitudes de mesure) de la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » sur chaîne niveau puissance est de \square %PN.

La cinétique et l'efficacité de l'AAR sont décrites précédemment.

5) vérification du critère en RFTC

La valeur minimale du RFTC est calculée de manière découplée pour l'assemblage le plus pénalisant, tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage le plus pénalisant issue du transitoire neutronique.
- Le facteur de pic d'élévation d'enthalpie considéré est celui de l'assemblage le plus pénalisant ; il est ajusté de manière à couvrir tous les cycles de la gestion de combustible (sauf en fin de cycle où le cycle P1 est traité séparément) et est affecté de l'incertitude de calcul, des pénalités et des provisions ; pour finir, il est associé à une distribution radiale de puissance cœur dite « de conception » (voir sous-chapitre 4.4).
- Le flux local est pénalisé si la pénalisation du facteur de pic d'élévation d'enthalpie précédente ne suffit pas à couvrir, en termes de facteur de point chaud FQ maximal, tous les cycles de la gestion de combustible (sauf en fin de cycle où le cycle P1 est traité séparément) en intégrant l'incertitude de calcul, les pénalités et les provisions.
- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, pression et températures primaires) sont issues du transitoire neutronique. Le niveau de puissance est pénalisé d'une valeur correspondant à la puissance maximale possible dans l'état standard d'attente à chaud (\square).
- Le débit primaire est minimal.

6) vérification du critère en température combustible

La valeur maximale de la température combustible est calculée de manière découplée pour l'assemblage chaud (assemblage portant le FQ maximal après le pic de puissance), tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance nucléaire cœur, pression et températures primaires) sont issues du transitoire neutronique. Le niveau de puissance est pénalisé d'une valeur correspondant à la puissance maximale possible dans l'état standard d'attente à chaud (\square).
- Le débit primaire est minimal.
- Le facteur de point chaud FQ considéré est celui de l'assemblage chaud, il est ajusté de manière à couvrir tous les cycles de la gestion de combustible (sauf en fin de cycle où le cycle P1 est traité séparément) et est affecté de l'incertitude de calcul, des pénalités et des provisions.
- Le coefficient de transfert thermique dans le jeu pastille/gaine est pris minimal tout au long du transitoire pour pénaliser la température du combustible \square .

7) vérification du critère en déformation de la gaine

La valeur maximale de la déformation diamétrale de la gaine est calculée \square pour les transitoires de RIGZ initiés en attente à chaud et pénalisants vis-à-vis du critère en température combustible déterminés lors de l'étude \square :

\square

[2.2.2. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Étude de la phase moyen terme \(attente à chaud\)](#)

L'étude de l'évènement initiateur à l'état contrôlé n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres transitoires (voir [§ 2.3.2.](#)).

2.2.3. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr – Étude de la phase long terme (attente à chaud)


L'étude de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres transitoires (voir [§ 2.3.3.](#)).

2.3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

2.3.1. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Conclusions relatives à la phase court terme (attente à chaud)


Le retrait incontrôlé de groupes est simulé par le retrait du groupe de contrôle P avec une vitesse maximale.

Lorsque l'apport de réactivité dépasse la valeur de la fraction de neutrons retardés, le réacteur devient prompt critique, ce qui entraîne un fort pic de puissance. L'excursion de puissance provoque une hausse de la température du combustible et c'est principalement la contre réaction Doppler qui limite ce pic de puissance instantané. En conséquence, la réactivité du cœur devient inférieure à la fraction des neutrons retardés et l'excursion de puissance due à la prompte criticité est interrompue. Le transitoire est finalement arrêté par la protection du réacteur, car, dans tous les cas, l'augmentation du flux de neutrons détectée par la chaîne niveau puissance dépasse le point de consigne d'arrêt automatique.

Les valeurs maximales (minimales) des paramètres significatifs sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.2m.10](#) .

Le comportement au cours du transitoire de la puissance du réacteur ainsi que des paramètres significatifs est tracé sur les figures [FIG-15.2.2m.19](#) à [FIG-15.2.2m.23](#). Les graphiques sont présentés uniquement pour le retrait du groupe P en attente à chaud en début de cycle (cas le plus restrictif) et pour le cas pénalisant vis-à-vis du RFTC, les autres cas ayant un comportement similaire en transitoire.

La température maximale combustible et le RFTC minimal restant respectivement au-dessous et au-dessus des valeurs limites, le risque d'endommagement du combustible ou de la gaine est écarté.

La déformation diamétrale totale de la gaine est évaluée  et respecte le critère technique d'acceptation sur la tenue mécanique de la gaine.

Finalement, il est démontré que les critères techniques d'acceptation sont bien satisfaits en cas de retrait incontrôlé de groupes survenant en attente à chaud, même avec des hypothèses très conservatives.

2.3.2. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Conclusions relatives à la phase moyen terme (attente à chaud)

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des quatre critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité/intégrité des barrières » et « intégrité du RDP » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces transitoires sont enveloppés par rapport au transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle à puissance nulle :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.
Intégrité du RDP	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la valeur de la pression primaire maximale est supérieure.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité/intégrité des barrières » et « intégrité du RDP » pour la phase moyen terme

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.1.](#) sont donc vérifiés.

2.3.3. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr – Conclusions relatives à la phase long terme (attente à chaud)

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces transitoires sont enveloppes par rapport au transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle à puissance nulle :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RR/SEC ou ISBP/RR/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme

Les critères techniques d'acceptation présentés au § 2.1. sont donc vérifiés.

Les actions de conduite décrites ci-dessous prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE. La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG.

Les actions de conduite sont les suivantes :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », le Diagnostic Primaire Fermé, après vérification de la non dégradation des fonctions d'état, oriente l'opérateur vers la procédure « Stabilisation en Conduite Incidentelle » pour le cas sans cumul du MDTE. Pour le cas avec cumul du MDTE, après application de la fiche EFS « perte 10kV » l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en Conduite Incidentelle » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et « N PZR < \square % » sont négatives.

Pour le cas sans MDTE, après la phase de stabilisation, l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication CI » sur le critère $CB < CB$ requise et $VRBS < VRBS$ requis, vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN$ ou $N PZR > \square\%$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure Borication CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'injecter le volume RBS requis. L'opérateur est ensuite orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères délai d'amorçage écoulé ou somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN$ ou $N PZR > \square\%$, vers la procédure « Stabilisation CI » sur le critère $CB > CB$ requise ou $V_{RBS} > V_{RBS}$ requis, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure PER en CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB$ requise et $VRBS < VRBS$ requis.

Le RCP est refroidi à 50 °C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et la CB > CB requise ou si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et le $V_{RBS} > V_{RBS}$ requis ou si 2 trains RBS en service, ou à 25 °C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bar, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas où un GV devient inutilisable avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, l'opérateur est réorienté vers la procédure PAF sans IS.

Dans la procédure PAF sans IS, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères CB < CB requise et $V_{RBS} < V_{RBS}$ requis.

Le RCP est refroidi à 50 °C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la CB > CB requise ou si $V_{RBS} > V_{RBS}$ requis, ou à 25 °C/h si 1 train RBS est en service et le $V_{RBS} < V_{RBS}$ requis.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bar, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

2.4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque De Tension Externe) sur le transitoire de retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle étudié précédemment dans le chapitre. Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : à l'instant initial, à l'arrêt automatique du réacteur et au signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté, et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré pour l'arrêt automatique du réacteur.

Remarque : le dimensionnement de la concentration en bore requise en arrêt à chaud garantit que le cœur reste sous-critique, y compris en cas de MDTE puisque les calculs de concentration en bore critique ne sont pas affectés par la diminution du débit primaire consécutive au MDTE. En conséquence, l'analyse explicite du retrait incontrôlé de groupes en arrêt à chaud, avec cumul du MDTE, n'est pas nécessaire.

2.4.1. Identification des causes de l'accident

Elles sont identiques à celles décrites pour le transitoire de retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle sans MDTE (voir § 2.1.).

2.4.2. Critères techniques d'acceptation

Les objectifs et critères à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés à la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation pour cet accident sont indiqués ci-dessous.

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10%.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de la gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section de crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10% de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.

Par mesure de simplification de l'étude, des critères techniques d'acceptation plus restrictifs, correspondant aux événements PCC-2, sont considérés pour la phase court terme. Il s'agit de vérifier :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible, démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un RFTC supérieur au critère $DNBR_{design\ limit}$ à débit réduit soit : \square si le RFTC minimal intervient en aval de la première grille de mélange ; \square si le RFTC minimal intervient en amont de la première grille de mélange (voir sous-chapitre 4.4).
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium \square .
- La tenue mécanique des gaines des crayons combustibles : ce critère est satisfait si la déformation diamétrale anélastique des gaines des crayons combustibles est inférieure à 1%.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

2.4.3. Moyens de protection

En complément des actions du système de protection du réacteur décrites pour le transitoire sans cumul du MDTE (voir § 2.1.), les actions du système de protection du réacteur suivantes peuvent intervenir :

- « Bas débit boucle » dans 2 boucles sur 4,
- « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4.

Les caractéristiques de ces chaînes de protection sont précisées dans le sous-chapitre 15.1.

2.4.4. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Étude de la phase court terme (attente à chaud)

1) choix de l'aggravant et impact de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

En cohérence avec l'étude de retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle réalisée sans cumul du MDTE, l'aggravant unique considéré dans cette étude est le blocage hors du cœur lors de l'AAR de la grappe la plus pénalisante vis-à-vis de chacun des critères (grappe retenue dans l'étude sans MDTE).

Aucune maintenance préventive pénalisant le transitoire n'est identifiée.

2) cas étudié

L'étude sans cumul du MDTE ayant montré que le cas de début de cycle est le cas le plus pénalisant en termes de RFTC et de température combustible, ce cas est retenu pour l'étude du cumul du MDTE.

3) **méthode d'analyse et codes de calcul**

La méthode [\[1\]](#) appliquée pour l'étude de la phase court terme avec cumul du MDTE est détaillée en [\[2\]](#). Elle est identique à celle utilisée pour l'étude de la phase court terme du retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle sans cumul du MDTE (voir [§ 2.2.1.](#)).

[\[1\]](#)

Les codes utilisés sont décrits en annexe 15A, ainsi que leur base de qualification.

4) **hypothèses d'étude**

Les conditions initiales et limites, ainsi que les données neutroniques et thermiques, sont identiques à celles retenues pour les transitoires pénalisants étudiés sans cumul du MDTE (voir [§ 2.2.1.](#)). En particulier, la température primaire est prise minimale pour pénaliser le RFTC et la température combustible.

[\[1\]](#) Il conduit alors au ralentissement des 4 pompes primaires.

Le temps de chute des grappes considéré pour l'arrêt automatique du réacteur est maximal et prend en compte le séisme.

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2m.11](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

5) **résultats**

Comme pour l'étude du transitoire sans cumul du MDTE, le retrait incontrôlé de groupes est simulé par le retrait du groupe de contrôle P avec une vitesse maximale.

Les valeurs maximales (minimales) des paramètres significatifs sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.2m.12](#).

Le comportement au cours du transitoire de la puissance du réacteur ainsi que des paramètres significatifs est tracé sur les figures [FIG-15.2.2m.24](#) à [FIG-15.2.2m.28](#). Les graphiques sont présentés uniquement pour le cas pénalisant vis-à-vis du RFTC, l'autre cas ayant un comportement similaire en transitoire.

La température maximale combustible et le RFTC minimal restant respectivement au-dessous et au-dessus des valeurs limites, le risque d'endommagement du combustible ou de la gaine est écarté.

La déformation diamétrale totale de la gaine est évaluée [\[1\]](#) et respecte le critère technique d'acceptation sur la tenue mécanique de la gaine.

Finalement, le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux transitoires PCC-2 étant assuré, il est démontré que les critères techniques d'acceptation correspondant aux accidents PCC-4 sont bien satisfaits en cas de retrait incontrôlé de groupes survenant en attente à chaud avec cumul MDTE, même avec des hypothèses très conservatives.

2.4.5. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Étude de la phase moyen terme (attente à chaud)

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport au transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle à puissance nulle avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme avec cumul du MDTE

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.4.2.](#) sont donc vérifiés.

2.4.6. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr – Étude de la phase long terme (attente à chaud)

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport au transitoire de retrait incontrôlé de groupes de contrôle à puissance nulle avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme avec cumul du MDTE

Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.4.2.](#) sont donc vérifiés.

Les actions de conduite permettant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont présentées en [§ 2.3.3.](#)



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 39/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 40/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2M.1 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PRINCIPALES
HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES**

□

**TAB-15.2.2M.2 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN
PUISSANCE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - FΔH ET FQ DE
RECALAGE**

Valeurs de FΔH utilisées pour les trois niveaux de puissance et pour la chaîne de protection « Bas RFTC »
avec et sans MDTE

□

Valeurs de FQ utilisées pour les trois niveaux de puissance et pour la chaîne de protection « Puissance linéique
élevée » avec et sans MDTE

□

**TAB-15.2.2M.3 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN
PUISSANCE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS
DU RFTC – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

Cas 100%PN, \square pcm/s, contre-réactions minimales

Instant (s)	Événements
0,00	Début de l'insertion de réactivité
3,20	Le seuil d'AAR par « Bas RFTC » est atteint par le RFTC calculé par l'algorithme (valeur après filtre passe bas et module d'avance retard)
\square	Début de chute des grappes
5,30	Minimum du RFTC \square Conditions locales à la cote de RFTCmin de 409,95 cm \square \square

**TAB-15.2.2M.4 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN
PUISSANCE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS
DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS**

Cas 100%PN, \square pcm/s, contre-réactions minimales

Instant (s)	Événements
0,00	Début de l'insertion de réactivité
6,50	Le seuil d'AAR par « Puissance linéique élevée » est atteint par la puissance linéique mesurée par les collectrons (valeur après filtre passe bas et module d'avance retard)
\square	Début de chute des grappes
8,60	Maximum de puissance linéique \square \square

**TAB-15.2.2M.5 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
- ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS**

Cas pénalisant : 10%PN, \square pcm/s, contre-réactions minimales

Instant (s)	Évènements
0,00	Début de l'insertion de réactivité
4,30	Le seuil d'AAR par « Bas RFTC » est atteint par le RFTC calculé par l'algorithme (valeur après filtre passe bas et module d'avance retard) \square
\square	Début de chute des grappes
8,65	Maximum de nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition \square \square \square

**TAB-15.2.2M.6 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
- ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE –
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

Cas pénalisant : 10%PN, □ pcm/s, contre-réactions minimales

Instant (s)	Événements
0,00	Début de l'insertion de réactivité
23,10	Le seuil d'AAR par « Puissance linéique élevée » est atteint par la puissance linéique mesurée par les collectrons (valeur après filtre passe bas et module d'avance retard) □
□	Début de chute des grappes
25,85	Maximum de puissance linéique □ □
27,06	Instant d'atteinte de la température de gaine maximale □
27,64	Instant d'atteinte du pourcentage de combustible fondu maximal □



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 46/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2M.7 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
- ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PROTECTION
SPÉCIFIQUE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 47/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2M.8 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPE EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
- ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE –
PROTECTION SPÉCIFIQUE**

□

TAB-15.2.2M.9 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – ATTENTE À CHAUD DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES

□

TAB-15.2.2M.10 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – ATTENTE À CHAUD DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RÉSULTATS

□



□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 51/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2M.11 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À
PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL MDTE – ATTENTE À
CHAUD DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - PRINCIPALES
HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 52/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2M.12 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À
PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL MDTE – ATTENTE À
CHAUD DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RÉSULTATS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 53/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.1 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE - SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE LA CHAÎNE DE PROTECTION
PAR BAS RFTC**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 54/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.2 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE - SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE LA CHAÎNE DE PROTECTION
PAR PUISSANCE LINÉIQUE ÉLEVÉE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 55/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.3 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME - RFTC PHYSIQUE MINIMAL EN FONCTION
DE LA VITESSE D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 100%PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 56/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.4 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE : DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ
- ÉTUDE COURT TERME - RFTC PHYSIQUE MINIMAL EN
FONCTION DE LA VITESSE D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 60%PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 57/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.5 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME - RFTC PHYSIQUE MINIMAL EN FONCTION
DE LA VITESSE D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 10%PN**

□

**FIG-15.2.2M.6 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME - DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - PUISSANCE LINÉIQUE
MAXIMALE EN FONCTION DE LA VITESSE D'INSERTION DE
RÉACTIVITÉ À 100%PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 59/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.7 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE LINÉIQUE MAXIMALE EN
FONCTION DE LA VITESSE D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 60%PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 60/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.8 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE LINÉIQUE MAXIMALE EN
FONCTION DE LA VITESSE D'INSERTION DE RÉACTIVITÉ À 10%PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 61/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.9 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC CAS 100%PN
– □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 62/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 63/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 64/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

Nota : □



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 65/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.10 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC CAS 100%PN
– □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 66/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 67/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 68/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

Nota : □



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 69/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.11 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE
LINÉIQUE - CAS 100%PN – □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS
MINIMALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 70/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 71/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 72/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.M.12 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ
- ÉTUDE COURT TERME - ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC - CAS
100%PN - □ PCM/S - CONTRE RÉACTIONS MINIMALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 73/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.13 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME – ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE
LINÉIQUE – CAS 100%PN – □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS
MINIMALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 74/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2M.14 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN PUISSANCE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – CAS 60%PN – □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS MINIMALES

□

**FIG-15.2.2M.15 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR
À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – ANALYSE VIS-À-
VIS DU RFTC – COURBE DE FUEL CENSUS SPÉCIFIQUE POUR LES
CAS À PUISSANCE RÉDUITE (60%PN ET 10%PN)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 76/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.16 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR
À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS
DU RFTC CAS 10%PN – □ PCM/S – CONTRE RÉACTIONS
MINIMALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 77/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 78/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 79/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2M.17 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR
À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS
DE LA PUISSANCE LINÉIQUE CAS 10%PN – □ PCM/S – CONTRE
RÉACTIONS MINIMALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 80/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 81/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 82/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2M

PAGE 83/93

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2M.18 SCHÉMA DES [] GRAPPES DE CONTRÔLE ET D'ARRÊT

[]

[]

**FIG-15.2.2M.19 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT
EN RFTC – RÉACTIVITÉ**

□

**FIG-15.2.2M.20 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT
EN RFTC – NIVEAUX DE PUISSANCE NUCLÉAIRE ET THERMIQUE**

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.2M
			CHAPITRE	15	PAGE	86/93

FIG-15.2.2M.21 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – NIVEAUX DE PUISSANCE NUCLÉAIRE ET THERMIQUE (ZOOM)

□

**FIG-15.2.2M.22 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT
EN RFTC – TEMPÉRATURE AU CENTRE DU COMBUSTIBLE**

□

**FIG-15.2.2M.23 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT
EN RFTC – RFTC**

□

FIG-15.2.2M.24 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – DÉBIT CŒUR

□

FIG-15.2.2M.25 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – NIVEAUX DE PUISSANCE NUCLÉAIRE ET THERMIQUE

□

FIG-15.2.2M.26 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – NIVEAUX DE PUISSANCE NUCLÉAIRE ET THERMIQUE (ZOOM)

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.2M
			CHAPITRE	15	PAGE	92/93

FIG-15.2.2M.27 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – TEMPÉRATURE AU CENTRE DU COMBUSTIBLE

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.2M
			CHAPITRE	15	PAGE	93/93

FIG-15.2.2M.28 RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES À PUISSANCE NULLE AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS DU TRANSITOIRE PÉNALISANT EN RFTC – RFTC

□

SOMMAIRE

.15.2.2P MAUVAIS POSITIONNEMENT ET CHUTE DE GRAPPE(S), SANS LIMITATION	6
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	6
2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	8
2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	9
2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	12
2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	12
2.3.1. TRANSITOIRE CONDUISANT À UN AAR LORS DE LA PHASE COURT TERME	12
2.3.2. TRANSITOIRE NE CONDUISANT PAS À UN AAR LORS DE LA PHASE COURT TERME	12
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	14
3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	14
3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	14
3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME	15
3.3.1. TRANSITOIRE CONDUISANT À UN AAR LORS DE LA PHASE COURT TERME	15
3.3.2. TRANSITOIRE NE CONDUISANT PAS À UN AAR LORS DE LA PHASE COURT TERME	17
4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	17
4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'ACCIDENT	17
4.2. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION	17
4.3. MOYENS DE PROTECTION	18
4.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	18



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 2/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

4.5. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	20
4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	21

TABLEAUX :

TAB-15.2.2P.1 CHUTE DE GRAPPE(S) PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES	22
TAB-15.2.2P.2 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC	25
TAB-15.2.2P.3 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE.....	26
TAB-15.2.2P.4 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC.....	27
TAB-15.2.2P.5 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE	28

FIGURES :

FIG-15.2.2P.1 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DONNÉES NEUTRONIQUES SPÉCIFIQUES	29
FIG-15.2.2P.2 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PUISSANCE CŒUR.....	30
FIG-15.2.2P.3 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – TEMPÉRATURE PRIMAIRE	31
FIG-15.2.2P.4 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PRESSION PRESSURISEUR	32

FIG-15.2.2P.5 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – RFTC	33
FIG-15.2.2P.6 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PUISSANCE CŒUR.....	34
FIG-15.2.2P.7 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – TEMPÉRATURE PRIMAIRE	35
FIG-15.2.2P.8 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PRESSION PRESSURISEUR.....	36
FIG-15.2.2P.9 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PUISSANCE LINÉIQUE.....	37
FIG-15.2.2P.10 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PUISSANCE CŒUR.....	38
FIG-15.2.2P.11 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – TEMPÉRATURE PRIMAIRE	39
FIG-15.2.2P.12 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PRESSION PRESSURISEUR.....	40
FIG-15.2.2P.13 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PUISSANCE CŒUR.....	41
FIG-15.2.2P.14 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – TEMPÉRATURE PRIMAIRE	42

FIG–15.2.2P.15 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PRESSION PRESSURISEUR	43
FIG–15.2.2P.16 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE TEMPÉRATURE À L'INTÉRIEUR DE LA GAINÉ	44
FIG–15.2.2P.17 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE TEMPÉRATURE AU CENTRE DU COMBUSTIBLE	45

.15.2.2P MAUVAIS POSITIONNEMENT ET CHUTE DE GRAPPE (S), SANS LIMITATION

Cet évènement est analysé seulement avec le réacteur en puissance (état A).

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DUTRANSITOIRE

Le contrôle de la réactivité du cœur est assuré par l'utilisation de grappes de commande réparties radialement dans le cœur. La localisation des 89 grappes de commande de l'EPR est présentée dans la figure 4.3 FIG 23.

La chute d'une ou de plusieurs grappes de commande peut être occasionnée soit par une défaillance dans le mécanisme de commande, soit par une défaillance de l'alimentation électrique des bobines de levée des grappes de commande. Une unique défaillance mécanique peut suffire à provoquer la chute d'une grappe, et une unique défaillance électrique peut suffire à provoquer la chute d'une grappe ou d'un sous-groupe (soit 4 grappes). La chute de deux ou trois grappes d'un même sous-groupe peut être occasionnée par l'accumulation de plusieurs défaillances mécaniques et/ou électriques.

La chute de grappe(s) de commande provoque une diminution rapide de la puissance du cœur et de la puissance mesurée par les chambres excore.

Lorsque la chute de grappe(s) est détectée, la fonction de limitation « chute de grappe » procède au verrouillage de l'extraction des grappes de contrôle et diminue la consigne de la charge turbine. L'intervention de la limitation permet, malgré la perturbation de la distribution de puissance, de conserver une marge importante par rapport aux critères de sûreté, garantissant ainsi l'intégrité de la pastille combustible et de sa gaine. Conformément aux règles d'études des conditions de fonctionnement de référence (PCC), la limitation « chute de grappe » (classée F2) est supposée inopérante (voir section 15.0.2).

La fonction de limitation n'étant pas valorisée dans la présente étude, le déséquilibre entre la chaleur extraite par les générateurs de vapeur et la puissance dégagée dans le primaire augmente. Il en résulte une diminution de la température et de la pression du réfrigérant. Par ailleurs, si les grappes chutent en regard des chambres excore, la diminution de puissance mesurée par ces dernières est surestimée par rapport à la diminution de puissance réelle. Si le système de régulation de la température moyenne est en mode automatique, il opère une extraction des grappes de contrôle à vitesse maximale \square . La puissance du cœur augmente et peut même momentanément dépasser son niveau initial. Cette hausse de puissance associée à une distribution de puissance perturbée, occasionnée à la fois par la chute des grappes et par le retrait des groupes de contrôle, pourrait conduire à endommager le combustible (crise d'ébullition ou fusion du combustible).

Protection

Les différentes actions du système de protection du réacteur qui peuvent intervenir dans la protection du cœur sont les suivantes :

- AAR sur bas rapport de flux thermique critique (bas RFTC),
- AAR sur puissance linéique élevée,
- AAR sur puissance thermique élevée,
- AAR sur basse pression pressuriseur.

En cas de non sollicitation des protections

Letransitoire occasionné par la chute de grappe(s) ne sollicite pas nécessairement un AAR. Dans ce cas, le transitoire se déroule de la manière suivante.

Suite à la chute de grappe(s), le système de régulation de la température moyenne opère, dans un premier temps, l'extraction des grappes de contrôle, ce qui entraîne une augmentation de la puissance qui peut devenir plus importante que la puissance initiale. Dans ce cas, la régulation de température moyenne conduira, dans un second temps, à une insertion des groupes pour revenir à sa consigne et donc revenir à la puissance initiale avant le transitoire.

Après quelques instants, la puissance cœur et la température primaire se retrouvent donc dans les conditions initiales du transitoire. Si aucune action ne se produit, il peut alors s'ensuivre, à long terme, une déformation radiale de puissance provoquée par une oscillation radiale ou azimutale du xénon due à la chute de grappe(s).

Cependant, l'opérateur, informé du dysfonctionnement du réacteur, intervient afin de ramener la tranche à l'état contrôlé puis à l'état d'arrêt sûr.

Critères d'études

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont présentés ci-dessous.

Il faut démontrer que l'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr peuvent être atteints, respectivement avec les fonctions automatiques F1A et les fonctions F1B, en respectant les critères techniques d'acceptation suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère en RFTC supérieur à 1,0.
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \bar{m} permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état contrôlé (arrêt à chaud), les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- l'AAR, déclenché à partir d'une des chaînes suivantes : « Bas RFTC », « Puissance linéique élevée », « Puissance thermique élevée » ou « Basse pression pressuriseur »,

- 4 trains VDA pour l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation de la pression secondaire [],
- 4 trains ASG mis en service GV par GV lorsque le niveau GV < []% Gamme Large,
- 3 soupapes de sûreté du pressuriseur pour limiter la pression du RCP, avec des seuils à [] bar (1^{ère} soupape pressuriseur), [] bar (2^{ème} soupape pressuriseur) et [] bar (3^{ème} soupape pressuriseur).

De l'évènement initiateur à l'état contrôlé, le transitoire peut être divisé en deux phases distinctes :

- la phase « court terme », caractérisée par des marges en RFTC et en puissance linéique réduites et un risque d'apparition de la crise d'ébullition ou de fusion du combustible, typiquement durant les 30 premières secondes du transitoire,
- la phase « moyen terme », au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur par le fluide primaire doit être assurée et pour laquelle le rejet d'activité dans l'atmosphère du fluide secondaire via les trains VDA doit être évalué jusqu'à obtention de l'état contrôlé.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, les fonctions F1B suivantes (au moins) sont disponibles :

- 4 trains VDA pour le refroidissement jusqu'à la connexion au RRA [],
- 4 trains ASG mis en service GV par GV [],
- 2 trains RBS pour la borication [].

Dans les phases à moyen et à long termes, la prise en compte de la maintenance préventive et d'un aggravant peut conduire à la perte d'un ou de deux systèmes décrits ci-dessus.

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Pour l'évolution du transitoire jusqu'à l'obtention de l'état contrôlé, les deux phases susmentionnées (court terme et moyen terme) doivent être étudiées séparément.

L'étude de la phase à court terme consiste à démontrer que le RFTC minimal et la puissance linéique maximale atteints lors d'une chute de grappe (s) respectent les critères techniques d'acceptation associés.

L'étude des phases à moyen et long termes diffère selon que le transitoire conduit ou non à un AAR lors de la phase court terme :

- Transitoire conduisant à un AAR lors de la phase court terme :
L'étude explicite des phases à moyen et à long termes (comportement global de l'installation) n'est pas nécessaire car ces phases sont couvertes par d'autres événements (appelés « cas de référence »).
- Transitoire ne conduisant pas à un AAR lors de la phase court terme :
L'étude consiste alors à démontrer que l'opérateur est informé d'un dysfonctionnement de la tranche et qu'il intervient pour amener la tranche à l'état contrôlé puis à l'état d'arrêt sûr.

Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus anti-réactive)	Aucun impact
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	Cf. cas de référence (voir § 3.2. et § 3.3.)	
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr		

Tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

1) Méthode d'analyse

L'analyse de la phase court terme se base sur la démarche suivante :

- détermination des caractéristiques neutroniques (antiréactivité et tilt de régulation associé) des chutes d'une à quatre grappes d'un même sous-groupe: Cette analyse neutronique est réalisée [] et permet de construire une courbe enveloppe pénalisante de l'antiréactivité en fonction du tilt de régulation, sur l'ensemble des chutes de grappe(s). Les caractéristiques neutroniques et le dimensionnement de l'enveloppe sont présentés en détail en paragraphe 2.1.4.
- simulation du transitoire : []. Une étude paramétrique basée sur l'analyse de nombreux transitoires est réalisée, permettant de parcourir l'ensemble de l'enveloppe de tilt de régulation en fonction de l'antiréactivité insérée par la chute de grappe(s) dimensionnée lors de l'étape précédente ;
- vérification des marges aux critères en RFTC et en puissance linéique pour chacun des transitoires réalisés: Cette dernière étape permet de définir le couple (antiréactivité, tilt de régulation) pénalisant pour chacun des critères.

La représentativité de la réponse du système de protection en présence de perturbations radiales et axiales de la distribution de puissance lors du transitoire est évaluée dans le dimensionnement des seuils « site » des chaînes « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée » via les calculs de Tracking Error (voir sous-chapitre 4.4). En particulier, les variations des facteurs de point chaud (FQ et FΔH) consécutifs à la chute de grappe(s) sont prises en compte dans les calculs de Tracking Error, et il n'est donc pas nécessaire de les considérer dans la présente étude.

Analyse du respect du critère en RFTC

La démonstration du respect du critère technique d'acceptation en RFTC est réalisée sans valoriser la chaîne de protection par « Puissance linéique élevée ».

L'évolution du RFTC physique au cours du transitoire est calculée []. En parallèle, un algorithme global fournit l'évolution du RFTC en ligne tel que calculé par le système de protection (voir sous-chapitre 4.4) ; une description de l'algorithme de calcul du RFTC en ligne est fournie dans la figure 15.2.2m FIG 1. Ces deux calculs sont effectués avec la même distribution axiale de puissance (maintenue constante tout au long du transitoire) et le même RFTC initial.

Analyse du respect du critère en puissance linéique

La démonstration du respect du critère technique d'acceptation en puissance linéique est réalisée sans valoriser la chaîne de protection par « Bas RFTC ».

L'évolution de la puissance linéique au cours du transitoire est calculée [] avec une distribution axiale de puissance et un facteur de point chaud maintenus constants tout au long du transitoire.

[]

2) Données neutroniques et thermiques

Les contre-réactions minimales sont considérées afin de pénaliser le transitoire cinétique. Ainsi, les coefficients de densité modérateur, Doppler puissance et Doppler température sont pris à leur valeur minimale en valeur absolue (voir sous-chapitre 4.3).

Les caractéristiques neutroniques (antiréactivité et tilt de régulation associé) de la chute de grappe(s) sont quant à elles présentées au paragraphe 2.1.4.

Pour maximiser la puissance thermique au cours du transitoire, l'efficacité différentielle des groupes de contrôle est prise à sa valeur maximale β :

β

Par ailleurs, la valeur maximale du coefficient de transfert de chaleur du combustible vers le réfrigérant est retenue tout au long du transitoire.

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2p.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

3) Conditions initiales et limites

Les conditions initiales sont sélectionnées afin d'être les plus pénalisantes vis-à-vis des risques d'entrée en crise d'ébullition et de fusion du combustible. Les valeurs initiales de puissance, température moyenne du modérateur et pression primaire sont les valeurs extrêmes compatibles avec un fonctionnement en régime permanent :

β

Le débit retenu est le débit thermohydraulique β .

Pour l'analyse vis-à-vis du RFTC, la valeur de $F\Delta H$ est constante et est choisie de façon à ce que le RFTC initial soit égal à la valeur « étude » de la limite de fonctionnement en RFTC. La valeur étude de la limite de fonctionnement en RFTC correspond à la valeur étude du seuil DNB_{LCO} , β .

- Le recalage du RFTC initial calculé par l'algorithme β est assuré par une valeur de $F\Delta H$ β .
- Le recalage du RFTC initial physique β est assuré par une valeur de $F\Delta H$ β .

La distribution axiale de puissance correspond à un cosinus β .

Pour l'analyse vis-à-vis de la puissance linéique, le facteur de point chaud FQ est constant β . Il est choisi de façon à ce que la puissance linéique initiale soit égale à la valeur « étude » de la limite de fonctionnement en puissance linéique. La valeur étude de la limite de fonctionnement en puissance linéique correspond à la valeur étude du seuil $HLPD_{LCO}$ β .

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.2p.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

4) Caractéristiques de la chute de grappe(s)

Les caractéristiques neutroniques de la chute de grappe(s) sont les suivantes :

- antiréactivité apportée par la chute de grappe(s) :
Une forte antiréactivité apportée par la chute de grappe(s) a un effet à la fois pénalisant sur le transitoire (elle accentue le déséquilibre entre la chaleur extraite au secondaire et la puissance produite au primaire) et favorable (une forte insertion d'antiréactivité provoque une baisse de puissance et de température conséquente en début de transitoire, et donc un gain de marge). Du fait de ces effets antagonistes, pouvant être exacerbés par le tilt de régulation considéré, l'antiréactivité pénalisante n'est pas nécessairement l'antiréactivité maximale pouvant être apportée par la chute de grappe(s). Afin de déterminer la valeur d'antiréactivité pénalisante pour chacun des critères, une analyse paramétrique est effectuée, consistant à réaliser les transitoires sur toute la plage d'antiréactivité définie par les chutes de grappe(s).
- tilt de régulation :
La régulation de température primaire par les grappes est pilotée par la combinaison d'un signal de déviation en température (écart par rapport à la consigne de température) et d'un signal de déviation en puissance (écart par rapport aux variations de charge turbine). Le signal de déviation en puissance est élaboré à partir de la seconde plus grande mesure de puissance neutronique fournie par les chambres excore. Une chute de grappes à proximité des chambres excore entraîne une diminution de la puissance vue par les chambres excore plus importante que la baisse de puissance réelle, ce qui conduit à une demande de retrait des groupes par la régulation excessif par rapport à la baisse de puissance réelle.

La prise en compte de ces effets de redistribution de puissance sur la mesure des chambres excore suite à la chute des grappes est caractérisée dans l'étude par le facteur appelé « tilt de régulation » [] :

Lorsque le tilt de régulation est inférieur à 1, la puissance mesurée par les chambres excore est sous-estimée par rapport à la puissance réelle. Dans ce cas, le système de régulation procède à une demande de retrait excessif des groupes. Les faibles valeurs de tilt de régulation sont donc pénalisantes, puisqu'elles conduisent à maximiser l'excursion de puissance.

Les caractéristiques neutroniques de la chute de grappe(s) sont évaluées pour tous les cas de chute d'une à quatre grappes d'un même sous-groupe, pour tous les cycles de la première gestion et différents épuisements (DVX, MDV, FDV), à partir des calculs effectués pour la détermination de la Tracking Error (voir sous-chapitre 4.4).

Ceci permet de définir une plage enveloppe des antiréactivités pouvant être apportées par la chute de grappe (s), utilisée pour l'analyse paramétrique des transitoires. Pour une valeur d'antiréactivité donnée, un tilt de régulation minimal (inférieur à 1) maximise la sous-estimation de la puissance mesurée par les chambres excors par rapport à la puissance réelle, et par suite maximise l'extraction des groupes par la régulation de température. Par conséquent, l'analyse paramétrique consiste à parcourir l'enveloppe basse de tilt de régulation en fonction de l'antiréactivité insérée, présentée en [FIG-15.2.2p.1](#).

Des facteurs d'incertitudes, pénalités et provisions sont appliqués sur cette courbe enveloppe :

- L'antiréactivité insérée est minorée d'une pénalisation globale [] :

[]

- Le tilt de régulation est minoré d'une pénalisation globale [] :

[]

Le couple (antiréactivité, tilt de régulation) pénalisant pour chacun des critères est déterminé en balayant l'ensemble de la courbe enveloppe ainsi définie. Le couple pénalisant vis-à-vis du RFTC et le couple pénalisant vis-à-vis de la puissance linéique sont représentés en figure [FIG-15.2.2p.1](#). [] :

[]

Afin de maximiser l'extraction des groupes de contrôle, le temps de chute des grappes est pris minimal. Cette donnée d'entrée a évolué au cours de l'étude [] : pour les cas analysés vis-à-vis du RFTC, un temps de chute des grappes minimal [] est donc considéré. Néanmoins, sur les cas analysés vis-à-vis de la Plin, la valeur initiale de temps de chute [] a été conservée. Ceci est sans impact sur les résultats de l'étude : en effet, cette valeur conduit déjà à une extraction à vitesse maximale des groupes.

Une réduction du temps de chute de grappe [] a donc un impact négligeable sur le transitoire et les résultats de l'étude. Cette absence d'impact sur la Plin maximale atteinte a été vérifiée explicitement par un calcul de sensibilité.

5) Hypothèses relatives aux systèmes

Système de protection

[]

Le temps de chute des grappes considéré pour l'arrêt automatique du réacteur ne prend pas en compte le séisme. []

L'efficacité intégrale de l'arrêt automatique du réacteur prend en compte le blocage au-dessus du cœur de la grappe la plus anti-réactive. L'insertion d'antiréactivité suite à l'arrêt automatique du réacteur est de ce fait minimisée. Par ailleurs, la courbe d'insertion de réactivité en fonction du temps de chute totale la plus conservatrice est utilisée. Par cohérence avec le temps de chute des grappes, cette courbe ne prend pas en compte le séisme (voir sous-chapitre 15.1).

Systèmes de régulation

Pour être conservatif vis-à-vis des risques de crise d'ébullition et de fusion du combustible :

- Le système de contrôle de la température primaire est en mode automatique. En effet, en mode automatique, la baisse de puissance et de température provoquée par la chute de grappe(s) conduit à une extraction rapide des groupes de contrôle, et donc à une insertion rapide de réactivité dans le cœur.
Les groupes de contrôle sont initialement insérés à leurs insertions limites, afin de permettre leur retrait maximal par la régulation de température.
- Le système de contrôle de la pression primaire¹ est par hypothèse opérationnel, et le débit d'aspersion du pressuriseur est pris à sa valeur maximale pour limiter l'accroissement de pression dans le circuit primaire au cours du transitoire.

2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

L'étude de l'événement initiateur à l'état contrôlé n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres événements (voir [§ 3.2.](#)).

2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

2.3.1. Transitoire conduisant à un AAR lors de la phase court terme

L'étude de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres événements (voir [§ 3.3.](#)).

2.3.2. Transitoire ne conduisant pas à un AAR lors de la phase court terme

L'étude de la phase à long terme consiste à démontrer que l'opérateur est informé d'un dysfonctionnement de la tranche et qu'il intervient pour amener la tranche à l'état contrôlé puis à l'état d'arrêt sûr. Pour cela, l'opérateur dispose d'un grand nombre de moyens d'information (alarmes, signaux, indications) en salle de commande, listés ci-après.

2.3.2.1. Les moyens d'information

L'ensemble des moyens d'information dont dispose l'opérateur sont les suivants.

2.3.2.1.1. Les alarmes

Les alarmes potentiellement activées lors d'un transitoire de chute de grappe(s) sont :

- alarme Détection chute de grappe ,
- alarme T moy min S2 ,
- alarme T moy max S2 ,
- alarme Déviation T°/flux ,
- alarme Déviation AO ,
- alarme Désalignement grappe/groupe .

2.3.2.1.2. Les limitations

Sans tenir compte de la fonction de limitation, les alarmes limitation potentiellement activées lors d'un transitoire de chute de grappe(s) sont :

- alarme Limitation Chute de grappe ,
- alarme Limitation Bas RFTC .

1. Les transitoires prennent en compte un réglage intermédiaire des paramètres de la régulation de pression. Une étude de sensibilité aux réglages optimisés de la régulation de pression a été réalisée, qui conclut à un impact négligeable sur le transitoire et les marges aux critères.

- alarme Limitation Plin élevée [],
- alarme Limitation Déséquilibre puissance primaire/ secondaire [].

2.3.2.1.3. Les LCO

Les alarmes LCO potentiellement activées lors d'un transitoire de chute de grappe(s) sont :

- alarme LCO Bas RFTC [],
- alarme LCO Plin élevée [],
- alarme LCO Puissance thermique élevée [],
- alarme LCO AO>limite droite [],
- alarme LCO AO<limite gauche [],
- alarme LCO Insertion Limite [],
- alarme LCO Déséquilibre azimutal de puissance [],
- alarme LCO Désalignement de grappes [],
- alarme LCO Contrôle de la température Primaire [],
- alarme LCO Pression Primaire [].

2.3.2.1.4. Les indications en salle de commande

Outre les différentes alarmes décrites ci-dessus, les informations suivantes seront données en salle de commande :

- position analogique des 89 grappes,
- position numérique des 89 grappes,
- signal « RCCA Not in bank »,
- alarme DAD (Déviation Analogique Numérique),
- distance entre les groupes et les IL,
- position des groupes,
- signal de blocage d'extraction de grappe,
- signal détection chute de grappe (signaux bas RFTC),
- signal d'insertion du groupe H,
- signal de baisse de charge turbine,
- variation puissance cœur (analogique),
- valeur de puissance nucléaire,
- valeur du Déséquilibre azimutal de puissance,
- marge en Puissance linéique,
- marge en RFTC,
- seuil LCO,
- valeur de l'AO,
- signal de prévention contre la dilution,
- signal d'injection de bore.

2.3.2.2. L'intervention

L'opérateur, une fois informé d'un dysfonctionnement de la tranche, appliquera les fiches d'alarmes correspondantes et le cas échéant, appliquera les STE.

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME

L'étude de la phase court terme montre que :

- La chaîne de protection par « Bas RFTC » assure une protection efficace du cœur vis-à-vis du risque de crise d'ébullition, puisque le RFTC minimal atteint au cours du transitoire \square reste supérieur au critère technique d'acceptation de 1,0. La séquence des événements du transitoire pénalisant vis-à-vis du RFTC se trouve dans le tableau [TAB-15.2.2p.2](#). Les principaux paramètres du transitoire sont représentés sur les figures [FIG-15.2.2p.2](#) à [FIG-15.2.2p.5](#) ;
- La chaîne de protection par « Puissance linéique élevée » assure une protection efficace du cœur vis-à-vis du risque de fusion du combustible, puisque la puissance linéique maximale atteinte au cours du transitoire \square reste inférieure au critère technique d'acceptation de 590 W/cm. La séquence des événements du transitoire pénalisant vis-à-vis de la puissance linéique se trouve dans le tableau [TAB-15.2.2p.3](#). Les principaux paramètres du transitoire sont représentés sur les figures [FIG-15.2.2p.6](#) à [FIG-15.2.2p.9](#).

Puisque les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de la crise d'ébullition et de la fusion du combustible sont respectés, le risque d'endommagement du combustible et de la gaine est écarté.

3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des quatre critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité/intégrité des barrières » et « intégrité du RDP » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport autransitoire de chute de grappe(s) :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.

Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.
Intégrité du RDP	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la valeur de la pression primaire maximale est supérieure.

Tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité/intégrité des barrières » et « intégrité du RDP » pour la phase moyen terme

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1. sont donc vérifiés.

3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME

3.3.1. Transitoire conduisant à un AAR lors de la phase court terme

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RR1/SEC ou ISBP/RR1/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport autransitoire de chute de grappe(s) :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RR/SEC ou ISBP/RR/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme

Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1. sont donc vérifiés.

Les actions de conduite décrites ci-dessous prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE. La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG.

Les actions de conduite sont les suivantes :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », le Diagnostic Primaire Fermé, après vérification de la non dégradation des fonctions d'état, oriente l'opérateur vers la procédure « Stabilisation en Conduite Incidentelle » pour le cas sans cumul du MDTE. Pour le cas avec cumul du MDTE, après application de la fiche EFS « perte 10 kV », l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en Conduite Incidentelle » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et « N PZR < 0% » sont négatives.

Pour le cas sans MDTE, après la phase de stabilisation, l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication CI » sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$, vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN$ ou $N PZR > 0\%$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable 0.

Dans la procédure Borication CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'injecter le volume RBS requis. L'opérateur est ensuite orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères délai d'amorçage écoulé ou somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN$ ou $N PZR > 0\%$, vers la procédure « Stabilisation CI » sur le critère $CB > CB_{requis}$ ou $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable 0.

Dans la procédure PER en CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50°C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et $CB > CB_{requis}$ ou si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et le $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$ ou si 2 trains RBS sont en service, ou à 25°C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service.

Le RCP est dépressurisé. Sous les 0 bars, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas où un GV devient inutilisable avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, l'opérateur est réorienté vers la procédure PAF sans IS.

Dans la procédure PAF sans IS, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si $CB > CB_{requis}$ ou si $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$ requis, ou à 25°C/h si 1 train RBS est en service et le $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est dépressurisé. Sous les 0 bar, les accumulateurs RIS sont isolés.





Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

3.3.2. Transitoire ne conduisant pas à un AAR lors de la phase court terme

Suite à la chute de grappe (s), la régulation de température provoque, dans un premier temps, l'extraction des grappes de contrôle, ce qui entraîne une augmentation de la puissance. Cette puissance peut devenir plus importante que la puissance initiale. Dans ce cas, la régulation de température primaire conduira, dans un second temps, à une insertion des groupes pour revenir à la température de référence et donc revenir à la puissance initiale avant le transitoire.

Après quelques instants, la puissance cœur et la température primaire se retrouvent donc dans les conditions initiales du transitoire.

Si, lors de cette phase à court terme, aucune alarme n'est déclenchée, cela signifie que les conditions du cœur sont restées dans les limites du domaine de fonctionnement normal. Dans ce cas, une oscillation xénon ne peut engendrer de risque vis-à-vis des critères de sûreté, étant donné que le cœur est stable vis-à-vis de ce phénomène.

Un risque vis-à-vis des critères de sûreté ne peut donc apparaître que si les limites du domaine de fonctionnement normal sont dépassées lors de la phase à court terme. Dans ce cas, l'opérateur est informé d'un dysfonctionnement de la tranche dès les premiers instants du transitoire compte tenu des moyens d'information dont il dispose qui sont listés au [§ 2.3.2](#). Les conditions initiales pouvant être très différentes suivant les cas, il n'est pas possible de préciser quelles alarmes seront précisément activées ; néanmoins, les alarmes : Détection chute de grappes , Limitation chute de grappes , Désalignement grappe/groupe  et LCO désalignement  sont a minima activées.

L'oscillation xénon est un phénomène lent, la constante de temps d'apparition étant d'une dizaine d'heures. Cela laisse à l'opérateur un délai très important pour intervenir sur l'une des nombreuses informations disponibles classées F2. Son action est, en effet, supposée intervenir au bout de 30 minutes sur une information significative.

Étant donné l'ensemble des alarmes, signaux et informations dont l'opérateur dispose, l'opérateur interviendra avant que l'oscillation xénon ne se développe et n'induisse un risque vis-à-vis des critères de sûreté.

Une fois informé d'un dysfonctionnement de la tranche, l'opérateur pourra intervenir en appliquant les fiches d'alarmes puis les STE si besoin. Le délai d'action des STE est suffisamment court pour rétablir la situation et ramener la tranche à l'état contrôlé.

La justification du respect des critères est identique à celle décrite au [§ 3.3.1](#).

4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque De Tension Externe) sur les transitoires de chute de grappe(s) pénalisants étudiés précédemment dans le chapitre. Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : à l'instant initial, à l'arrêt automatique du réacteur et au signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté, et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré pour l'arrêt automatique du réacteur.

4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'ACCIDENT

Elles sont identiques à celles décrites pour le transitoire de chute de grappe(s) sans MDTE (voir [§ 1](#)).

4.2. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION

Les objectifs et critères à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation pour cet accident sont indiqués ci-dessous.

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10%.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de la gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section de crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10% de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

4.3. MOYENS DE PROTECTION

En complément des actions du système de protection du réacteur décrites pour le transitoire sans cumul du MDTE (voir § 1.), les actions du système de protection du réacteur suivantes peuvent intervenir :

- « Bas débit boucle » dans 2 boucles sur 4,
- « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4.

Les caractéristiques de ces chaînes de protection sont précisées dans le sous-chapitre 15.1.

4.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

1) Choix de l'aggravant et impact de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

En cohérence avec l'étude de chute de grappe (s) sans cumul du MDTE, l'aggravant unique considéré dans cette étude est le blocage de la grappe la plus anti-réactive hors du cœur lors de l'AAR.

Aucune maintenance préventive pénalisant le transitoire n'est identifiée.

2) Méthode d'analyse et codes de calcul

La démarche d'analyse est analogue à celle des transitoires sans cumul du MDTE (voir § 2.1.), à l'exception de la détermination des caractéristiques neutroniques des cas pénalisants qui sont reconduites de l'analyse des transitoires sans cumul du MDTE.

□

3) Hypothèses d'étude

Les caractéristiques neutroniques de la chute de grappe(s) (anti-réactivité et tilt de régulation associé) sont identiques à celles des transitoires pénalisants étudiés sans cumul du MDTE (voir § 2.1.).

De même, les conditions initiales et limites, ainsi que les données neutroniques et thermiques, sont identiques à celles retenues pour les transitoires pénalisants étudiés sans cumul du MDTE (voir § 2.1.).

Il conduit alors :

- au ralentissement des 4 pompes primaires,
- à la perte de l'alimentation normale des générateurs de vapeur : le débit ARE est supposé s'annuler instantanément.

Le temps de chute des grappes considéré pour l'arrêt automatique du réacteur prend en compte le séisme.

Le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est calculé, autour de l'instant de RFTC minimal, à partir des conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires). Par ailleurs, le calcul est réalisé avec la courbe de fuel census spécifique présentée dans le sous-chapitre 15.1, recalée par homothétie sur le facteur d'élévation d'enthalpie maximal $F\Delta H$ choisi de façon à ce que le RFTC initial physique soit égal à la valeur du seuil DNB_{SAL} .

Les températures de gaine et de pastille sont calculées à partir des données suivantes :

- Les conditions thermo-hydrauliques (température, pression, débit massique et densité) ainsi que la puissance nucléaire.
- Le facteur de point chaud FQ est constant et est ajusté de telle sorte qu'à l'instant initial la puissance linéique soit égale à la limite de fonctionnement en puissance linéique.
- L'entrée en crise d'ébullition est supposée intervenir de façon conservative au moment où le RFTC devient inférieur à sa valeur initiale.
- Le coefficient de transfert thermique dans le jeu pastille/gaine est de façon conservative :
 - maximal tout au long du transitoire pour pénaliser la température du combustible,
 - minimal à l'instant initial, puis maximal à l'instant d'entrée en crise d'ébullition qui correspond aussi au moment où la puissance devient supérieure à sa valeur initiale, pour pénaliser la température de gaine.

4) Résultats

La séquence des événements du transitoire pénalisant vis-à-vis du RFTC avec cumul du MDTE se trouve dans le tableau [TAB-15.2.2p.4](#). Les évolutions des principaux paramètres du transitoire sont représentées sur les figures [FIG-15.2.2p.10](#) à [FIG-15.2.2p.12](#).

Ce transitoire conduit au maximum à l'entrée en crise d'ébullition de $\square\%$ des crayons combustibles.

La séquence des événements du transitoire pénalisant vis-à-vis de la puissance linéique avec cumul du MDTE se trouve dans le tableau [TAB-15.2.2p.5](#). Les évolutions des principaux paramètres du transitoire sont représentées sur les figures [FIG-15.2.2p.13](#) à [FIG-15.2.2p.15](#).

Le maximum de température atteint par la gaine au point chaud est de $\square^\circ\text{C}$. Le maximum de température atteint par le combustible au point chaud est de $\square^\circ\text{C}$, obtenu en considérant un épouséement maximal du combustible \square : cette température reste inférieure à la température de fusion du combustible qui vaut 2810°C pour du combustible neuf \square .

Les évolutions de la température à l'intérieur de la gaine et au centre du combustible sont respectivement données sur les figures [FIG-15.2.2p.16](#) et [FIG-15.2.2p.17](#).

Par conséquent, les critères techniques d'acceptation « nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition $< 10\%$ », « température de la gaine $< 1482^\circ\text{C}$ » et « fusion du combustible au point chaud $< 10\%$ en volume » sont respectés pour le transitoire de chute de grappe(s) avec cumul du MDTE.

4.5. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport au transitoire de chute de grappe(s) avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme avec cumul du MDTE

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 4.2.](#) sont donc vérifiés.

4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRRI/SEC ou ISBP/RRRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport autransitoire de chute de grappe(s) avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRRI/SEC ou ISBP/RRRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme avec cumul du MDTE

Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 4.2.](#) sont donc vérifiés.

Les actions de conduite permettant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont présentées au [§ 3.3.](#)

TAB-15.2.2P.1 CHUTE DE GRAPPE(S) PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES

□



□

□

**TAB-15.2.2P.2 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – ANALYSE VIS-À-VIS DU
RFTC**

I

Instant (s)	Évènements
0,00	Initiateur du transitoire : début de la chute d'une ou plusieurs grappes
1,55	Début du retrait du groupe de régulation de température
5,85	Le seuil d'AAR par « Bas RFTC » est atteint par le RFTC calculé par l'algorithme (valeur après filtre passe-bas et module d'avance-retard)
I	Début de la chute des grappes suite à l'AAR
8,10	Minimum de RFTC I I I

**TAB-15.2.2P.3 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – ANALYSE VIS-À-VIS DE
LA PUISSANCE LINÉIQUE**

II

Instant (s)	Évènements
0,00	Initiateur du transitoire : début de la chute d'une ou plusieurs grappes
1,20	Début du retrait du groupe de régulation de température
18,15	Le seuil d'AAR par « Puissance linéique élevée » est atteint par la puissance linéique mesurée par les collectrons (valeur après filtre passe-bas et module d'avance-retard)
□	Début de la chute des grappes suite à l'AAR
19,65	Maximum de puissance linéique □ □

TAB-15.2.2P.4 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU
MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ
- ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS -
ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC

□

Instant (s)	Évènements
0,00	Initiateur du transitoire : début de la chute d'une ou plusieurs grappes
1,55	Début du retrait du groupe de régulation de température
5,85	Le seuil d'AAR par « Bas RFTC » est atteint par le RFTC calculé par l'algorithme (valeur après filtre passe-bas et module d'avance-retard) □
□	Début de la chute des grappes suite à l'AAR
9,80	Maximum de nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition □ □ □

TAB-15.2.2P.5 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU
MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ
- ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS -
ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE

□

Instant (s)	Évènements
0,00	Initiateur du transitoire : début de la chute d'une ou plusieurs grappes
1,20	Instant de début du retrait du groupe de régulation de température
18,15	Le seuil d'AAR par « Puissance linéique élevée » est atteint par la puissance linéique mesurée par les collectrons (valeur après filtre passe-bas et module d'avance-retard). □
□	Début de la chute des grappes suite à l'AAR
19,60	Maximum de puissance linéique □ - □ - □
21,85	Instant d'atteinte de la température de gaine maximale □
22,25	Instant d'atteinte de la température du combustible maximale □



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 29/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.1 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
DONNÉES NEUTRONIQUES SPÉCIFIQUES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 30/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.2 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PUISSANCE CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 31/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.3 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT
TERMEANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – TEMPÉRATURE PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 32/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.4 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PRESSION PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 33/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.5 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – RFTC**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 34/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.6 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PUISSANCE
CŒUR**

□

**FIG-15.2.2P.7 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE –
TEMPÉRATURE PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 36/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.8 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PRESSION
PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 37/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.9 CHUTE DE GRAPPE(S) DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE – PUISSANCE
LINÉIQUE**

□

□

FIG-15.2.2P.10 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PUISSANCE CŒUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 39/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2P.11 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – TEMPÉRATURE PRIMAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 40/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.12 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT
TERME ANALYSE VIS-À-VIS DU RFTC – PRESSION
PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 41/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.13 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT
TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE –
PUISSANCE CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 42/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.14 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT
TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE –
TEMPÉRATURE PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 43/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.15 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT
TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE –
PRESSION PRESSURISEUR**

□

FIG-15.2.2P.16 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE TEMPÉRATURE À L'INTÉRIEUR DE LA GAINÉ

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2P

PAGE 45/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2P.17 CHUTE DE GRAPPE(S) AVEC CUMUL DU MDTE DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT
TERME ANALYSE VIS-À-VIS DE LA PUISSANCE LINÉIQUE
TEMPÉRATURE AU CENTRE DU COMBUSTIBLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2Q

PAGE 1/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

**.15.2.2Q DÉMARRAGE D'UNE BOUCLE PRIMAIRE INACTIVE À UNE
TEMPÉRATURE INCORRECTE (ÉTAT A) 2**

.15.2.2Q DÉMARRAGE D'UNE BOUCLE PRIMAIRE INACTIVE À UNE TEMPÉRATURE INCORRECTE (ÉTAT A)

Suite à un fonctionnement en trois boucles sur quatre, le démarrage d'une boucle inactive à une température incorrecte peut conduire à un transitoire d'insertion de réactivité par injection d'une eau plus froide que l'eau initialement présente dans le coeur.

Le fonctionnement en trois boucles sur quatre résulte de l'activation de la limitation « Perte d'un GMPP » et n'est possible que pendant une durée limitée dans le temps (de l'ordre de l'heure), au-delà de laquelle un arrêt du réacteur est requis si le GMPP perdu ne peut pas être réparé. Par conséquent, le démarrage d'une boucle inactive à une température incorrecte n'est étudié que dans l'état « réacteur en puissance (Etat A) ».

Le transitoire de démarrage d'une boucle inactive du circuit primaire à une température incorrecte n'est pas analysé car les conséquences de ce transitoire en termes d'insertion de réactivité sont enveloppées par celles des autres événements de réactivité pour lesquels la protection est garantie de manière inhérente par la conception des fonctions dédiées d'arrêt automatique du réacteur.

SOMMAIRE

.15.2.2R	DEFAILLANCE DU RCV CONDUISANT A UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ETATS A A E)	4
1.	IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	4
1.1.	DÉFINITION ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	4
1.1.1.	FONCTIONNEMENT EN PUISSANCE	4
1.1.2.	DE L'ARRÊT STANDARD À CHAUD AUX CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES D'ARRÊT STANDARD À FROID (GMPP EN SERVICE)	5
1.1.3.	ARRÊT STANDARD À FROID ET ARRÊT À FROID POUR RECHARGEMENT OU INTERVENTION (GMPP HORS SERVICE)	6
1.2.	CAUSES, INITIATEURS, ÉVÉNEMENTS	6
1.3.	CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION	8
1.4.	SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR	8
1.4.1.	FONCTIONNEMENT EN PUISSANCE	9
1.4.2.	DE L'ARRÊT STANDARD À CHAUD AUX CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES D'ARRÊT STANDARD À FROID (GMPP EN SERVICE)	10
1.4.3.	ARRÊT STANDARD À FROID ET ARRÊT À FROID POUR RECHARGEMENT OU INTERVENTION (GMPP HORS SERVICE)	10
2.	MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	11
2.1.	DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	12
2.1.1.	CONDITIONS INITIALES	12
2.1.2.	HYPOTHÈSES GÉNÉRALES	12
2.1.3.	PROTECTION ANTI-DILUTION EN PUISSANCE	13
2.1.4.	PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT STANDARD	13
2.1.5.	PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT, GMPP À L'ARRÊT	14
2.2.	DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	14

2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	14
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	15
3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	15
3.1.1. FONCTIONNEMENT EN PUISSANCE	15
3.1.2. DE L'ARRÊT STANDARD À CHAUD AUX CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES D'ARRÊT STANDARD À FROID (GMPP EN SERVICE)	16
3.1.3. ARRÊT STANDARD À FROID ET ARRÊT À FROID POUR RECHARGEMENT OU INTERVENTION (GMPP HORS SERVICE)	16
3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	16
3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME	17
3.3.1. DIMENSIONNEMENT DES RÉSERVOIRS RBS	18
3.3.2. DIMENSIONNEMENT DES POMPES RBS	19
3.3.3. CONDUITE OPÉRATEUR	19
3.3.4. CONCLUSION	21
4. EFFET DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	21
4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'ACCIDENT	21
4.2. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION	21
4.3. MOYENS DE PROTECTION	22
4.4. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	22
4.5. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	22
4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	23
LISTE DE RÉFÉRENCES	25

TABLEAUX :

TAB-15.2.2R.1 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CONCENTRATIONS EN BORE INITIALES.....	26
TAB-15.2.2R.2 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – CONCENTRATIONS EN BORE CRITIQUES	30
TAB-15.2.2R.3 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE LONG TERME – VOLUMES ET DÉBITS REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT ARRÊT SÛR	33

FIGURES :

FIG-15.2.2R.1 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU SIGNAL D'ANTI-DILUTION : ÉTATS CŒUR EN PUISSANCE.....	35
FIG-15.2.2R.2 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU SIGNAL D'ANTI-DILUTION : ÉTATS D'ARRÊT STANDARD.....	36
FIG-15.2.2R.3 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU SIGNAL D'ANTI-DILUTION : ÉTATS D'ARRÊT POMPES PRIMAIRES À L'ARRÊT	37

.15.2.2R DEFAILLANCE DU RCV CONDUISANT A UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ETATS A A E)

Sauf indication contraire, les concentrations en bore présentées sont exprimées en ppm de bore naturel.

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

1.1. DÉFINITION ET DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Le transitoire analysé est supposé survenir en conséquence d'une défaillance du système d'appoint en eau et en bore (REA) ou du circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV). Le but de cette étude est de couvrir l'ensemble des scénarios de dilution consécutifs à ces défaillances. Ce transitoire est classé dans la Condition de Fonctionnement de Catégorie 2 (PCC-2).

Les situations initiales de ce transitoire sont les suivantes :

- fonctionnement en puissance, (état A),
- arrêt standard à froid ou à chaud, (état A, B ou C), y compris :
 - plan médian des boucles - $\frac{3}{4}$ boucle - avec cuve entrouverte et pressurisable (état C),
 - passage de l'arrêt standard à chaud vers l'arrêt standard à froid,
- arrêt à froid pour rechargement ou intervention, y compris :
 - plan médian des boucles - $\frac{3}{4}$ boucle - avec cuve ouverte (état D),
 - piscine réacteur pleine pour rechargement (état E).

Une injection d'eau dans le Circuit Primaire (RCP) peut conduire à une insertion de réactivité dans le cœur.

En fonction des situations initiales, une séquence typique d'évènements est mentionnée ci-après de l'évènement initiateur à l'état contrôlé. Une brève description des évènements initiateurs est mentionnée par la suite dans la même sous-section.

1.1.1. Fonctionnement en puissance

La dilution incontrôlée provoque un apport de réactivité qui est compensé par une insertion des groupes de régulation en contrôle automatique et peut potentiellement entraîner une montée en puissance et en température [1].

La progression du transitoire pourrait entraîner :

- une crise d'ébullition,
- une insuffisance d'anti-réactivité disponible (groupes de régulation et d'arrêt) qui ne permet pas d'atteindre l'état contrôlé et l'arrêt sûr.

Durant cette phase, des contre-mesures automatiques seraient initiées soit par la fonction LCO « Marge d'arrêt (Insertion limite) » (F2), soit par les fonctions de limitation et LCO « Puissance linéique élevée », « Bas RFTC », « IPG » ou « Puissance thermique élevée » (F2) mais l'analyse de sûreté est réalisée sans considération de ces fonctions.

Après isolement automatique des sources de dilution (moyens F1A) par le signal d'anti-dilution : états cœur en puissance (F1A), la dilution est stoppée et le cœur est maintenu en puissance.

Si la défaillance ayant occasionné la dilution intempestive peut être facilement corrigée, les procédures de conduite peuvent amener l'opérateur à rétablir les conditions normales et à maintenir le réacteur en puissance.

Dans le cas contraire, afin d'atteindre l'état contrôlé, l'opérateur rend le cœur sous-critique en appliquant les procédures de conduite normales ou en déclenchant un arrêt automatique du réacteur manuel (F1A). Les interventions de l'opérateur sont prises en compte 30 minutes après l'activation du signal d'anti-dilution : états cœur en puissance.

L'état contrôlé, défini au sous-chapitre 3.2, est atteint avec les conditions suivantes :

- cœur sous-critique,
- concentration en bore au-dessous de la concentration en bore initiale,
- grappes d'arrêt et de contrôle insérées,
- température du réfrigérant du cœur aux conditions de puissance nulle, à chaud (PZC).

De l'événement initiateur à l'état contrôlé, le transitoire peut être divisé en deux phases distinctes :

- la phase « court terme », caractérisée par des marges RFTC réduites, c'est-à-dire les premières secondes du transitoire,
- la phase « moyen terme », au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur par le fluide primaire doit être assurée et pour laquelle le rejet d'activité dans l'atmosphère du fluide secondaire via les trains VDA doit être évalué jusqu'à obtention de l'état contrôlé.

L'aggravant est pris en compte en supposant le blocage de la grappe la plus antiréactive lors de l'arrêt automatique du réacteur. Le cas où l'aggravant est pris en compte en supposant le blocage à la fermeture d'une VDA est traité en section 15.2.4b.

Le signal d'anti-dilution : états cœur en puissance, garantit l'isolement de la source de dilution dès que la concentration en bore du fluide primaire reconstruite par le calcul dans le système de protection se situe au-dessous de la valeur du seuil. La détermination de ce seuil permet à l'anti-réactivité disponible (groupes de régulation et d'arrêt) d'être suffisante pour assurer la sous-criticité du cœur à puissance nulle, à chaud, même dans le cas où la grappe la plus anti réactive est bloquée au-dessus du cœur et ce quel que soit le niveau du xénon et avec un débit de dilution enveloppe (hypothèse d'analyse des transitoires) [1]. Par la suite, ce seuil sera nommé « seuil de protection anti-dilution en puissance ».

Dans le cas où un arrêt automatique du réacteur surviendrait avant l'activation de cette chaîne de protection, la protection serait assurée par le signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard.

1.1.2. De l'arrêt standard à chaud aux conditions thermohydrauliques d'arrêt standard à froid (GMPP en service)

Pour toutes les conditions d'arrêt, les grappes d'arrêt et de régulation sont entièrement insérées. La dilution incontrôlée provoque un apport de réactivité qui, sans action de protection, entraînerait un retour incontrôlé aux conditions critiques.

L'évolution du transitoire pourrait conduire à des états transitoires, avec retour en puissance, pour lesquels les conditions de réactivité et les conditions thermo-hydrauliques (pression et température) ne seraient pas contrôlés.

Durant la phase de l'événement initiateur à l'activation de la chaîne de protection, des contre-mesures automatiques pourraient être initiées par des fonctions F2 (fonction de limitation « anti-dilution (état d'arrêt standard) ») ou Non Classé (NC), toutefois l'analyse de sûreté est réalisée sans considération de ces fonctions.

Avant d'atteindre la criticité, le signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard garantit l'isolement de la source de dilution dès que la concentration en bore du fluide primaire reconstruite par le calcul dans le système de protection se situe au-dessous de la valeur du seuil. La fixation de ce seuil permet au

cœur de demeurer sous-critique quelle que soit la dilution provenant du RCV, y compris pour la dilution enveloppe à l'arrêt à froid, avec un débit de dilution enveloppe (hypothèse d'analyse de transitoire) \square . Par la suite, ce seuil sera nommé « seuil de protection anti-dilution en états d'arrêt standard ».

Pendant tout le transitoire, le cœur reste sous-critique.

L'état contrôlé, défini au sous-chapitre 3.2, est atteint avec les conditions suivantes :

- cœur sous-critique,
- concentration en bore au-dessous de la concentration en bore initiale,
- grappes d'arrêt et de contrôle insérées.

1.1.3. Arrêt standard à froid et arrêt à froid pour rechargement ou intervention (GMPP hors service)

Pour ces cas, les concentrations en bore initiales sont supérieures à la concentration en bore minimale requise dans les conditions d'arrêt pour intervention et rechargement, les pompes primaires (GMPP) sont stoppées et le niveau du circuit primaire peut se situer au niveau des tubulures de la cuve ou au plan médian des boucles.

Le scénario le plus pénalisant concerne le fonctionnement au niveau médian des boucles où la quantité de réfrigérant est minimale. Durant cette opération, afin de permettre le contrôle du niveau boucle, le RCV et le REA sont disponibles.

Peu de temps après le début de la dilution et donc avant d'atteindre la criticité, le signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt, garantit l'isolement de la source de dilution dès que la concentration en bore mesurée dans la ligne de charge se situe au-dessous de la valeur du seuil. La fixation de ce seuil permet au cœur de demeurer sous-critique quelle que soit la dilution provenant du RCV, même pour le cas enveloppe initié au niveau médian des boucles avec un débit de dilution enveloppe (hypothèse d'analyse de transitoire) \square .

Pendant tout le transitoire, le cœur reste sous-critique.

L'état contrôlé, défini au sous-chapitre 3.2, est atteint avec les conditions suivantes :

- conditions hydrauliques et thermiques initiales non-modifiées,
- cœur sous-critique,
- concentration en bore au-dessous de la concentration en bore initiale,
- grappes d'arrêt et de contrôle insérées.

1.2. CAUSES, INITIATEURS, ÉVÉNEMENTS

Les principaux scénarios de dilution liés à l'évènement « Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire » (PCC-2) sont les suivants :

- défaillance dans le système de dégazage des effluents primaires,
- défaillance dans le système de purification des effluents primaires,
- défaillance dans le système de traitement des effluents primaires,
- défaillance dans le système d'appoint en eau et en bore.

Ces systèmes sont décrits au sous-chapitre 9.3 (voir section 9.3.2 pour une représentation synoptique du RCV et des systèmes connectés).

Une brève description des scénarios de dilution est indiquée ci-après au cas par cas. Ces quatre scénarios constituent des scénarios typiques de dilution provenant d'une défaillance du RCV, conduisant aux débits de dilution maximaux.

Défaillance dans le système de dégazage des effluents primaires

L'évaporateur et la colonne du dégazeur contiennent, en période d'attente, une masse d'effluent primaire qui provient de la dernière phase de fonctionnement et dont la concentration en bore est celle du primaire durant cette phase. Cette concentration peut être proche de 0 ppm. Dans le cas où le dégazeur serait mis en service sans décharger cette quantité de réfrigérant vers les bâches de stockage d'effluents primaires, une injection non souhaitée d'eau non borée peut être effectuée dans le circuit primaire.

Le débit maximal de dilution est déterminé par la capacité du RCV.

La réduction de la concentration en bore du fluide primaire est limitée par le volume d'eau contenu dans l'évaporateur et la colonne du dégazeur.

Défaillance dans le système de purification des effluents primaires

Un déminéralisateur non saturé en bore qui était en attente peut être mis en service avec injection du débit de réfrigérant déboré vers le circuit primaire au moyen du RCV. Ceci est possible pour tous les états de fonctionnement du circuit primaire.

La dilution est limitée par rétention sur le déminéralisateur jusqu'à saturation.

Le débit maximal de dilution est déterminé par la capacité du RCV.

Défaillance dans le système de traitement des effluents primaires

La défaillance des mesures de concentration en bore peut entraîner une concentration en bore trop faible de l'acide borique produit dans la colonne de l'évaporateur qui doit être réutilisée pour l'injection dans le circuit primaire. , ceci peut entraîner une dilution du fluide primaire lorsqu'une injection d'acide borique est nécessaire. Cet événement peut intervenir, par exemple, pour les raisons suivantes :

- compensation des fuites dans le circuit primaire,
- contrôle de position des grappes,
- borication du circuit primaire pour atteindre une condition d'arrêt,

Le débit d'injection d'acide borique, qui par erreur, est presque exempt de bore au lieu de contenir de bore total enrichi , est limité par le débit de deux pompes d'acide borique .

Défaillance du système d'appoint en eau et en bore

Par erreur, de l'eau déminéralisée peut être injectée via le RCV dans le circuit primaire avec une ou deux des pompes à eau déminéralisée du système d'appoint en eau et en bore lorsqu'aucun changement de réactivité n'est nécessaire ou lorsque l'injection d'acide borique correspondante est manquante. L'injection de l'eau déminéralisée peut être initiée soit par :

- compensation des fuites dans le circuit primaire,
- contrôle de position des grappes,
- compensation de xénon,
- variations de charge,
- .

Le débit maximal de dilution est déterminé par la capacité des pompes à eau déminéralisée.

Cet événement est possible pour tous les états de fonctionnement du circuit primaire.

Le débit de dilution maximal est de \square t/h valeur enveloppe déterminée avec deux pompes à eau déminéralisée en fonctionnement.

Ce scénario est retenu comme le scénario enveloppe pour les analyses de sûreté de l'événement « Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire » (PCC-2).

1.3. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION

Les objectifs et critères de sûreté relatifs au PCC-2 à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un RFTC supérieur à 1,0 ;
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustibles doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré ;
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de sûreté du pressuriseur sont sollicitées.

Ces critères sont satisfaits pour tous les scénarios initiés en états d'arrêt, en s'assurant de la sous-criticité du cœur pendant tout le transitoire.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$;
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme ;
 - L'inventaire en eau est stable ;
 - Les rejets radiologiques restent tolérables ;
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm) ;
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr ;
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.4. SYSTÈME DE PROTECTION DU RÉACTEUR

Pour couvrir l'ensemble des états standards du réacteur, trois chaînes de protection sont définies selon l'état du réacteur :

- signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt,
- signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard,
- signal d'anti-dilution : états cœur en puissance.

Toutes ces chaînes de protection disposent de la concentration en bore mesurée de la ligne de charge en tant que signal d'entrée. Ce signal analogique provient du boremètre RCV (classé F1A).

Sauf dans le cas où les pompes primaires sont à l'arrêt, la détection de dilution intempestive s'appuie sur une reconstruction en ligne de la concentration en bore du fluide primaire, reconstruction basée sur un bilan massique de bore avec l'hypothèse d'un volume du circuit primaire pénalisant et à l'aide des signaux suivants :

- la concentration en bore de la ligne de charge fournie par le boremètre,
- le débit de charge total du RCV,
- la température du cœur (branche froide) (non utilisée pour les états en puissance).

Toutes ces chaînes de protection délivrent le même ordre d'activation. L'action de sécurité (classée F1A) consiste en un isolement automatique et redondant de l'aspiration des pompes de charge du RCV permettant ainsi l'isolement des principales sources de dilution intempestive du RCV. En outre, l'aspiration des pompes de charge bascule vers l'IRWST et un ordre d'isolement de la ligne de charge du RCV est demandé ; ces actions n'étant pas classées F1A. Dans le cas du signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt, on procède également à un isolement automatique (classé F1A) de la décharge basse pression RCV par fermeture des vannes en aval du soutirage au RIS en fonctionnement RA.

Toutes ces chaînes de protection garantissent l'isolement de la source de dilution lorsque la protection est activée.

En conditions d'arrêt, les chaînes de protection garantissent la sous-criticité du cœur pendant tout le transitoire.



1.4.1. Fonctionnement en puissance

L'intégrité de la gaine du combustible est assurée par un arrêt automatique du réacteur qui peut être provoqué par l'un des signaux suivants (F1A) du système de protection :

- Bas RFTC,
- Puissance linéique élevée,
- Interaction pastille gaine (IPG),
- Puissance thermique élevée,
- Haut niveau dans le pressuriseur (> Max1p),
- Haute pression dans le pressuriseur (> Max2p).

L'efficacité de l'arrêt automatique du réacteur garantissant la sous-criticité du cœur est assurée par le signal d'anti-dilution F1A :

- états cœur en puissance, pour les scénarios de dilution initiée en puissance et sollicitant la protection anti-dilution avant tout arrêt automatique du réacteur,
- états d'arrêt standard, pour les scénarios de dilution initiée en puissance et sollicitant l'arrêt automatique du réacteur avant la protection anti-dilution,
- états d'arrêt GMPP à l'arrêt, pour les scénarios de dilution avec cumul de MDTE initiée en puissance.

Le signal d'anti-dilution en puissance est décrit ci-dessous. Les signaux d'anti-dilution dans les états d'arrêt standard et dans les états d'arrêt GMPP à l'arrêt sont décrits respectivement au [§ 1.4.2.](#) et [§ 1.4.3.](#)

La concentration en bore du fluide primaire reconstruite est comparée à un seuil de protection en puissance correspondant à la concentration en bore critique du cœur, pré-déterminée, à puissance nulle, à chaud (PZC), avec toutes les grappes insérées, à l'exception de la grappe la plus anti réactive

bloquée au-dessus du cœur (TGI-1), sans xénon \square . Un ajustement périodique du seuil en fonction de l'épuisement du combustible est nécessaire.

Par ailleurs :

- La présence cumulée d'un signal de cette protection anti-dilution en puissance et d'un signal d'AAR, lance un signal d'isolement (F1A) de l'ARE (isolement total ou isolement des vannes petit débit dans le cas où les vannes grand débit ont déjà été isolées sur signal d'AAR) et un signal de démarrage du RBS (F1A) permettant de contrer toute source de refroidissement potentiel du cœur.
- La présence cumulée d'un signal de cette protection anti-dilution en puissance et d'un signal de bas niveau pressuriseur (configuration caractéristique d'un dysfonctionnement de la régulation de niveau pressuriseur), lance un signal d'isolement de la décharge du RCV (F1A).

La protection anti-dilution en puissance est validée par un signal significatif d'une condition "réacteur en puissance" se caractérisant par un signal permissif « Non-TGI » (permissif « Pas P8 »).

Une représentation synoptique du signal d'anti-dilution : états cœur en puissance, est donnée en [FIG-15.2.2r.1](#).

1.4.2. De l'arrêt standard à chaud aux conditions thermohydrauliques d'arrêt standard à froid (GMPP en service)

De l'arrêt standard à chaud aux conditions thermohydrauliques d'arrêt standard à froid, la protection est assurée par le signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard (F1A).

La concentration en bore reconstruite est comparée à un seuil de protection dépendant de la température et correspondant à la concentration en bore critique de l'arrêt considéré (en fonction de la température du cœur), sans xénon \square . Un ajustement périodique du seuil en fonction de l'épuisement du combustible est nécessaire.

Par ailleurs, et afin de couvrir les situations de dilution initiées d'un état en puissance :

- la présence cumulée d'un signal de cette protection anti-dilution en états d'arrêt standard et d'un signal d'AAR, lance un signal d'isolement (F1A) de l'ARE (isolement total ou isolement des vannes petit débit dans le cas où les vannes grand débit ont déjà été isolées sur signal d'AAR) et un signal de démarrage du RBS (F1A) permettant de contrer toute source de refroidissement potentiel du cœur.
- la présence cumulée d'un signal de cette protection anti-dilution en états d'arrêt standard et d'un signal de bas niveau pressuriseur (configuration caractéristique d'un dysfonctionnement de la régulation de niveau pressuriseur), lance un signal d'isolement de la décharge du RCV (F1A).

La protection anti-dilution dans les états d'arrêt standard est validée par un signal significatif d'une condition d'arrêt du réacteur se caractérisant par un signal permissif « TGI » (permissif P8), et désactivée par le signal représentant une condition d'arrêt des pompes primaires (permissif P7).

Une représentation synoptique du signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard, est donnée en [FIG-15.2.2r.2](#).

1.4.3. Arrêt standard à froid et arrêt à froid pour rechargement ou intervention (GMPP hors service)

Durant les conditions d'arrêt standard à froid et d'arrêt à froid pour rechargement ou intervention, la protection est assurée par le signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt (F1A).

Cette chaîne de protection est définie pour pallier le risque de dilution hétérogène lorsque aucune pompe primaire n'est en fonctionnement d'une part, et garantit, d'autre part, la protection contre une dilution homogène provenant d'une défaillance du RCV pour tous les états d'arrêt où les pompes primaires ne sont pas en fonctionnement.

Le signal utilisé est la concentration en bore de la ligne de charge fournie par le boremètre. La concentration en bore mesurée est comparée au seuil correspondant à la concentration en bore requise pour les conditions d'arrêt pour intervention et rechargement [1].

Par ailleurs, et afin de couvrir les situations de dilution initiées d'un état en puissance (en cas de MDTE) :

- la présence cumulée d'un signal de cette protection anti-dilution en états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt, d'un signal d'AAR et d'un signal de MDTE maintenu pendant une durée donnée, lance un signal de démarrage du RBS (F1A) permettant de contrer toute source de refroidissement potentiel du cœur,
- la présence cumulée d'un signal de cette protection anti-dilution en états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt, d'un signal de MDTE maintenu pendant une durée donnée et d'un signal de bas niveau pressuriseur (configuration caractéristique d'un dysfonctionnement de la régulation de niveau PZR), lance un signal d'isolement de la décharge du RCV (F1A).

La protection anti-dilution dans les états d'arrêt, GMPP à l'arrêt est validée, après temporisation, par un signal représentant une condition d'arrêt des pompes primaires (permissif P7).

Une représentation synoptique du signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt est donnée en [FIG-15.2.2r.3](#).

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive – Phase court terme

Fonctionnement en puissance

L'aggravant est appliqué au système de protection en supposant le blocage de la grappe la plus anti réactive au-dessus du cœur lors de l'arrêt automatique du réacteur.

Pour atteindre l'état contrôlé, seuls l'isolement du RCV (F1A) commandé par le système de protection (F1A) et éventuellement un arrêt [1] du réacteur (F1A) sont nécessaires.

Aucune maintenance préventive pénalisant le transitoire n'est identifiée, le boremètre (système classé F1A) présentant une redondance fonctionnelle d'ordre 4.

Etats d'arrêt

Aucune maintenance préventive, ni aggravant, pénalisant le transitoire ne sont identifiés, le boremètre (système classé F1A) présentant une redondance fonctionnelle d'ordre 4.

Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive – Phases moyen et long termes

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	Aspect sous-criticité : cf. cas de référence, phase court terme section 15.2.2r Autres critères : cf. cas de référence (voir § 3.2.)	Aspect sous-criticité : cf. cas de référence, phase court terme section 15.2.2r Autres critères : cf. cas de référence (voir § 3.2.)
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr	Aspect sous-criticité : 1 train RBS ou la grappe la plus anti réactive bloquée au-dessus du cœur Autres critères : cf. cas de référence (voir § 3.3.)	Aspect sous-criticité : aucun impact Autres critères : cf. cas de référence (voir § 3.3.)

Tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

2.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

L'analyse de sûreté consiste principalement à déterminer les valeurs des seuils de protection :

- anti-dilution en puissance pour tout état initié en puissance,
- anti-dilution en état d'arrêt standard pour tous les états post-AAR initiés en puissance et pour les états B à C2,
- anti-dilution état d'arrêt, GMPP à l'arrêt pour les états C3 à E.

2.1.1. Conditions initiales

Pour tous les états du réacteur, les conditions initiales n'ont pas d'impact sur la démonstration de sûreté.

2.1.2. Hypothèses générales

Les hypothèses pénalisantes relatives aux analyses de sûreté sont prises en compte dans la détermination de la valeur du seuil de la chaîne de protection et dans la définition de l'algorithme des chaînes de protection qui calcule en ligne la concentration en bore du fluide primaire.

Hypothèses relatives à la définition de l'algorithme :

- \square ,
- dans le cadre de la dilution homogène, il est supposé que le fluide à la décharge du primaire est à la même concentration en bore que celui de la cuve.

Hypothèses relatives à la détermination de la valeur du seuil

Mêmes hypothèses que pour la définition de l'algorithme plus :

- [§ 1.1.1](#) ;
- l'isolement du RCV est réalisé [§ 1.1.1](#),
- l'analyse utilise un débit de dilution maximal, provenant du système d'appoint en eau et en bore [§ 1.1.1](#),
- le volume d'eau pure balayé dans la tuyauterie RCV est, de l'aspiration des pompes de charge vers l'IRWST à l'emplacement du boremètre, de 1,0 m³.

Les concentrations en bore ont été calculées par le code de diffusion nodale tridimensionnel [§ 1.1.1](#) à deux groupes d'énergie. Ce code est décrit dans l'Annexe 15A, ainsi que sa base de qualification. L'incertitude sur le calcul de la concentration en bore critique (I(CB)) s'élève à [§ 1.1.1](#) pour ce modèle de calcul.

2.1.3. Protection anti-dilution en puissance

Le signal d'anti-dilution : états cœur en puissance, garantit l'isolement de la source de dilution dès que la concentration en bore du fluide primaire reconstruite se situe au-dessous de la valeur du seuil. La fixation de ce « seuil de protection anti-dilution en puissance » (voir [§ 1.1.1](#)) permet à l'anti-réactivité disponible (groupes de régulation et d'arrêt) d'être suffisante pour assurer la sous-criticité du cœur à puissance nulle, à chaud, même dans le cas où la grappe la plus anti réactive est bloquée au-dessus du cœur et ce quel que soit le niveau du xénon, avec un débit de dilution enveloppe (hypothèse d'analyse de transitoire) de [§ 1.1.1](#).

[§ 1.1.1](#)

2.1.4. Protection anti-dilution dans les états d'arrêt standard

Le signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard, garantit l'isolement de la source de dilution dès que la concentration en bore reconstruite du fluide primaire se situe au-dessous de la valeur du seuil. La fixation de ce « seuil de protection anti-dilution en états d'arrêt standard » (voir [§ 1.1.2](#)) permet au cœur de demeurer sous-critique quelle que soit la dilution provenant du RCV, y compris pour la dilution enveloppe, à l'arrêt à froid, avec un débit de dilution enveloppe (hypothèse d'analyse de transitoire) de [§ 1.1.2](#).

Toutes les valeurs de seuil décrites ci dessous dépendent de l'épuisement, du cycle et de l'état thermohydraulique du réacteur.

La définition du seuil de protection de cette chaîne dépend de l'état initial considéré : en puissance ou en états d'arrêt standard.

Cette protection permet ainsi de considérer des situations post AAR.

Situations de dilution initiées à partir d'un état d'arrêt standard

[§ 1.1.1](#)

Situations de dilution initiées à partir d'état en puissance (protection anti-dilution sollicitée post-AAR).

La protection anti-dilution dans les états d'arrêt standard doit également couvrir toutes les situations pouvant intervenir suite à l'AAR, et au sur-refroidissement potentiel induit par un dysfonctionnement de la régulation de niveau GV.

Cas 1 : situations ne conduisant pas au refroidissement partiel (température comprise entre la température d'arrêt à chaud et la température maximale T_{max} au dessus de laquelle aucun refroidissement partiel ne peut intervenir).

Pour ces situations (dont l'état d'arrêt à chaud fait partie), la valeur du seuil de protection retenue est la valeur du « seuil de protection anti-dilution en puissance » tel que décrit dans le [§ 2.1.3](#), mais prenant

en compte les conditions de pression et température de l'état considéré pour le calcul de la concentration en bore critique (voir [§ 3.1.](#)).

Cas 2 : situations pouvant conduire à un refroidissement partiel .

Ce dimensionnement permet d'assurer, en cas de sollicitation de la protection anti-dilution dans les états d'arrêt standard, un non retour en criticité sur toute la plage de température primaire considérée.

Par ailleurs, dans le système de protection, la valeur du seuil de la chaîne de protection anti-dilution dans les états d'arrêt standard étant obtenue par interpolation linéaire entre les différents points en température, le remontage des seuils est réalisé de manière à envelopper l'évolution physique de ce seuil en fonction de la température.

2.1.5. Protection anti-dilution dans les états d'arrêt, GMPP à l'arrêt

Le signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt, garantit l'isolement de la source de dilution dès que la concentration en bore de la ligne de charge se situe au-dessous de la valeur du seuil.

Cette chaîne de protection est en partie dédiée à l'atténuation du risque de dilution hétérogène lorsqu'aucun GMPP n'est en fonctionnement. La valeur du seuil est donc aussi proche que possible de la concentration en bore requise en condition d'arrêt des pompes primaires, c'est-à-dire de la concentration en bore requise pour le rechargement et intervention qui correspond à la concentration en bore de l'IRWST. .

Le seuil de protection est la concentration en bore nécessaire lors des conditions d'arrêt pour intervention et d'arrêt pour rechargement, .

2.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

Aspects « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité » et « intégrité du RDP » : l'étude de l'événement initiateur à l'état contrôlé n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres transitoires (voir [§ 3.2.](#)).

Aspect « sous-criticité » : à la fin de la phase court terme, le cœur est sous-critique. L'état contrôlé est atteint, il correspond à la fin de la phase court terme (voir [§ 3.2.](#)).

2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Aspects « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité » : l'étude de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres transitoires (voir [§ 3.3.](#)).

Aspect « sous-criticité » : cette section 15.2.2r est le transitoire de référence pour ce critère car, en fin de phase court/moyen terme, la sous-criticité est minimale.

Pour atteindre l'état d'arrêt sûr, l'opérateur utilise le RBS afin d'atteindre la CB requise et refroidit le RCP par les vannes VDA des GV. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS en fonctionnement et du niveau pressuriseur.

Il s'agit ainsi de vérifier que :

- le dimensionnement des réservoirs RBS est suffisant pour atteindre la CB requise,
- le débit des pompes RBS permet de compenser la réactivité apportée par le refroidissement.

Volume des réservoirs RBS

Deux aggravants différents sont étudiés :

- Aggravant sur un train RBS ; le gradient de refroidissement est dans ce cas limité à 25° C/h, aucune grappe n'est bloquée et un seul réservoir RBS est disponible.
- Aggravant sur la grappe la plus anti-réactive bloquée au-dessus du cœur ; le gradient de refroidissement est dans ce cas limité à 50° C/h (les 2 trains RBS sont disponibles).

□

La concentration en bore initiale est la CB en fin de dilution □.

La concentration en bore requise est la CB critique en état d'arrêt sûr □.

Débit des pompes RBS

L'aggravant est pris sur la grappe la plus anti-réactive bloquée au-dessus du cœur (cas pénalisant).

□

La concentration en bore initiale est la CB en fin de dilution □.

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME

3.1.1. Fonctionnement en puissance

Le transitoire de dilution est couvert par le retrait incontrôlé de groupes en puissance □. L'intégrité de la gaine combustible est assurée par les chaînes de protection « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée » (voir section 15.2.2m).

En contrôle automatique, l'apport de réactivité consécutif au transitoire de dilution est compensé par une insertion de groupes de régulation. □.

Les valeurs nominales des concentrations en bore prévues pour le fonctionnement en puissance sont données dans le tableau [TAB-15.2.2r.1](#) page 1/4.

La diminution de concentration en bore dans le fluide primaire du fait d'une défaillance du RCV est détectée par le signal d'anti-dilution : états cœur en puissance. Le déclenchement de cette chaîne de protection garantit l'isolement du RCV et permet à l'anti-réactivité disponible (groupes d'arrêt et de régulation) d'être suffisante pour assurer la sous-criticité du cœur à puissance nulle, à chaud, avec blocage de la grappe la plus anti réactive au-dessus du cœur et quel que soit le niveau de xénon, avec un débit de dilution enveloppe (hypothèse d'analyse de transitoire) □.

En cas d'arrêt automatique du réacteur survenant avant le déclenchement de cette chaîne de protection, la protection sera assurée par le signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard. En conséquence, la valeur du seuil du signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard, doit couvrir la situation avec une grappe coincée, pour l'arrêt à chaud et tout état thermohydraulique pouvant être atteint suite à l'AAR et au sur-refroidissement potentiel induit par un dysfonctionnement de la régulation de niveau GV.

Les concentrations en bore critiques utilisées pour la détermination de la valeur du seuil de la chaîne de protection anti-dilution en puissance sont données dans le tableau [TAB-15.2.2r.2](#) page 1/3.

3.1.2. De l'arrêt standard à chaud aux conditions thermohydrauliques d'arrêt standard à froid (GMPP en service)

Au début du transitoire, la concentration en bore correspond à la concentration en bore requise pour l'état d'arrêt considéré.

Les concentrations en bore requises dans les états standards d'arrêt à chaud sont données dans le tableau [TAB-15.2.2r.1](#) page 2/4. Les concentrations en bore requises pour les états standards d'arrêt à froid sont données dans le tableau [TAB-15.2.2r.1](#) page 3/4.

La diminution de concentration en bore dans le fluide primaire consécutive à une défaillance du RCV est détectée par le signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard. Avant d'atteindre la criticité, cette chaîne de protection garantit l'isolement du RCV et permet au cœur de demeurer sous-critique quelle que soit la dilution, en particulier pour la dilution enveloppe, à l'arrêt à froid, avec un débit de dilution enveloppe (hypothèse d'analyse de transitoire) \square .

Les concentrations en bore critiques utilisées pour la détermination de la valeur du seuil de la chaîne de protection sont données dans le tableau [TAB-15.2.2r.2](#) page 1/3 et page 2/3 pour l'arrêt à chaud et [TAB-15.2.2r.2](#) page 3/3 pour l'arrêt à froid.

En condition d'arrêt à chaud et tout état thermohydraulique pouvant être atteint suite à l'AAR et au sur-refroidissement potentiel induit par un dysfonctionnement de la régulation de niveau GV, la valeur du seuil du signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard couvre également la situation avec une grappe coincée (voir [§ 3.1.1](#) ci-dessus).

3.1.3. Arrêt standard à froid et arrêt à froid pour rechargement ou intervention (GMPP hors service)

Au début du transitoire, la concentration en bore correspond à la concentration en bore requise à l'arrêt à froid pour rechargement et intervention (voir tableau [TAB-15.2.2r.1](#) page 4/4).

La concentration en bore de la ligne de charge est surveillée par le signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt. Dès que cette concentration en bore se situe au-dessous de la concentration en bore requise pour les états d'arrêt pour intervention ou rechargement \square cette chaîne de protection garantit l'isolement du RCV et permet au cœur de demeurer sous-critique quelle que soit la dilution provenant du RCV.

3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

Pour l'aspect « sous-criticité » : à la fin de la phase court terme, présentée dans le [§ 3.1](#) ci-dessus, le réacteur est sous-critique. Les GV ou le RRA évacuent la puissance résiduelle. L'état contrôlé est atteint. La phase moyen terme qui consiste à atteindre l'état contrôlé fait partie de la phase court terme de cetransitoire.

Vis-à-vis des autres critères de sûreté, cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des critères « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité/intégrité des barrières » et « intégrité du RDP » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces transitoires sont enveloppes par rapport au transitoire de « Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire » :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Rejet d'activité max.	(voir paragraphe 3.2 de la section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir paragraphe 5.2.3 de la section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.
Intégrité du RDP	(voir paragraphe 3.2 de la section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la valeur de la pression primaire maximale est supérieure.

Tableau : respect des critères « évacuation de la puissance résiduelle », « rejet d'activité/intégrité des barrières » et « intégrité du RDP » pour la phase moyen terme

Par ailleurs, suite à l'isolement de la charge RCV par la protection anti-dilution, en cas de présence cumulée d'un signal de protection anti-dilution et d'un signal de bas niveau pressuriseur (configuration caractéristique d'un dysfonctionnement de la régulation de niveau pressuriseur), un signal d'isolement de la décharge du RCV est généré. Le maintien de l'inventaire en eau est donc assuré.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 1.3. est donc vérifié.

3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME

La phase long terme du transitoire « Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire » est le transitoire enveloppe vis-à-vis du critère en sous-criticité. L'étude relative à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr consiste à vérifier que le dimensionnement du RBS (volume de réservoir et débit de pompe) est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr.

Vis-à-vis des autres critères de sûreté, cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des critères « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces transitoires sont enveloppes par rapport au transitoire de « Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire » :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Rejet d'activité max.	(voir paragraphe 3.3 de la section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir paragraphe 6.3 de la section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : respect des critères « évacuation de la puissance résiduelle par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme

3.3.1. Dimensionnement des réservoirs RBS

Le dimensionnement des réservoirs du RBS est vérifié pour les différents états possibles du réacteur lors de la dilution.

3.3.1.1. Fonctionnement en puissance

□

Les volumes maximum pour ce cas et pour chaque cycle sont donnés dans le tableau [TAB-15.2.2r.3](#).

Le volume maximal nécessaire pour permettre la borication du RCP à la CB requise est de □ m³, ce volume est inférieur au volume minimal de deux réservoirs RBS de □ chacun soit □ au total.

□

Les volumes maximum pour ce cas et pour chaque cycle sont donnés dans le tableau [TAB-15.2.2r.3](#).

Le volume maximal nécessaire pour permettre la borication du RCP à la CB requise (CB de l'état d'arrêt sûr) est de □, ce volume est inférieur au volume minimal d'un réservoir RBS □. Ainsi l'atteinte du critère de sous-criticité minimale de 1000 pcm est garantie.

3.3.1.2. De l'arrêt standard à chaud aux conditions thermohydrauliques d'arrêt standard à froid (GMPP en service)

Les volumes d'eau borée requis pour assurer une borication lors du refroidissement vers l'état d'arrêt sûr à partir des états d'arrêt standards sont enveloppés par les volumes requis à partir d'un état en puissance.

3.3.1.3. Arrêt standard à froid et arrêt à froid pour rechargement ou intervention (GMPP hors service)

Dans ces conditions, aucun refroidissement n'est nécessaire puisque les conditions thermohydrauliques sont en deçà des conditions d'état d'arrêt sûr. Le RRA est connecté.

3.3.2. Dimensionnement des pompes RBS

Le dimensionnement des pompes RBS est vérifié pour les différents états possibles du réacteur lors de la dilution.

3.3.2.1. Fonctionnement en puissance

Les pompes RBS doivent apporter de l'anti-réactivité avec une vitesse suffisante pour compenser la réactivité apportée par le refroidissement.

□

Les débits maximum pour chaque cycle sont donnés dans le tableau [TAB-15.2.2r.3](#).

Le débit maximal nécessaire pour garantir la sous-criticité lors du refroidissement du RCP est de □ m³/h, ce débit est inférieur au débit minimal d'une pompe RBS □.

3.3.2.2. De l'arrêt standard à chaud aux conditions thermohydrauliques d'arrêt standard à froid (GMPP en service)

Les débits requis pour assurer la sous-criticité lors du refroidissement vers l'état d'arrêt sûr à partir des états d'arrêt standards sont enveloppés par les débits requis à partir d'un état en puissance.

3.3.2.3. Arrêt standard à froid et arrêt à froid pour rechargement ou intervention (GMPP hors service)

Dans ces conditions, aucun refroidissement n'est nécessaire puisque les conditions thermohydrauliques sont en deçà des conditions d'état d'arrêt sûr. Le RRA est connecté.

3.3.3. Conduite opérateur

Les actions de conduite décrites ci-dessous prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE. La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG.

De l'état C3 à E, les trains RIS/RRA sont initialement connectés en mode RRA, l'état contrôlé est donc également l'état d'arrêt sûr, aucune conduite incidentelle ou accidentelle n'est à effectuer.

Dans les états C1 et C2, l'opérateur effectue une borication afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr.

De l'état A à B, les actions de conduite sont les suivantes :

Après AAR ou sur alarme anti-dilution, l'opérateur est orienté vers la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS ».

Entrée par l'AAR :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », le Diagnostic Primaire Fermé, après vérification de la non dégradation des fonctions d'état, oriente l'opérateur, pour le cas sans cumul du MDTE, vers la procédure « Stabilisation en Conduite Incidentelle ». Pour le cas avec cumul du MDTE, après application de la fiche EFS « perte 10 kV », l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en Conduite Incidentelle » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et « N PZR < □% » sont négatives.

Entrée par l'alarme anti-dilution (pas d'AAR) :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », l'opérateur est orienté vers la procédure « Maintien en puissance – Baisse de charge » si la puissance est supérieure à la puissance maximale autorisée pour effectuer un AAR [1]. Dans le cas contraire, la séquence « Diagnostic Primaire Fermé », oriente l'opérateur vers la procédure « Borication en CI » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et « N PZR < [1] % » sont négatives.

Dans la procédure « Maintien en puissance – Baisse de charge », l'opérateur confirme le basculement du RCV sur l'IRWST puis la baisse de charge turbine est demandée afin de pouvoir effectuer un AAR [1]. L'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en CI » ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si le N PZR > [1] %, après application de la fiche « isolement de la dilution homogène », ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans IS (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable [1].

Dans la procédure « Stabilisation en CI », l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST. Après la phase de stabilisation, l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication CI » sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$, vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN ou N PZR > [1] %, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans IS (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable [1].

Les actions suivantes sont à présent réalisées indépendamment du critère d'entrée en CIA.

Dans la procédure Borication CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'obtenir la CB requise. L'opérateur est ensuite orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères délai d'amorçage écoulé ou somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN ou N PZR > [1] %, vers la procédure « Stabilisation CI » sur les critères $CB > CB_{requis}$ ou $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable [1].

Dans la procédure PER en CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50° C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et la $CB > CB_{requis}$ requis ou si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et le $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$ requis ou si 2 trains RBS en service, ou à 25° C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service.

La dépressurisation du RCP est effectuée si la pression est supérieure à [1] barR. Sous les [1] barR, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS/RRA en mode RRA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas où un GV devient inutilisable avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS/RRA en mode RRA, l'opérateur est réorienté vers la procédure PAF sans IS.

Dans la procédure PAF sans IS, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50° C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la $CB > CB_{requis}$ ou si $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$ requis, ou à 25° C/h si 1 train RBS est en service et le $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

La dépressurisation du RCP est effectuée si la pression est supérieure à [1] barR. Sous les [1] barR, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS/RRA en mode RRA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

3.3.4. Conclusion

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 1.3. est donc vérifié.

4. EFFET DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque De Tension Externe) sur le transitoire de défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire étudié précédemment dans le chapitre. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), pour les cas initiés lors du fonctionnement en puissance, le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : instant initial, au signal d'AAR et signal d'IS. Pour les cas initiés dans les états d'arrêt, le MDTE est appliqué à l'instant initial. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté.

4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'ACCIDENT

Elles sont identiques à celles décrites pour le transitoire de défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire sans MDTE (voir § 1.).

4.2. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10% ;
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de la gaine doit rester inférieure à 1482 °C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible ;
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section de crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10% de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.

Ces critères sont satisfaits pour tous les scénarios initiés en états d'arrêt en s'assurant de la sous-criticité du cœur pendant tout le transitoire.

- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 1,0$,
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme ;
 - L'inventaire en eau est stable ;
 - Les rejets radiologiques restent tolérables ;
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm) ;
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr ;
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

4.3. MOYENS DE PROTECTION

En complément des actions du système de protection du réacteur décrites pour le transitoire sans cumul du MDTE (voir [§ 1.4.](#) ci-dessus), les actions du système de protection du réacteur suivantes peuvent intervenir pour les scénarios initiés en état A :

- « Bas débit boucle » dans 2 boucles sur 4,
- « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4,

Les caractéristiques de ces chaînes de protection sont précisées dans le sous-chapitre 15.1.

Concernant les chaînes de protection anti-dilution, le signal d'anti-dilution : état d'arrêt pompes primaires à l'arrêt intervient consécutivement au cumul du MDTE : cette action de protection est validée, après temporisation, par un signal représentant une condition d'arrêt des pompes primaires (permissif P7). Durant cette temporisation, la protection est assurée par le signal d'anti-dilution : états d'arrêt standard.

4.4. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

Les conséquences d'un transitoire de défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire avec cumul du MDTE sont moins pénalisantes que celles associés au retrait incontrôlé de groupes en puissance avec cumul du MDTE (voir section 15.2.2m). Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux accidents PCC-4 étant démontré dans la section 15.2.2m, on peut conclure que les critères techniques d'acceptation relatifs aux accidents PCC-4 sont respectés en cas de dilution homogène initiée en puissance avec cumul du MDTE.

De plus, le dimensionnement des seuils de protection anti-dilution (voir [§ 1.1.1.](#), [§ 1.1.2.](#) et [§ 1.1.3.](#) ci-dessus) garantit que le cœur reste sous-critique dans les différents états envisagés, y compris en cas de MDTE (calculs de concentration en bore critique à 0%PN non impactés par la diminution du débit primaire consécutive au MDTE). Les équipements utilisés pour isoler la dilution sont des équipements classés F1A et sont secourus électriquement, ce qui garantit l'isolement de la dilution en cas de MDTE. Ceci permet donc d'assurer la sous-criticité du cœur pendant tout le transitoire.

4.5. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

Pour l'aspect « sous-criticité » : le dimensionnement des seuils de protection anti-dilution (voir [§ 1.1.1.](#), [§ 1.1.2.](#) et [§ 1.1.3.](#) ci-dessus) garantit que le cœur reste sous-critique dans les différents états envisagés, y compris en cas de MDTE (calculs de concentration en bore critique non impactés par la diminution du débit primaire consécutive au MDTE). En conséquence, à la fin de la phase court terme présentée dans le [§ 4.4.](#) ci-dessus, le réacteur est sous-critique. Les GV ou le RRA évacuent la puissance résiduelle. L'état contrôlé est atteint. La phase moyen terme qui consiste à atteindre l'état contrôlé fait partie de la phase court terme de cet accident.

Vis-à-vis des autres critères de sûreté, cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres accidents (appelées « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des critères « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité vers l'atmosphère » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces transitoires sont enveloppés par rapport à l'accident de « Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire avec cumul du MDTE » :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Rejet d'activité max.	(voir paragraphe 4.3 de la section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir paragraphe 7.4.3 de la section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : respect des critères « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme avec cumul du MDTE

Par ailleurs, suite à l'isolement de la charge RCV par la protection anti-dilution, en cas de présence cumulée d'un signal de protection anti-dilution et d'un signal de bas niveau pressuriseur (configuration caractéristique d'un dysfonctionnement de la régulation de niveau pressuriseur), un signal d'isolement de la décharge du RCV est généré. Le maintien de l'inventaire en eau est donc assuré.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 4.2. est donc vérifié.

4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Pour l'aspect « sous-criticité » : l'étude de la phase long terme réalisée sans prise en compte du MDTE (voir § 3.3.) est également valable avec cumul du MDTE : le dimensionnement des systèmes n'est pas impacté par le MDTE et les actions de conduite présentées prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE.

Vis-à-vis des autres critères de sûreté, cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres transitoires (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des critères « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces transitoires sont enveloppes par rapport à l'accident de « Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire avec cumul du MDTE » :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Rejet d'activité max.	(voir paragraphe 4.4 de la section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir paragraphe 7.5 de la section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : respect des critères « évacuation de la puissance résiduelle par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC »
et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme avec cumul du MDTE

Les actions de conduite permettant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont présentées dans le [§ 3.3.](#)

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 4.2.](#) est donc vérifié.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 25/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DE RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 26/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2R.1 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À
UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU
FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
CONCENTRATIONS EN BORE INITIALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 27/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 28/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 29/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 30/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2R.2 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À
UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU
FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
– CONCENTRATIONS EN BORE CRITIQUES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 31/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 32/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 33/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2R.3 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À
UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU
FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE LONG TERME –
VOLUMES ET DÉBITS REQUIS POUR L'ATTEINTE DE
L'ÉTAT ARRÊT SÛR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 34/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2R

PAGE 35/37

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2R.1 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU SIGNAL D'ANTI-DILUTION : ÉTATS CŒUR EN PUISSANCE

□

FIG-15.2.2R.2 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU SIGNAL D'ANTI-DILUTION : ÉTATS D'ARRÊT STANDARD

□

FIG-15.2.2R.3 DÉFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E) SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU SIGNAL D'ANTI-DILUTION : ÉTATS D'ARRÊT POMPES PRIMAIRES À L'ARRÊT

□

SOMMAIRE

.15.2.2S DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE AUGMENTATION OU UNE DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE	7
1. DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE	7
1.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	7
1.1.1. DÉFINITION	7
1.1.2. CAUSES	7
1.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	7
1.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	7
1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	9
1.3. MOYENS DE PROTECTION	10
1.4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ	10
1.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	10
1.5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	10
1.5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	10
1.5.3. RÉSULTATS	12
1.6. CONCLUSION ET ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	13
1.7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	14
1.7.1. CRITÈRES D'ÉTUDES	14
1.7.2. MOYENS DE PROTECTION	15
1.7.3. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	15
1.7.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	15
1.7.5. CONCLUSION	16
2. DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE	17
2.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	17
2.1.1. DÉFINITION	17
2.1.2. CAUSES	17

2.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	17
2.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	17
2.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	18
2.3. MOYENS DE PROTECTION	19
2.4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ	19
2.5. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	19
2.5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	19
2.5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	19
2.5.3. RÉSULTATS	21
2.6. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	21
2.7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	22
2.7.1. CRITÈRES D'ÉTUDES	22
2.7.2. MOYENS DE PROTECTION	23
2.7.3. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	23
2.7.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	24
2.7.5. CONCLUSION	25

TABLEAUX :

TAB-15.2.2S.1 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES – CAS INITIÉ À 100% PN	26
TAB-15.2.2S.2 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES – CAS INITIÉ À 70% PN	27
TAB-15.2.2S.3 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS INITIÉ À 100% PN	28
TAB-15.2.2S.4 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS INITIÉ À 70% PN	29
TAB-15.2.2S.5 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	30
TAB-15.2.2S.6 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS	31

FIGURES :

FIG-15.2.2S.1 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN
--

TERMES – PUISSANCES NUCLÉAIRES, PUISSANCES THERMIQUES CŒUR ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES – CAS INITIÉ À 100% PN.....	32
FIG–15.2.2S.2 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES – CAS INITIÉ À 100% PN	33
FIG–15.2.2S.3 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – PRESSION ET NIVEAU D’EAU DANS LE PRESSURISEUR – CAS INITIÉ À 100% PN	34
FIG–15.2.2S.4 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – VOLUME DE VAPEUR DANS LE PRESSURISEUR – CAS INITIÉ À 100% PN.....	35
FIG–15.2.2S.5 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – DÉBITS D’ASPERSION NORMALE ET PUISSANCES DES CHAUFFERETTES – CAS INITIÉ À 100% PN	36
FIG–15.2.2S.6 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – DÉBIT DE CHARGE ET DÉBITS D’INJECTION AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES – CAS INITIÉ À 100% PN	37
FIG–15.2.2S.7 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – PRESSIONS ET NIVEAUX D’EAU DANS LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR – CAS INITIÉ À 100% PN.....	38

FIG-15.2.2S.8 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – PUISSANCES NUCLÉAIRES, PUISSANCES THERMIQUES CŒUR ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES – CAS INITIÉ À 70% PN	39
FIG-15.2.2S.9 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES – CAS INITIÉ À 70% PN	40
FIG-15.2.2S.10 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – PRESSION ET NIVEAU D'EAU DANS LE PRESSURISEUR – CAS INITIÉ À 70% PN	41
FIG-15.2.2S.11 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – VOLUME DE VAPEUR DANS LE PRESSURISEUR – CAS INITIÉ À 70% PN	42
FIG-15.2.2S.12 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – DÉBITS D'ASPERSION NORMALE ET PUISSANCES DES CHAUFFERETTES – CAS INITIÉ À 70% PN	43
FIG-15.2.2S.13 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – DÉBIT DE CHARGE ET DÉBITS D'INJECTION AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES – CAS INITIÉ À 70% PN.....	44
FIG-15.2.2S.14 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN	

TERMES – PRESSIONS ET NIVEAUX D’EAU DANS LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR – CAS INITIÉ À 70% PN.....	45
FIG–15.2.2S.15 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – DIMINUTION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – PUISSANCE NUCLÉAIRE, PUISSANCE THERMIQUE CŒUR ET PUISSANCE LINÉIQUE	46
FIG–15.2.2S.16 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – DIMINUTION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES.....	47
FIG–15.2.2S.17 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – DIMINUTION DE L’INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – PRESSION ET NIVEAU D’EAU DANS LE PRESSURISEUR	48

.15.2.2S DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE AUGMENTATION OU UNE DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE

Les transitoires étudiés dans ce chapitre correspondent à un dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation ou une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire, alors que le réacteur est dans le domaine de fonctionnement défini par l'État A (de l'arrêt à chaud au fonctionnement à pleine puissance).

1. DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE

1.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1.1. DÉFINITION

On étudie un dysfonctionnement du RCV qui conduit à une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire, alors que le réacteur est dans les conditions de fonctionnement définies par l'État A.

1.1.2. CAUSES

Un dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire peut être provoqué par :

- une défaillance de la régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur conduisant à une diminution du débit de décharge, ou
- l'activation intempestive du signal « Isolement de l'enceinte de confinement phase 1 » conduisant à un isolement de la décharge, ou
- un dysfonctionnement de la vanne de détente Haute Pression entraînant un débit de décharge réduit, ou
- la fermeture intempestive :
 - d'une vanne d'isolement de la ligne de décharge se trouvant à proximité de la jonction à la boucle primaire 1, ou
 - d'une vanne d'isolement de la ligne de décharge Haute Pression en fonctionnement, ou
- le démarrage de la deuxième pompe de charge, ou
- un dysfonctionnement de la vanne de contrôle de la charge conduisant à une augmentation du débit de charge.

1.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

1.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

De l'initiateur à l'état contrôlé

Le dysfonctionnement du RCV conduit à une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire. Le débit injecté peut conduire à un léger refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur, donc à une insertion de réactivité par effet modérateur et, si le réacteur est initialement en puissance, à une légère augmentation de la puissance dans le cœur.

L'augmentation de l'inventaire en eau primaire provoque une augmentation de la pression primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur, amorcée plus ou moins rapidement selon le refroidissement causé par le débit injecté dans le circuit primaire. La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur ne fonctionnant plus normalement, les fonctions d'aide à l'opérateur demandent en particulier d'augmenter le débit de décharge, puis de fermer les vannes d'isolement de la ligne de charge pour

limiter l'augmentation de niveau. On suppose ici que ces actions ne sont pas réalisées ou sont inefficaces.

Si le réacteur est en arrêt à chaud, la mise en service automatique de l'aspersion normale par le système de régulation de la pression primaire limite l'augmentation de pression, et permet d'éviter la sollicitation des soupapes du pressuriseur. Le niveau d'eau dans le pressuriseur continue d'augmenter jusqu'à l'atteinte du signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max1p) qui conduit à l'isolement de la charge et du signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max2p) qui provoque l'arrêt de l'Injection aux Joints des Pompes Primaires (IJPP), ce qui permet d'éviter le remplissage du pressuriseur.

Si le réacteur est en puissance, l'aspersion normale limite la pression primaire, le niveau d'eau dans le pressuriseur augmente et active le signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max1p) qui provoque l'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) et l'isolement de la charge. Le seuil du signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max2p) étant placé au même niveau que le seuil Max1p et utilisant les mêmes capteurs, il est également sollicité à cet instant et conduit à l'isolement de l'IJPP, ce qui met fin à l'augmentation de la masse d'eau primaire.

La contraction du fluide primaire lors de la chute des grappes provoque une baisse temporaire de la pression primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur.

Côté secondaire, l'AAR provoque le déclenchement de la turbine, et concernant le système d'eau alimentaire, la fermeture des vannes réglantes et d'isolement de la ligne à grand débit. La montée en pression dans les Générateurs de Vapeur après le déclenchement de la turbine conduit à l'ouverture (seuil Max1p), GV par GV, des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA), en supposant le GCT (Groupe de Contournement de la Turbine au Condenseur) indisponible.

Si les vannes de contrôle du VDA sont suffisamment ouvertes au moment où les vannes d'isolement s'ouvrent et/ou si l'alimentation en eau des GV est excessive après AAR, une dépressurisation temporaire des générateurs de vapeur et une baisse supplémentaire de la température primaire peuvent être observées, ce qui limite la pression primaire et le niveau d'eau dans le pressuriseur. Ensuite, les vannes de contrôle de la décharge à l'atmosphère se ferment et la pression secondaire augmente de nouveau jusqu'à Max1p.

Si l'alimentation en eau des GV est excessive après AAR, le niveau d'eau dans les GV augmente et le signal « Haut Niveau GV » (seuil Max0p) est généré, il conduit à l'isolement des lignes petit et très petit débits ARE, GV par GV. En cas d'indisponibilité de l'eau alimentaire normale, le signal « Bas Niveau GV GL » (seuil Min2p) peut finalement être généré dans chaque GV et démarrer la pompe ASG correspondante.

Côté primaire, sous l'effet de la dilatation du fluide primaire, la pression et le niveau d'eau dans le pressuriseur augmentent de nouveau. La pression est limitée par l'aspersion normale (qui permet d'éviter la sollicitation des soupapes du pressuriseur). La température du fluide primaire se stabilise finalement aux conditions définies par la pression de consigne du VDA, et le niveau d'eau dans le pressuriseur se stabilise aussi.

L'état contrôlé est atteint, il correspond à un état d'arrêt à chaud, la puissance résiduelle étant évacuée par le circuit secondaire, avec un niveau d'eau dans le pressuriseur stable. Il convient de vérifier que le niveau se stabilise avant le remplissage du pressuriseur, et qu'on évite ainsi tout risque de sollicitation en eau des soupapes du pressuriseur, tout risque de rupture des disques du réservoir de décharge du pressuriseur, et donc tout risque de rejet dans l'enceinte de confinement.

De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

Pour rejoindre l'état d'arrêt sûr, qui correspond à un état d'arrêt à froid avec une évacuation durable de la puissance résiduelle par les échangeurs RIS-RA, les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA doivent être atteintes. Ces conditions sont :

- pression en branches chaudes du RCP < 32 bar abs ; et
- température à la sortie du cœur < 135°C.

La séquence d'opérations à appliquer par l'opérateur pour atteindre l'état d'arrêt sûr peut être divisée en deux phases :

Stabilisation :

Le but de cette phase est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Sur les critères « N PZR > $\square\%$ », le repli en arrêt à froid sur RIS-RA en mode RA est requis.

Passage en état de repli :

Au cours de cette phase, l'opérateur est amené à effectuer une borication à l'aide du RBS au cours du refroidissement. Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été injecté, le RBS est mis à l'arrêt. Le circuit primaire est dépressurisé par l'aspersion normale (dès lors que le niveau pressuriseur est ramené à une valeur inférieure à $\square\%$ au moyen du refroidissement primaire par le VDA) ou par les soupapes du pressuriseur en cas de cumul du MDTE (aspersion normale indisponible) et les accumulateurs sont isolés au cours de la dépressurisation.

Lorsque le circuit primaire atteint une pression de 32 bar abs et une température de 135° C, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée. Après la connexion du RIS-RA en mode RA, l'état d'arrêt sûr est atteint, il correspond à un état d'arrêt à froid, avec une évacuation durable de la puissance résiduelle par les échangeurs RIS-RA.

1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par (voir sous-chapitre 4.4) un critère RFTC supérieur à 1 car la chaîne bas RFTC est sollicitée.
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de décharge du pressuriseur sont sollicitées.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

1.3. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au [§ 1.2.1.](#), les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max1p),
- isolement de la charge sur signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max1p) par fermeture des vannes d'isolement de la charge,
- arrêt de l'Injection aux Joints des Pompes Primaires sur signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max2p) par arrêt des pompes de charge et fermeture de la vanne d'isolement,
- fermeture des vannes des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur compte-rendu d'AAR,
- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression secondaire » (seuil Max1p) GV par GV, et prépositionnement des vannes de contrôle du VDA en fonction du niveau de puissance,
- sollicitation du signal « Haut Niveau GV » (seuil Max0p) qui entraîne la fermeture des vannes d'isolement des lignes petit et très petit débits dans les GV correspondants si l'alimentation en eau des GV est excessive après AAR,
- démarrage des pompes ASG, GV par GV, sur signal « Bas Niveau GV GL » (seuil Min2p) si l'alimentation en eau des GV est insuffisante après AAR.

1.4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ

Pour couvrir tous les scénarios de charge excessive, on étudie un scénario très enveloppe, correspondant à l'isolement de la ligne de décharge cumulé à une pleine ouverture de la vanne de contrôle du débit de charge, alors que les deux pompes de charge Haute Pression sont en fonctionnement (phase de purification).

□

1.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

On suppose le réacteur initialement en puissance ; on vérifie que le refroidissement du fluide primaire provoqué par le débit excessif de charge ne conduit pas à une augmentation de puissance significative avant l'arrêt automatique du réacteur, ce qui permet de s'assurer de l'absence de crise d'ébullition et du respect du critère sur la puissance linéique maximale. On poursuit l'étude du transitoire jusqu'à l'intervention de l'opérateur, de façon à mettre en évidence l'état de remplissage du pressuriseur avant cette intervention, une fois que la température primaire est stabilisée par la pression secondaire maintenue à la pression de consigne du VDA.

1.5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

□

1.5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

1.5.2.1. État initial

□

Les tableaux [TAB-15.2.2s.1](#) et [TAB-15.2.2s.2](#) résument les conditions initiales retenues pour les cas étudiés.

1.5.2.2. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

□

La maintenance préventive concerne un des trains d’Alimentation de Secours des Générateurs de Vapeur. Elle n’impacte pas les transitoires présentés qui sont arrêtés à l’atteinte de l’état contrôlé, avant le démarrage de l’ASG.

1.5.2.3. Hypothèses cœur

Avant AAR, le refroidissement du fluide primaire à l’entrée du cœur associé au débit injecté par le RCV peut provoquer une petite insertion de réactivité par effet modérateur, et en conséquence une légère augmentation de puissance dans le cœur.

Les données neutroniques considérées minimisent cette insertion de réactivité avant AAR, pour augmenter le refroidissement du fluide primaire et augmenter la masse injectée par le RCV dans le circuit primaire avant la sollicitation du signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max1p) et du signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max2p) :

- coefficient de densité du modérateur minimal en valeur absolue,
- coefficient Doppler température minimal en valeur absolue,
- coefficient Doppler puissance minimal en valeur absolue,
- concentration en bore ρ (dans le circuit primaire et le RCV).

Ensuite pour accroître la puissance résiduelle après AAR, et accélérer la dilatation du fluide primaire :

- temps de chute des grappes maximal sans séisme,
- ρ

Les valeurs retenues sont les valeurs enveloppes (tous cycles).

ρ

1.5.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Le GCT est supposé indisponible.

Aucune action résultant des fonctions d’aide à l’opérateur n’est prise en compte.

La régulation par les grappes n’est pas prise en compte.

La régulation du niveau d’eau dans le pressuriseur n’est pas prise en compte.

La régulation de la pression primaire par les chaufferettes et l’aspersion normale est prise en compte, car l’aspersion normale (classée F1B) est valorisée en PCC2, et l’effet des chaufferettes est pénalisant car favorise la remontée en pression du circuit primaire. Un débit d’aspersion normale minimisé est considéré. La fonction d’aide à l’opérateur sur seuil de Haute Pression Pressuriseur Max2 est incluse dans cette régulation.

Le débit à la turbine est constant jusqu’au déclenchement de la turbine.

On suppose un débit ARE constant jusqu’au signal d’AAR puis nul après pour limiter le refroidissement du fluide primaire par le secondaire et obtenir une dilatation du volume primaire plus rapide (on notera toutefois que cette hypothèse ne modifie pas l’état final).

Le prépositionnement, classé F1A, des vannes de contrôle du VDA (fonction de l’évolution de la puissance dans le cœur) est pris en compte avant l’ouverture des vannes d’isolement du VDA. Une capacité minimale des vannes de contrôle du VDA est prise en compte de façon à limiter le refroidissement par le secondaire et à accélérer la dilatation du volume primaire.

La première soupape du pressuriseur s’ouvre à une pression de tarage minimale ρ .

1.5.2.5. Hypothèses protections

□

1.5.3. RÉSULTATS

Cas à 100% PN

Le cas d'étude initié à 100% PN est réalisé en cohérence avec l'état final de conception (cf. sous-chapitre 15.1).

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2s.3](#).

Les figures [FIG-15.2.2s.1](#) à [FIG-15.2.2s.7](#) présentent l'évolution des principaux paramètres.

À court terme, avant AAR, on vérifie que le refroidissement du fluide primaire à l'entrée de la cuve (voir [FIG-15.2.2s.2](#)), lié au débit excessif de charge à basse température, est limité ; il est sensiblement plus faible que celui observé avant AAR dans les scénarios d'augmentation excessive de débit vapeur qui font l'objet de la section 15.2.2d. Même en considérant, depuis l'état à pleine puissance, des données neutroniques qui auraient favorisé l'insertion de réactivité, l'augmentation de puissance dans le cœur qui en aurait résulté serait suffisamment faible ; il n'y a donc pas de risque vis-à-vis de la crise d'ébullition et vis-à-vis du critère de puissance linéique.

Le dysfonctionnement du RCV entraîne une augmentation du niveau d'eau dans le pressuriseur et une montée en pression du circuit primaire limitée par l'aspersion normale.

L'Arrêt Automatique du Réacteur est provoqué par le signal « Haut Niveau dans le Pressuriseur » (seuil Max1p).

L'isolement de la charge par le signal « Haut Niveau dans le Pressuriseur » (seuil Max1p) et l'isolement de l'IJPP par le signal « Haut Niveau dans le Pressuriseur » (seuil Max2p au même niveau que Max1p) ont lieu suffisamment tôt pour éviter un remplissage du pressuriseur et une sollicitation en eau des soupapes du pressuriseur au cours des transitoires étudiés : en effet les figures [FIG-15.2.2s.3](#) et [FIG-15.2.2s.4](#) montrent que quelques m³ de vapeur sont encore disponibles dans le pressuriseur lorsque la température primaire s'est stabilisée à une valeur imposée par la pression de consigne du VDA, et que la 1^{ère} soupape du pressuriseur n'est pas sollicitée. □ On écarte donc tout risque de rupture des disques du réservoir de décharge du pressuriseur et, par conséquent, tout rejet dans l'enceinte de confinement est écarté.

L'état contrôlé est atteint, il correspond à un état d'arrêt à chaud, la puissance résiduelle étant évacuée par le circuit secondaire.

Cas à 70% PN

Le cas d'étude initié à 70% PN a été réalisé sur la base d'un jeu de données intermédiaire (voir Annexe 15B), puis l'analyse des modifications apportées par l'état final de conception a permis de conclure à l'absence d'impact sur le respect des critères de sûreté.

Les résultats du calcul réalisé sur la base du jeu de données intermédiaire sont fournis dans le tableau [TAB-15.2.2s.4](#) pour la séquence des événements, et dans les figures [FIG-15.2.2s.8](#) à [FIG-15.2.2s.14](#) pour l'évolution des principaux paramètres.

Le déroulement du transitoire est identique à celui décrit pour le cas initié à 100% PN.

A court terme, de même que pour le cas à 100% PN, la couverture par rapport au scénario d'augmentation excessive du débit vapeur (section 15.2.2d) est assurée.

A moyen terme, la figure [FIG-15.2.2s.10](#) montre une marge importante \square entre le pic de pression au pressuriseur et le seuil d'ouverture de la première soupape du pressuriseur \square , ce qui garantit l'absence de risque de rupture des disques du réservoir de décharge du pressuriseur.

Mise en cohérence avec l'état final de conception :

Les modifications introduites entre le jeu d'hypothèses intermédiaire (voir ANNEXE 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (voir sous-chapitre 15.1) pouvant avoir un impact sur l'étude sont :

- la prise en compte de l'incertitude négative sur le prépositionnement des vannes de contrôle du VDA,
- l'ajout d'un générateur de fonction en entrée du régulateur PID de pression primaire afin d'introduire un gain variable en fonction de la déviation de pression primaire. Cette modification avance la mise en service des chaufferettes à pleine puissance en cas de diminution de pression primaire.

Ces modifications ne sont pas susceptibles d'entraîner une ouverture des soupapes du pressuriseur, étant donnée la marge en pression importante mentionnée plus haut. Le cas initié à 100% PN reste d'autre part le plus pénalisant vis-à-vis du respect du critère de sûreté à moyen terme.

1.6. CONCLUSION ET ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Les critères techniques d'acceptation liés à la crise d'ébullition et à la puissance linéique maximale sont respectés à court terme. Comme démontré dans le [§ 1.5.3.](#), la couverture est effectuée par le scénario d'augmentation excessive de débit vapeur qui vérifie ces critères (voir section 15.2.2d).

A moyen terme, le remplissage du pressuriseur est évité et les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, donc l'intégrité du RDP est assurée et aucun rejet radiologique dans l'enceinte de confinement ne se produit.

L'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité ($keff < 1$). La température du fluide primaire et le niveau d'eau dans le pressuriseur se stabilisent aux conditions définies par la pression secondaire. La puissance résiduelle est évacuée par les VDA. Toute injection au primaire ayant cessé, l'inventaire en eau du primaire est stable. L'état contrôlé est donc atteint et correspond à un état d'arrêt à chaud.

Aucune action opérateur n'est valorisée pendant les 30 minutes qui suivent le signal d'AAR. Seules les actions F1A ou F1B sont valorisées pour rejoindre l'état d'arrêt sûr.

L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle oriente l'opérateur vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle ». Au cours de cette phase, une stabilisation de la température en sortie cœur est demandée. Le module « contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte par l'ASG.

En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG, et dans la mesure où le GV associé est toujours utilisable \square , la surveillance de l'efficacité de l'ASG permet d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné, et un opérateur est chargé d'ouvrir les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

Dans la séquence réorientation, l'opérateur est orienté vers la stratégie « Passage en état de repli en conduite incidentelle » sur critère « Niveau Pressuriseur > \square % ».

Dès lors, l'opérateur effectue une borication du circuit primaire via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par l'ouverture contrôlée des vannes VDA. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si un seul train RBS est en service ou si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu à la valeur nominale grâce à l'ASG. Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été injecté, la borication est arrêtée. Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants.

Pour la dépressurisation primaire l'opérateur utilise l'aspersion normale, dès lors que le niveau pressuriseur est ramené à une valeur inférieure $\square\%$ au moyen du refroidissement par le VDA.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square bar abs.

Lorsque le circuit primaire atteint une pression de 32 bar abs, et une température en sortie cœur de 135°C, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée. La sous-criticité du cœur est garantie grâce au bore injecté par le RBS ($keff < 0,99$). Les soupapes pressuriseur ne sont pas sollicitées ce qui garantit l'absence de rejets radiologiques dans l'enclaustré. L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par le RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Vis-à-vis de la consommation en eau dans les bâches ASG pour rejoindre l'état d'arrêt sûr, ce transitoire, qui ne conduit pas à une dégradation précoce de l'inventaire en eau dans les générateurs de vapeur, est couvert par l'étude de perte de l'eau alimentaire normale des GV (voir section 15.2.2i).

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 1.2.2](#) est par conséquent vérifié.

1.7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des instants suivants : instant initial, instant du signal d'AAR ou instant du signal IS. Le signal IS n'étant pas sollicité sur ce transitoire, l'instant du signal IS n'est pas considéré. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans cette analyse et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

1.7.1. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Pour ce transitoire, on vérifie les critères techniques d'acceptation suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.

- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.7.2. MOYENS DE PROTECTION

Ils sont identiques à ceux décrits dans l'étude sans MDTE (voir § 1.3.). Il faut y ajouter les signaux d'AAR (F1A) suivants :

- « Très bas débit » dans 1 boucle sur 4 □,
- « Basse vitesse des GMPP » dans 2 boucles sur 4 □.

1.7.3. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

Sans cumul du MDTE, le débit injecté par le RCV dans le circuit primaire provoque un léger refroidissement du fluide primaire, et par effet modérateur, une augmentation de la puissance cœur très limitée. Il conduit également à une augmentation du niveau d'eau dans le pressuriseur et donc de la pression primaire, ce qui est favorable vis-à-vis du calcul du RFTC minimum.

Le refroidissement du fluide primaire étant plus prononcé dans l'étude d'augmentation excessive de débit vapeur (voir section 15.2.2d), il entraîne une insertion de réactivité dans le cœur sensiblement plus importante que celle observée dans la présente étude. De plus, la contraction du volume primaire causée par ce refroidissement entraîne une baisse de la pression primaire, ce qui est défavorable vis-à-vis du calcul du RFTC minimum.

Le transitoire de dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire, sans cumul du MDTE, est donc couvert par le transitoire d'augmentation excessive du débit vapeur sans cumul du MDTE. De plus, la réduction du débit primaire est similaire pour les deux événements entre l'instant du cumul du MDTE et l'instant du RFTC minimum (ce délai dépendant essentiellement du temps d'action des chaînes de protection et du temps de chute des grappes avec séisme). Par conséquent, la hiérarchie entre les deux accidents avec cumul du MDTE est conservée : avec cumul du MDTE, l'augmentation excessive de débit vapeur enveloppe le dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire.

1.7.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Le transitoire de dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire avec cumul du MDTE est similaire à celui de la perte des alimentations électriques externes de longue durée (PTAEE, section 15.2.3b) pour le long terme, avec un niveau d'eau dans le pressuriseur plus élevé et une puissance résiduelle équivalente.

En effet, à l'instant du MDTE, les pompes de charge s'arrêtent, ce qui provoque l'annulation de l'injection de la charge et de l'IJPP dans le circuit primaire après 5 s.

Si le cumul du MDTE est postulé à l'instant initial :

Les pompes de charge sont réalimentées par les diesels de secours après leur démarrage, et l'injection de la charge et de l'IJPP dans le circuit primaire reprend. Le niveau d'eau dans le pressuriseur augmente alors à nouveau jusqu'au franchissement des seuils de niveau pressuriseur Max1p et Max2p qui provoque la fermeture des vannes d'isolement de la charge et de l'IJPP et le déclenchement des pompes de charge. L'inventaire en eau du circuit primaire est stabilisé.

Si l'on considère le cumul du MDTE à l'instant de l'AAR :

Le seuil d'AAR par « Haut niveau pressuriseur » (Max1p) et le seuil d'isolement de l'IJPP (Max2p) étant calés sur la même valeur, l'émission du signal d'AAR entraîne automatiquement la fermeture des vannes d'isolement de la charge et de l'IJPP et le déclenchement des pompes de charge. Par conséquent, même après réalimentation des pompes de charge par les diesels de secours, elles ne redémarrent pas, et l'inventaire en eau du circuit primaire est stabilisé.

Dans les deux cas, l'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les VDA. L'inventaire en eau du primaire est stable. Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles étant démontré dans le [§ 1.7.3.](#), les rejets radiologiques restent tolérables. L'atteinte de l'état contrôlé présenté dans le [§ 1.7.1.](#) est assurée.

Dans le cœur, l'injection de la charge, avant le cumul du MDTE, a conduit à un refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur, ce qui a provoqué une insertion de réactivité par effet modérateur en partie compensée par l'effet Doppler. La puissance thermique cœur à l'instant de l'AAR a très faiblement augmenté, ce qui, sur la puissance résiduelle, rend négligeable l'écart par rapport à l'étude de PTAAE de longue durée.

L'atteinte de l'état d'arrêt sûr étant démontrée pour l'étude de PTAAE de longue durée (section 15.2.3b), il en est donc de même pour l'étude de dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire¹.

1.7.5. CONCLUSION

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles présentés dans le [§ 1.7.1.](#) étant démontré pour l'étude d'« Augmentation excessive du débit vapeur avec cumul du MDTE » (voir section 15.2.2d), il en est de même pour l'étude de « Dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire avec cumul du MDTE ».

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr présentés dans le [§ 1.7.1.](#) étant démontré pour l'étude de PTAAE de longue durée (voir section 15.2.3b), il en est de même pour l'étude de « Dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire avec cumul du MDTE ».

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 1.7.1.](#) est par conséquent vérifié.

1. Dans le cas de dysfonctionnement du RCV, l'inventaire en eau du primaire est légèrement plus important que dans le cas de la PTAAE longue durée en raison du remplissage du pressuriseur. La consommation d'ASG nécessaire au refroidissement de cette masse supplémentaire est négligeable par rapport à la masse d'ASG restante dans les bâches à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr de l'étude de PTAAE long terme.

2. DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE

2.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

2.1.1. DÉFINITION

On étudie un dysfonctionnement du RCV qui conduit à une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire, alors que le réacteur est dans les conditions de fonctionnement définies par l'État A.

2.1.2. CAUSES

Ce dysfonctionnement du RCV peut résulter :

- d'une défaillance de la régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur conduisant à une augmentation du débit de décharge, ou
- de l'activation intempestive du signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max1p) ou du signal « Haute Pression Branche Chaude » (seuil Max0p) entraînant l'isolement de la charge, ou
- du dysfonctionnement d'une ou des deux vannes de détente Haute Pression du circuit RCV provoquant une augmentation du débit de décharge, ou
- d'un arrêt intempestif des pompes de charge, ou
- de la fermeture intempestive :
 - de la vanne de contrôle sur la ligne de charge, ou
 - d'une vanne d'isolement enceinte sur la ligne de charge, ou
 - de la vanne d'isolement de la ligne de charge en amont de la séparation des lignes de connexion aux boucles primaires 2 et 4.

2.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

De l'initiateur à l'état contrôlé

Le dysfonctionnement du RCV conduit à une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire, donc à une baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une baisse de la pression primaire. La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur ne fonctionnant plus normalement, les fonctions d'aide à l'opérateur demandent en particulier de démarrer la deuxième pompe de charge, puis d'isoler la décharge pour limiter la baisse du niveau et protéger les équipements. On suppose ici que ces actions ne sont pas réalisées ou sont inefficaces.

Dans le cœur, si le réacteur est en puissance, la baisse de pression primaire provoque une légère diminution de la densité du modérateur, donc de la réactivité ; la contre-réaction par effet Doppler et l'extraction des grappes de contrôle compensent l'effet du modérateur en insérant de la réactivité ; en conséquence, la puissance dans le cœur reste constante, alors que la pression primaire diminue ; il existe donc un risque vis-à-vis de la crise d'ébullition. La limitation « Bas RFTC » peut être atteinte et provoquer un signal d'arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge à la turbine.

Si la limitation « Bas RFTC » n'est pas activée, l'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est provoqué :

- par le signal « Bas RFTC »,
- ou par le signal « Basse Pression Pressuriseur » (seuil Min2p).

Côté secondaire, l'AAR provoque le déclenchement de la turbine, et concernant le système d'eau alimentaire, la fermeture des vannes réglantes et d'isolement de la ligne à grand débit. La montée en

pression dans les générateurs de vapeur après le déclenchement de la turbine conduit à l'ouverture des vannes du GCT (Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur), ou à l'ouverture (seuil Max1p), GV par GV, des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA), si le GCT est indisponible. En cas d'indisponibilité de l'eau alimentaire normale, le signal « Bas Niveau GV » (seuil Min2p GL) peut être généré dans chaque GV et démarrer la pompe ASG correspondante.

Le refroidissement primaire induit par l'AAR conduit à une baisse du niveau pressuriseur jusqu'à l'activation du signal d'isolement de la décharge RCV sur « Bas niveau pressuriseur » (seuil Min1p) et compte rendu d'AAR. Cet isolement met fin à la diminution de la masse d'eau primaire, avant même l'activation du signal d'IS sur « Basse pression pressuriseur » (seuil Min3p).

Si la charge RCV et/ou l'IJPP sont initialement en fonctionnement (selon l'initiateur envisagé), l'isolement de la décharge RCV conduit alors à une augmentation de l'inventaire en eau du circuit primaire, jusqu'à la sollicitation des signaux d'isolement de la charge RCV sur « Haut niveau pressuriseur » (seuil Max1p) et/ou de l'IJPP sur « Haut niveau pressuriseur » (seuil Max2p). Cet isolement met fin alors à l'augmentation de la masse d'eau primaire, avec un niveau dans le pressuriseur stabilisé à une valeur élevée.

Si la charge RCV et l'IJPP ne fonctionnent pas initialement (selon l'initiateur envisagé), l'isolement de la décharge RCV conduit alors à une stabilisation de l'inventaire en eau du circuit primaire, encore peu dégradé.

Dans les deux situations, l'état contrôlé est atteint, il correspond à un état d'arrêt à chaud, la puissance résiduelle est évacuée par les générateurs de vapeur et l'inventaire en eau primaire est stable.

De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

L'état contrôlé est un état d'arrêt à chaud avec une marge à la saturation satisfaisante et un inventaire en eau peu dégradé (voire élevé) côté primaire.

L'opérateur est orienté vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle » puis vers la stratégie « Passage en état de repli » qui permet de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Il s'agira :

- d'assurer le refroidissement du fluide primaire par le secondaire, et la borication du circuit primaire par le RBS,
- de dépressuriser le circuit primaire par l'aspersion normale ou par les soupapes du pressuriseur en cas de cumul du MDTE (aspersion normale indisponible).

2.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par (voir sous-chapitre 4.4) un critère RFTC supérieur à 1 car la chaîne bas RFTC est sollicitée.
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée \bar{m} permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de décharge du pressuriseur sont sollicitées.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 1,0$.

- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

2.3. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au [§ 2.2.1.](#), les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (seuil Min2p), ou sur signal « Bas RFTC »,
- fermeture des vannes des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur compte-rendu d'AAR,
- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression secondaire » (seuil Max1p) GV par GV, et prépositionnement des vannes de contrôle du VDA en fonction du niveau de puissance,
- démarrage des pompes ASG, GV par GV, sur signal « Bas Niveau GV » (seuil Min2p GL) si l'alimentation en eau des GV n'est pas correctement assurée après AAR,
- isolement de la décharge RCV sur signal « Bas Niveau dans le Pressuriseur » (seuil Min1p) et compte-rendu d'AAR.

2.4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ

On étudie le scénario qui conduit à la dépressurisation primaire la plus rapide, donc à la diminution la plus rapide de la marge à la crise d'ébullition. Le scénario enveloppe retenu correspond à l'ouverture des deux vannes de détente Haute Pression du circuit RCV alors que les deux pompes de charge sont en fonctionnement.

□

2.5. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

2.5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

□

2.5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

2.5.2.1. État initial

On suppose le réacteur initialement à puissance maximale, en cycle naturel. Le tableau [TAB-15.2.2s.5](#) présente les conditions initiales retenues.

Le niveau GV initial est pris nominal car il n'a pas d'impact sur les grandeurs thermohydrauliques affectant le calcul du RFTC min. En effet, le RFTC min est atteint au début de la chute des grappes. Le

niveau GV reste constant jusqu'à cet instant et donc n'impacte ni la pressurisation du secondaire, ni la température primaire.

A pleine puissance, le fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par le transitoire réalisé en cycle naturel car il est initié à une température primaire inférieure (pour un même niveau de puissance et une pression primaire identique), ce qui est favorable vis à vis du RFTC.

Dans les conditions de fonctionnement en prolongation de cycle avec abaissement de la température moyenne primaire et de la puissance, l'effet favorable vis-à-vis du RFTC de la diminution de puissance et de température est prépondérant par rapport à l'effet pénalisant de la diminution de pression.

2.5.2.2. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

La grappe la plus anti-réactive est supposée bloquée hors du cœur, mais cette hypothèse, qui influence le transitoire quand les grappes ont commencé à chuter, n'est pas de nature à modifier la valeur du RFTC minimal, attendu au début de la chute des grappes.

Aucune maintenance préventive pénalisant le transitoire à court terme n'est identifiée.

2.5.2.3. Hypothèses cœur

□

Par ailleurs, pour maintenir une puissance cœur maximale avant le début de la chute des grappes, on retient un coefficient de densité du modérateur minimal. La valeur minimale enveloppe est nulle. En conséquence, la puissance cœur est constante jusqu'au début de la chute des grappes.

On retient par ailleurs les hypothèses qui limitent la baisse de puissance, donc l'augmentation du RFTC, lors de la chute des grappes :

- coefficients Doppler Puissance et Doppler Température maximaux en valeur absolue,
- temps de chute des grappes maximal sans séisme,
- □

On rappelle toutefois que ces hypothèses n'ont pas d'influence sur le RFTC minimal attendu au début de la chute des grappes.

□

2.5.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

La régulation par les grappes n'est pas considérée : elle n'aurait aucun effet, car la prise en compte d'un coefficient de densité du modérateur nul ne conduit à aucune variation de la puissance cœur et des températures primaires avant AAR.

La régulation de la pression par les chaufferettes n'est pas considérée, car elle limiterait la diminution de pression primaire.

Aucune action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur n'est prise en compte.

La limitation « Bas RFTC », qui provoque un signal d'arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge à la turbine n'est pas prise en compte.

Le débit à la turbine est constant jusqu'au déclenchement de la turbine.

On suppose un débit ARE constant jusqu'au signal d'AAR, puis nul après isolement des lignes à grand débit sur compte-rendu d'AAR (voir [§ 2.5.2.5.](#)).

On prend en compte la régulation de pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA (fonction de l'évolution de la puissance dans le cœur), classée F1A, avant ouverture des vannes d'isolement du VDA, avec une dynamique de fermeture sans retard par rapport à la baisse de puissance.

2.5.2.5. Hypothèses protections

□

2.5.3. RÉSULTATS

La séquence des événements liée à ce transitoire est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2s.6](#).

Les figures [FIG-15.2.2s.15](#) à [FIG-15.2.2s.17](#) présentent l'évolution des principaux paramètres.

L'AAR est provoqué par le signal « Bas RFTC ».

Le RFTC minimal est obtenu au début de la chute des grappes □ et vaut □. Le critère de 1,00 est donc respecté.

En considérant une puissance linéique initiale maximale de □ W/cm, la puissance linéique qui décroît au cours du transitoire reste inférieure à 590 W/cm (voir figure [FIG-15.2.2s.15](#)), donc ce critère est également respecté.

2.6. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

A court terme, les critères techniques d'acceptation liés à la crise d'ébullition et à la puissance linéique maximale sont respectés□.

Après la chute des grappes, le signal « Bas Niveau Pressuriseur » en présence du compte-rendu d'AAR est rapidement sollicité, il conduit à l'isolement de la décharge. Pour l'initiateur considéré (voir § [2.4.](#)), la charge étant en fonctionnement, l'inventaire en eau du circuit primaire augmente suite à l'isolement de la décharge jusqu'à l'atteinte du signal d'isolement de la charge sur « Haut niveau pressuriseur ». Néanmoins, le débit de charge étant égal à □ kg/s pour l'initiateur considéré (voir § [2.4.](#)), le transitoire est couvert par le transitoire d'augmentation de l'inventaire en eau du § [1.](#) □ vis-à-vis du risque de rupture du réservoir de décharge du pressuriseur. Les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, l'intégrité du RDP est assurée et aucun rejet radiologique dans l'enceinte de confinement ne se produit.

L'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité du cœur ($keff < 1$). L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les VDA. L'inventaire en eau du primaire est stable. L'atteinte de l'état contrôlé tel que décrit dans le § [2.2.2.](#) est assurée.

L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle oriente l'opérateur vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle ». Au cours de cette phase, une stabilisation de la température en sortie cœur est demandée. Le module « contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte par l'ASG.

En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG, et dans la mesure où le GV associé est toujours utilisable □, la surveillance de l'efficacité de l'ASG permet d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné, et un opérateur est chargé d'ouvrir les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

Dans la séquence réorientation, l'opérateur est orienté vers la stratégie « Passage en état de repli en conduite incidentelle » sur critère « Niveau Pressuriseur > □% », ou vers la stratégie « Borication en conduite incidentelle » sur des critères de « Niveau Pressuriseur < □% » et de « concentration en bore inférieure à la concentration en bore requise ».

En cas d'orientation vers la stratégie « Borication en conduite incidentelle », l'opérateur stabilise la température primaire et effectue une borication en utilisant le RBS. Dès que la concentration en bore atteint la concentration requise, l'opérateur est réorienté vers la stratégie « Stabilisation en Conduite

Incidentelle » dans laquelle il est réorienté vers la stratégie « Passage en état de repli en conduite incidentelle » sur critère « Niveau Pressuriseur > 100% » (le niveau pressuriseur ayant augmenté par le débit de borication).

Dans la stratégie « Passage en état de repli en conduite incidentelle », si la concentration en bore n'a pas atteint la concentration requise, l'opérateur effectue une borication du circuit primaire en utilisant le RBS.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par l'ouverture contrôlée des vannes VDA. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si un seul train RBS est en service ou si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu à la valeur nominale grâce à l'ASG. Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été injecté, la borication est arrêtée. Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants.

Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale (dès lors que le niveau pressuriseur est inférieur à 100% suite au refroidissement primaire par le VDA).

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous 10 bar abs.

Lorsque le circuit primaire atteint une pression de 32 bar abs, et une température en sortie cœur de 135°C, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée. La sous-criticité du cœur est garantie grâce au bore injecté par le RBS ($k_{eff} < 0,99$). Les soupapes pressuriseur ne sont pas sollicitées ce qui garantit l'absence de rejets radiologiques dans l'enclaustré. L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par le RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Vis-à-vis de la consommation en eau dans les bâches ASG pour rejoindre l'état d'arrêt sûr, cetransitoire, qui ne conduit pas à une dégradation précoce de l'inventaire en eau dans les générateurs de vapeur, est couvert par l'étude de perte de l'eau alimentaire normale des GV (voir section 15.2.2i).

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 2.2.2](#) est par conséquent vérifié.

2.7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de dysfonctionnement du RCV entraînant une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des instants suivants : instant initial, instant du signal d'AAR ou instant du signal IS. Le signal IS n'étant pas sollicité sur ce transitoire, l'instant du signal IS n'est pas considéré. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans cette analyse et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

2.7.1. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Pour ce transitoire, on vérifie les critères techniques d'acceptation suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.

- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

2.7.2. MOYENS DE PROTECTION

Les moyens de protection sont identiques à ceux décrits dans l'étude sans MDTE ([§ 2.3.](#)). Il faut y ajouter les signaux d'AAR (F1A) suivants :

- « Très bas débit » dans 1 boucle sur 4 .
- « Basse vitesse des GMPP » dans 2 boucles sur 4 .

2.7.3. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

La prise en compte d'un cumul du MDTE à l'instant initial entraîne la sollicitation du signal d'AAR par « Basse vitesse des GMPP » et la chute des grappes alors que la dépressurisation du circuit primaire par la décharge excessive a à peine débuté . Ce transitoire est donc similaire, vis-à-vis de la crise d'ébullition, à celui de la PTAAE de courte durée (section 15.2.2h) pour lequel le respect du critère de RFTC (critère pour transitoires PCC2) est démontré en considérant un temps de chute des grappes avec séisme. Les critères de sûreté PCC4 sont donc aussi nécessairement respectés.

Dans l'étude « Dysfonctionnement du RCV entraînant une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire » sans cumul du MDTE, l'AAR est provoqué par le signal « Bas RFTC ». Si le MDTE est considéré à l'instant du signal d'AAR, l'arrêt des pompes primaires a lieu alors que le RFTC a déjà diminué et est proche du critère. L'impact du MDTE postulé à cet instant est donc plus pénalisant que s'il était pris en compte dès l'instant initial.

Ce transitoire est couvert par l'étude « Transitoires de pression primaire (PCC2) avec cumul du MDTE » (section 15.2.2t). En effet, la dépressurisation engendrée par un débit de décharge excessif sans cumul du MDTE est légèrement plus lente (voir [FIG-15.2.2s.17](#)) que la dépressurisation provoquée par un débit maximal d'aspersion normale . Or une dépressurisation plus rapide pénalise la valeur du RFTC minimum.

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles présentés dans le [§ 2.7.1.](#) étant démontré pour les études de « PTAAE de courte durée

» (voir section 15.2.2h) et de « Transitoires de pression primaire (PCC2) avec cumul du MDTE » (voir section 15.2.2t), il en est de même pour l'étude de « Dysfonctionnement du RCV entraînant une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire avec cumul du MDTE ».

2.7.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Atteinte de l'état contrôlé

Le cumul du MDTE entraîne, en particulier, la perte des pompes primaires, la perte des pompes ARE et celle des pompes de charge.

Si le cumul du MDTE est postulé à l'instant initial :

L'AAR intervient rapidement sur signal de « Basse vitesse des GMPP » et provoque un refroidissement du fluide primaire par la chute des grappes. Le déclenchement de la turbine consécutif à l'AAR conduit à une dégradation de l'échange primaire / secondaire, et donc à un échauffement du fluide primaire. La dilatation du fluide côté primaire induite par cet échauffement est néanmoins compensée par le débit de décharge intempestif, ce qui réduit ainsi fortement le risque d'ouverture des soupapes du pressuriseur à court terme. La décharge intempestive se poursuit jusqu'à son isolement sur signal de « Bas niveau pressuriseur », tandis que l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les VDA côté secondaire.

Si la charge fonctionne initialement (selon l'initiateur envisagé), le MDTE entraîne l'arrêt des pompes de charge, mais leur relestage par les diesels de secours permet leur redémarrage. Dans ce cas, suite à l'isolement de la décharge, le remplissage du pressuriseur conduit à une augmentation de la pression et à une sollicitation des soupapes du pressuriseur, en l'absence d'aspersion normale. A terme, l'atteinte du signal de « Haut niveau pressuriseur » permet l'isolement de la charge, la pression et le niveau dans le pressuriseur se stabilisent alors.

Si la charge ne fonctionne pas initialement (selon l'initiateur envisagé), le MDTE entraîne l'arrêt des pompes de charge, qui ne peuvent être redémarrés par les diesels de secours (car l'initiateur peut porter sur un défaut des pompes de charge). Dans ce cas, suite à l'isolement de la décharge, la température et la pression primaire se stabilisent, sans sollicitation des soupapes du pressuriseur.

La mise en service de l'ASG sur signal de « Bas niveau GV » permet ensuite l'évacuation de la puissance résiduelle.

Si le cumul du MDTE est postulé à l'instant de l'AAR sur « Bas RFTC » :

Le déroulement du transitoire est alors équivalent à celui sans MDTE et sans la charge initialement en service (voir paragraphe 1 du sous-chapitre 2.2). Par rapport au cas sans MDTE, le cumul du MDTE à l'AAR va conduire en plus à un arrêt des GMPP à cet instant, mais l'ouverture des VDA suite au déclenchement de la turbine consécutif à l'AAR va permettre une évacuation rapide de la puissance résiduelle.

Dans les deux cas, l'insertion des grappes de l'AAR assure la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 1,0$) et l'inventaire en eau du primaire se stabilise. L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les VDA et l'ASG. Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles étant démontré dans le § 2.7.3., les rejets radiologiques restent tolérables. L'état contrôlé est donc atteint, il correspond à un état d'arrêt à chaud.

Atteinte de l'état d'arrêt sûr :

L'état contrôlé est un état d'arrêt à chaud, avec un inventaire en eau primaire peu dégradé et une marge à la saturation satisfaisante côté primaire.

L'état d'arrêt sûr est obtenu lorsque les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA sont atteintes, il correspond à un état d'arrêt à froid, avec une évacuation durable de la puissance résiduelle par les échangeurs RIS-RA.

L'opérateur intervient 30 minutes après l'AAR. L'opérateur est orienté vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle » puis vers la stratégie « Passage en état de repli » qui permet de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Il s'agira :

- d'assurer le refroidissement du fluide primaire par le secondaire, et la borication du circuit primaire par le RBS,
- de dépressuriser le circuit primaire par les soupapes du pressuriseur (l'aspersion normale n'étant pas disponible, et l'aspersion auxiliaire n'étant pas valorisée).

Le bore injecté permet d'assurer la sous criticité du cœur ($k_{eff} < 0,99$). La connexion du RIS-RA en mode RA permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Vis-à-vis de la consommation d'eau dans les bâches ASG, l'accident de dysfonctionnement du RCV entraînant une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire avec cumul du MDTE est couvert par l'incident de perte totale des alimentations électriques externes de longue durée (section 15.2.3b). En effet, la conduite mise en œuvre est similaire pour les deux événements et la dépressurisation primaire induite dans le cas de diminution de l'inventaire en eau permet d'atteindre plus rapidement les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, ce qui est favorable vis-à-vis de la consommation d'eau dans les bâches ASG.

2.7.5. CONCLUSION

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles présentés dans le [§ 2.7.1.](#) étant démontré pour les études de « PTAAE de courte durée » (voir section 15.2.2h) et de « Transitoires de pression primaire (PCC2) avec cumul du MDTE » (voir section 15.2.2t), il en est de même pour l'étude de « Dysfonctionnement du RCV entraînant une diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire avec cumul du MDTE ».

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est démontré dans le [§ 2.7.4.](#)

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 2.7.1.](#) est par conséquent vérifié.




TAB-15.2.2S.1 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV –
AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT
PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES –
CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES –
CAS INITIÉ À 100% PN

□




TAB-15.2.2S.2 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV –
AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT
PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES –
CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES –
CAS INITIÉ À 70% PN

□

**TAB-15.2.2S.3 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV –
AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT
PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES –
SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS INITIÉ À 100% PN**

Temps (s)	Évènement
0,0	Débit de charge 
400,1	Signal d'AAR sur « Haut Niveau Pressuriseur »
400,1	Isolement des lignes ARE à grand débit et, par découplage, des lignes à petit débit
	Début de la chute des grappes
	Déclenchement de la turbine
440,1	Isolement de la charge et de l'IJPP sur « Haut Niveau Pressuriseur »
687,7	Ouverture des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression secondaire »
724,6	Réouverture des vannes de contrôle du VDA
1500,0	Fin du transitoire

**TAB-15.2.2S.4 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV –
AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT
PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES –
SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS INITIÉ À 70% PN**

Temps (s)	Évènement
0,0	Débit de charge 
645,5	Signal d'AAR sur « Haut Niveau Pressuriseur »
645,5	Isolement des lignes ARE à grand débit et, par découplage, des lignes à petit débit
	Début de la chute des grappes
	Déclenchement de la turbine
685,5	Isolement de la charge et de l'IJPP sur « Haut Niveau Pressuriseur »
1603,2	Ouverture des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression secondaire »
1754,7	Réouverture des vannes de contrôle du VDA
2000,0	Fin du transitoire

**TAB-15.2.2S.5 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV –
DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT
PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – CONDITIONS
INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES**

□

**TAB-15.2.2S.6 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV –
DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT
PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS**

Temps (s)	Évènement
0,0	Débit de décharge constant □
119,0	Signal d'AAR sur « Bas RFTC »
119,0	Isolement des lignes ARE sur signal d'AAR
□	Début de la chute des grappes
119,5	RFTC minimum atteint □
□	Déclenchement de la turbine
127,3	Signal d'isolement de la décharge sur « Bas niveau pressuriseur »
□	Isolement de la décharge. Débit de charge constant □
161,7	Ouverture des VDA sur signal « Haute Pression secondaire »
200,0	Fin du transitoire

**FIG-15.2.2S.1 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – PUISSANCES NUCLÉAIRES,
PUISSANCES THERMIQUES CŒUR ET TEMPÉRATURES
MOYENNES PRIMAIRES – CAS INITIÉ À 100% PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2S

PAGE 33/48

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2S.2 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – TEMPÉRATURES BRANCHES
CHAUDES ET BRANCHES FROIDES – CAS INITIÉ À 100% PN**

□

**FIG-15.2.2S.3 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – PRESSION ET NIVEAU D'EAU DANS
LE PRESSURISEUR – CAS INITIÉ À 100% PN**

□

**FIG-15.2.2S.4 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – VOLUME DE VAPEUR DANS LE
PRESSURISEUR – CAS INITIÉ À 100% PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2S

PAGE 36/48

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2S.5 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – DEBITS D'ASPERSION NORMALE ET
PUISSANCES DES CHAUFFERETTES – CAS INITIÉ À 100% PN**

□

**FIG-15.2.2S.6 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – DÉBIT DE CHARGE ET DÉBITS
D'INJECTION AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES – CAS INITIÉ
À 100% PN**

□

FIG-15.2.2S.7 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – PRESSIONS ET NIVEAUX D'EAU DANS LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR – CAS INITIÉ À 100% PN

□

FIG-15.2.2S.8 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – PUISSANCES NUCLÉAIRES, PUISSANCES THERMIQUES CŒUR ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES – CAS INITIÉ À 70% PN

□

**FIG-15.2.2S.9 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – TEMPÉRATURES BRANCHES
CHAUDES ET BRANCHES FROIDES – CAS INITIÉ À 70% PN**

□

FIG-15.2.2S.10 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT ET MOYEN TERMES – PRESSION ET NIVEAU D'EAU DANS LE PRESSURISEUR – CAS INITIÉ À 70% PN

□

**FIG-15.2.2S.11 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – VOLUME DE VAPEUR DANS LE
PRESSURISEUR – CAS INITIÉ À 70% PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2S

PAGE 43/48

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–15.2.2S.12 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – DEBITS D'ASPERSION NORMALE ET
PUISSANCES DES CHAUFFERETTES – CAS INITIÉ À 70% PN**

□

**FIG–15.2.2S.13 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – DÉBIT DE CHARGE ET DÉBITS
D'INJECTION AUX JOINTS DES POMPES PRIMAIRES – CAS INITIÉ
À 70% PN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2S

PAGE 45/48

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–15.2.2S.14 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – AUGMENTATION
DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A
COURT ET MOYEN TERMES – PRESSIONS ET NIVEAUX D'EAU
DANS LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR – CAS INITIÉ À 70% PN**

□

FIG-15.2.2S.15 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – PUISSANCE NUCLÉAIRE, PUISSANCE THERMIQUE CŒUR ET PUISSANCE LINÉIQUE

□

FIG-15.2.2S.16 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES

□

FIG-15.2.2S.17 DYSFONCTIONNEMENT DU RCV – DIMINUTION DE L'INVENTAIRE EN EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – PRESSION ET NIVEAU D'EAU DANS LE PRESSURISEUR

□

SOMMAIRE

.15.2.2T TRANSITOIRES DE PRESSION DU CÔTÉ PRIMAIRE (ASPERSION INTEMPESTIVE AU PRESSURISEUR, RÉCHAUFFEMENT INTEMPESTIF DU PRESSURISEUR).	5
1. MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DES CHAUFFERETTES DU PRESSURISEUR	5
1.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	5
1.1.1. DÉFINITION	5
1.1.2. CAUSES	5
1.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES DE SURETE	5
1.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	5
1.2.2. CRITÈRES DE SÛRETÉ	5
1.3. MOYENS DE PROTECTION	6
1.4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ	6
1.5. ANALYSE DU TRANSITOIRE	6
1.5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	6
1.5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	7
1.5.3. RÉSULTATS	7
1.6. CONCLUSION ET ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	8
1.7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	8
1.7.1. CRITÈRES DE SÛRETÉ	9
1.7.2. MOYENS DE PROTECTION	9
1.7.3. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	9
1.7.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	10
1.7.5. CONCLUSION	10
2. MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION	10
2.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	10
2.1.1. DÉFINITION	10
2.1.2. CAUSES	11

2.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES DE SURETE	11
2.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	11
2.2.2. CRITÈRES DE SÛRETÉ	12
2.3. MOYENS DE PROTECTION	13
2.4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ	14
2.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	14
2.5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	14
2.5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	14
2.5.3. RÉSULTATS	15
2.6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET CONCLUSION	16
2.7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	18
2.7.1. CRITÈRES DE SÛRETÉ	18
2.7.2. MOYENS DE PROTECTION	19
2.7.3. INSTANT DU CUMUL DU MDTE	19
2.7.4. ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	19
2.7.5. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DES PHASES MOYEN TERME ET LONG TERME	21

TABLEAUX :

TAB-15.2.2T.1 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L’ASPERSION SANS CUMUL DU MDTE– DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D’ÉTUDES	23
TAB-15.2.2T.2 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L’ASPERSION SANS CUMUL DU MDTE – DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS	24
TAB-15.2.2T.3 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L’ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D’ÉTUDES	25
TAB-15.2.2T.4 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L’ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS	26

FIGURES :

FIG-15.2.2T.1 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L’ASPERSION SANS CUMUL DU MDTE – DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – PUISSANCE NUCLÉAIRE, PUISSANCE THERMIQUE CŒUR, TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES.....	27
FIG-15.2.2T.2 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L’ASPERSION SANS CUMUL DU MDTE – DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES ET PRESSION PRESSURISEUR	28
FIG-15.2.2T.3 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L’ASPERSION SANS CUMUL DU MDTE –	

DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – NIVEAU D'EAU DANS LE PRESSURISEUR.....	29
FIG–15.2.2T.4 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – TEMPÉRATURES MAXIMALES À L'INTÉRIEURE DE LA GAINÉ.....	30
FIG–15.2.2T.5 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – PUISSANCE NUCLÉAIRE, PUISSANCE THERMIQUE CŒUR ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES	31
FIG–15.2.2T.6 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES	32
FIG–15.2.2T.7 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – ÉTUDE A COURT TERME – PRESSION ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	33
FIG–15.2.2T.8 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – DÉBITS PRIMAIRES VOLUMIQUES EN ENTRÉE CŒUR.....	34

.15.2.2T TRANSITOIRES DE PRESSION DU CÔTÉ PRIMAIRE (ASPERSION INTEMPESTIVE AU PRESSURISEUR, RÉCHAUFFEMENT INTEMPESTIF DU PRESSURISEUR)

Les transitoires étudiés dans ce chapitre correspondent à la mise en service intempestive des chaufferettes du pressuriseur et à la mise en service intempestive de l'aspersion (normale ou auxiliaire), alors que le réacteur est dans le domaine de fonctionnement défini par l'État A (de l'arrêt à chaud au fonctionnement à pleine puissance).

1. MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DES CHAUFFERETTES DU PRESSURISEUR

1.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1.1. Définition

La mise en service intempestive des chaufferettes du pressuriseur est étudiée et provoque une augmentation de la pression primaire, alors que le réacteur est dans les conditions de fonctionnement définies par l'État A.

1.1.2. Causes

Ce transitoire peut être causé par :

- un dysfonctionnement du système de régulation de la pression du pressuriseur par les chaufferettes, ou
- un dysfonctionnement des fonctions d'aide à l'opérateur, ou
- une erreur de l'opérateur.

1.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES DE SURETE

1.2.1. Description du transitoire

La mise en service intempestive des chaufferettes du pressuriseur provoque une montée en pression du circuit primaire.

Si l'initiateur le permet, les chaufferettes sont arrêtées par le système de régulation de la pression primaire.

Dans tous les cas, l'aspersion normale est rapidement mise en service automatiquement. L'ouverture des vannes d'aspersion permet de mettre fin à cette augmentation de la pression primaire, qui va de nouveau se stabiliser autour de la pression de consigne.

Aucun signal de protection n'est généré et les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, le réacteur revient à son état de fonctionnement initial.

Si les chaufferettes n'ont pas été arrêtées automatiquement, l'opérateur pourra les arrêter après avoir détecté leur fonctionnement intempestif. En cas d'échec de cette action , il pourra arrêter le réacteur, et passer en état d'arrêt à froid si une intervention s'avère nécessaire.

1.2.2. Critères de sûreté

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par un critère RFTC supérieur à 1 car la chaîne bas RFTC est sollicitée (voir sous-chapitre 4.4).
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.
- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée de \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de décharge du pressuriseur sont sollicitées.

De plus, les critères de sûreté suivants doivent être respectés :

- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée.
- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'atteinte de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
- La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.3. MOYENS DE PROTECTION

Lorsque les chaufferettes sont mises en service de façon intempestive, la continuité de fonctionnement de la régulation de la pression primaire par l'aspersion normale permet de solliciter rapidement les vannes d'aspersion normale, classées F1B pour mettre fin à la surpression primaire.

Si la régulation de la pression par l'aspersion normale était inefficace, une fonction d'aide à l'opérateur (non classée) génèrerait automatiquement, suite au franchissement d'un seuil de pression dans le pressuriseur, des actions indépendantes de la régulation et prioritaires : elle donnerait l'ordre de pleine ouverture des vannes d'aspersion normale classées F1B, d'arrêt des chaufferettes proportionnelles et tout ou rien, et de mise en service de l'aspersion auxiliaire si l'aspersion normale ne fonctionnait pas normalement en raison d'une perte des GMPP (en 2/4).

Dans le cas où la fonction d'aide à l'opérateur serait inefficace, et où la pression primaire continuerait d'augmenter alors que le réacteur est en puissance, la chute des grappes serait provoquée par le signal d'AAR sur Haute Pression Pressuriseur (classé F1A). La contraction du fluide primaire qui suivrait conduirait à une baisse temporaire de la pression primaire.

Ces moyens limitent le risque de sollicitation de la première soupape du pressuriseur et de décharge de vapeur dans le réservoir de décharge du pressuriseur.

1.4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ

L'initiateur de cette étude est la mise en service intempestive de toutes les chaufferettes (proportionnelles ou tout ou rien) sans arrêt automatique, alors que le réacteur est en État A.

1.5. ANALYSE DU TRANSITOIRE

1.5.1. Méthodes et codes de calcul

On montre par argumentaire que la sollicitation de l'aspersion normale permet de mettre fin à la surpression provoquée par la puissance dégagée par les chaufferettes.

1.5.2. Hypothèses d'études

1.5.2.1. ÉTAT INITIAL

L'argumentaire couvre toutes les conditions de fonctionnement initiales définies par l'État A : arrêt et attente à chaud, fonctionnement à pleine puissance ou à puissance réduite en cycle naturel, fonctionnement en prolongation de cycle.

1.5.2.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE

□

Aucune maintenance préventive pénalisant le transitoire n'est identifiée.

1.5.2.3. HYPOTHÈSES CŒUR

L'argumentaire est indépendant des données neutroniques.

1.5.2.4. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS

Aucun système fluide autre que l'aspersion normale n'est utilisé dans l'argumentaire.

Aucune régulation n'est prise en compte dans l'argumentaire.

1.5.2.5. HYPOTHÈSES PROTECTIONS

Aucune protection n'est prise en compte dans l'argumentaire.

1.5.3. Résultats

La puissance dégagée par les chaufferettes, localisées dans la partie inférieure du pressuriseur, conduit à un échauffement de l'eau du pressuriseur et à une vaporisation qui se traduit par une augmentation de la pression dans le pressuriseur.

L'aspersion normale soutire de l'eau dans une branche froide qui est ensuite pulvérisée dans le pressuriseur ; cette eau se réchauffe et condense de la vapeur, ce qui conduit à une diminution de la pression dans le pressuriseur.

Pour compenser l'augmentation de la pression induite par la puissance des chaufferettes, le débit d'aspersion doit être au moins égal à celui fourni par l'équation :

$$Q_{\text{aspersion}} \times (H_{\text{liquide à saturation}} - H_{\text{liquide à Tbf}}) = P_{\text{chaufferettes}}$$

où :

- $P_{\text{chaufferettes}}$ est la puissance dégagée par toutes les chaufferettes, □,
- $Q_{\text{aspersion}}$ est le débit massique d'aspersion,
- $H_{\text{liquide à saturation}}$ est l'enthalpie de l'eau liquide à saturation dans le pressuriseur,
- $H_{\text{liquide à Tbf}}$ est l'enthalpie de l'eau injectée dans le pressuriseur à la température des branches froides.

Pour les conditions de fonctionnement définies par l'Etat A (fonctionnement en prolongation de cycle inclus), le terme $(H_{\text{liquide à saturation}} - H_{\text{liquide à Tbf}})$ est minimal avec les conditions de fonctionnement à basse charge en cycle naturel. Pour ces conditions,

- La pression dans le pressuriseur au moment où le débit d'aspersion compense l'effet des chaufferettes est supérieure à la pression minimale initiale de \square bar abs ; la prise en compte de cette valeur minimise l'enthalpie de saturation $H_{\text{liquide à saturation}}$ \square .
- La température en branche froide maximale (qui conduit à $H_{\text{liquide à Tbf}}$ maximale) est obtenue avec un débit primaire maximal et une surface d'échange primaire-secondaire réduite de \square , cette température est de \square , elle atteint la valeur maximale de \square °C ; $H_{\text{liquide à Tbf}}$ vaut alors \square kJ/kg.

En conséquence, la pression dans le pressuriseur est stabilisée ou décroît lorsque le débit d'aspersion est supérieur à \square kg/s.

Une seule ligne d'aspersion suffit pour délivrer ce débit, le débit minimal délivré par une ligne avec la vanne de régulation pleine ouverte étant de \square kg/s.

La mise en service de l'aspersion permet donc de rapidement mettre fin à l'augmentation de pression induite par la mise en service intempestive des chaufferettes ; les soupapes du pressuriseur ne seront donc pas sollicitées, et aucune décharge de vapeur dans le réservoir de décharge du pressuriseur n'aura lieu. Le transitoire ne donne lieu à aucun rejet radiologique à court terme et l'intégrité du RDP est garanti.

L'augmentation de la pression primaire liée à la mise en service des chaufferettes est favorable vis-à-vis du risque de crise d'ébullition et ne conduit pas à une augmentation significative de la puissance cœur. Les critères techniques d'acceptation liés à la crise d'ébullition et à la puissance linéique maximale sont donc respectés. Par ailleurs, l'inventaire en eau est stable et l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les générateurs de vapeur.

Le respect des critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 1.2.2.](#) est donc démontré.

1.6. CONCLUSION ET ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

La mise en service de l'aspersion permet de mettre fin à l'augmentation de pression induite par la mise en service intempestive des chaufferettes ; les soupapes du pressuriseur n'étant pas sollicitées, aucune décharge de vapeur dans le réservoir de décharge du pressuriseur n'a lieu et son intégrité est assurée. Le réacteur se stabilise dans un état en puissance.

Si les chaufferettes n'ont pas été arrêtées automatiquement, l'opérateur pourra les arrêter après avoir détecté leur fonctionnement intempestif. En cas d'échec des actions \square d'arrêt des chaufferettes, \square arrêter le réacteur, et passer en état de repli si une intervention s'avère nécessaire. L'utilisation des moyens de borication disponibles permet alors de garantir la sous-criticité du cœur. Vis-à-vis de la consommation en eau des bâches ASG, ce transitoire est couvert par l'étude de perte de l'eau alimentaire normale des GV (voir section 15.2.2i). En effet, dans ce transitoire, le repli peut être initié par l'opérateur juste après l'arrêt \square du réacteur, sans phase de stabilisation. A cet instant, l'inventaire en eau des bâches ASG est presque intact et donc bien supérieur à celui de l'étude de perte de l'eau alimentaire normale des GV au moment auquel le repli est initié. Le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 1.2.2.](#) est donc vérifié.

1.7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de mise en service intempestive des chaufferettes du pressuriseur. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des instants suivants : instant initial, instant du signal d'AAR ou instant du signal IS. Le transitoire de mise en service intempestive des chaufferettes n'entraîne ni signal d'AAR, ni signal IS, seul l'instant initial est donc à considérer. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans cette analyse et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

1.7.1. Critères de sûreté

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Pour ce scénario les critères techniques d'acceptation suivants sont vérifiés :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les transitoires rapides ne conduisant pas à une oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.7.2. Moyens de protection

L'aspersion normale est rapidement rendue indisponible par l'arrêt des pompes primaires due au MDTE.

L'Arrêt Automatique du Réacteur peut être sollicité par l'un des signaux (F1A) suivants :

- « très bas débit » dans 1 boucle sur 4 ;
- « basse vitesse des GMPP » dans 2 boucles sur 4 ;

1.7.3. De l'évènement initiateur à l'état contrôlé – Étude de la phase court terme

Sachant que la mise en service intempestive des chaufferettes sans cumul du MDTE n'entraîne pas d'Arrêt Automatique du Réacteur, ce cumul ne peut se faire qu'à l'instant initial.

En cas de MDTE, seules les chaufferettes TOR secourues sont disponibles après démarrage des diesels.

Le cumul du MDTE postulé à l'instant initial entraîne la perte des pompes primaires, ce qui conduit à une décroissance du débit primaire et à un échauffement du fluide primaire. L'AAR est rapidement provoqué par le signal « Basse Vitesse des GMPP », ce qui entraîne la chute des grappes s après le cumul du MDTE (voir section 15.2.2h, « Perte totale d'alimentation électrique externe de courte

durée »). Le risque d'atteinte de la crise d'ébullition existe tant que la puissance n'a pas suffisamment décréu.

Si le retestage des chaufferettes TOR secourues intervient avant l'atteinte du RFTC minimum, cet accident est alors couvert par l'étude de « Perte Totale des Alimentations Électriques Externes de courte durée » (PCC-2) (PTAEE) car la pression primaire est alors plus élevée à l'instant du RFTC minimum, ce qui est favorable vis-à-vis de la crise d'ébullition. Si le retestage des chaufferettes TOR secourues intervient après l'atteinte du RFTC minimum, cet accident, vis-à-vis de la crise d'ébullition, est alors équivalent à l'étude court terme de PTAEE. Celle-ci démontre le respect du critère PCC-2 sur le RFTC en considérant un temps de chute des grappes avec séisme. Après le cumul du MDTE, l'accident est assez rapide pour que les températures du combustible soient peu sensibles à la dégradation de l'évacuation de la puissance par le fluide primaire et qu'elles soient pilotées essentiellement par la puissance nucléaire qui ne fait que décroître. Il n'y a donc pas de problème de sûreté lié à la température du combustible pour l'accident de mise en service intempestive des chaufferettes avec cumul du MDTE. Ainsi, les critères PCC-4 pour la mise en service intempestive des chaufferettes avec cumul du MDTE sont respectés.

Les critères relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 1.7.1.) étant respectés (sous-criticité, inventaire en eau stable, rejets radiologiques tolérables et évacuation de la puissance résiduelle) pour le transitoire de PTAEE (voir section 15.2.2h), ils le sont également pour l'évènement de la mise en service intempestive des chaufferettes avec cumul du MDTE.

1.7.4. De l'évènement initiateur à l'état d'arrêt sûr – Étude de la phase long terme

Le cumul du MDTE postulé à l'instant initial conduit à un AAR par « Basse Vitesse des GMPP ». La perte des pompes primaires et celle des pompes ARE provoquent un échauffement du fluide primaire, donc une élévation du niveau d'eau dans le pressuriseur et une augmentation de la pression primaire. Les soupapes du pressuriseur peuvent être sollicitées régulièrement, elles permettent dans tous les cas de limiter la pression primaire, même après la réalimentation des chaufferettes TOR secourues par les diesels de secours.

La phase long terme de la mise en service intempestive des chaufferettes du pressuriseur avec cumul du MDTE est similaire à la phase long terme de la PTAEE de longue durée (section 15.2.3b). L'arrêt des chaufferettes est demandé au cours de la procédure Stabilisation en Conduite incidentelle pour une pression primaire supérieure à \square bar. La capacité en eau dans les bâches ASG étant suffisante pour rallier l'état d'arrêt sûr dans le cas de la PTAEE, elle l'est également pour la mise en service intempestive des chaufferettes du pressuriseur avec cumul du MDTE. L'utilisation des moyens de borication disponibles permet de garantir la sous-criticité du cœur lors du repli vers les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

Les critères relatifs à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr (voir § 1.7.1.) étant respectés (sous-criticité, rejets radiologiques tolérables et évacuation de la puissance résiduelle) pour le transitoire de PTAEE long terme (voir section 15.2.3b), ils le sont également pour l'évènement de la mise en service intempestive des chaufferettes avec cumul du MDTE.

1.7.5. Conclusion

L'analyse présentée aux § 1.7.3. et § 1.7.4. démontre que pour l'accident de mise en service intempestive des chaufferettes du pressuriseur avec cumul du MDTE, l'atteinte de l'état contrôlé puis de l'état d'arrêt sûr est garantie. L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 1.7.1. est donc respecté.

2. MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION

2.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

2.1.1. Définition

La mise en service intempestive de l'aspersion est étudiée, alors que le réacteur est dans les conditions de fonctionnement définies par l'État A.

2.1.2. Causes

Une aspersion intempestive dans le pressuriseur peut résulter :

- de l'ouverture intempestive d'une vanne de régulation de l'aspersion normale, ou
- d'un dysfonctionnement du système de régulation de la pression dans le pressuriseur par l'aspersion normale, ou
- d'un dysfonctionnement des fonctions d'aide à l'opérateur (aspersion normale ou aspersion auxiliaire), ou
- d'une erreur de l'opérateur (aspersion normale ou aspersion auxiliaire).

2.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES DE SURETE

2.2.1. Description du transitoire

De l'initiateur à l'état contrôlé

La mise en service intempestive de l'aspersion (normale ou auxiliaire) provoque une diminution de la pression primaire. Si le système de régulation de la pression par les chaufferettes fonctionne normalement, les chaufferettes proportionnelles puis les chaufferettes tout ou rien sont mises en service automatiquement. Si la régulation par les chaufferettes est défailante, la pression continue de diminuer. Les fonctions d'aide à l'opérateur demandent d'arrêter l'aspersion normale et l'aspersion auxiliaire, et de mettre en service les chaufferettes. On suppose ici que ces actions ne sont pas réalisées ou sont inefficaces.

Dans le cœur, si le réacteur est en puissance, la baisse de pression primaire provoque une légère diminution de la densité du modérateur, donc de la réactivité ; la contre-réaction par effet Doppler et l'extraction des grappes de contrôle compensent l'effet du modérateur en insérant de la réactivité ; en conséquence, la puissance dans le cœur reste constante, alors que la pression primaire diminue ; il existe donc un risque vis-à-vis de la crise d'ébullition. La limitation « Bas RFTC » peut être atteinte et provoquer un signal d'arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge à la turbine.

Si la limitation « Bas RFTC » n'est pas activée, l'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est provoqué :

- par le signal « Bas RFTC »,
- ou par le signal « Basse Pression Pressuriseur » (seuil Min2p).

Côté secondaire, l'AAR provoque le déclenchement de la turbine, et concernant le système d'eau alimentaire, la fermeture des vannes d'isolement des lignes à grand débit. La montée en pression dans les générateurs de vapeur après le déclenchement de la turbine conduit à l'ouverture des vannes du GCT (Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur), ou à l'ouverture (seuil Max1p), GV par GV, des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA), si le GCT est indisponible. Si la régulation du niveau d'eau dans les GV par les vannes réglantes de petit débit ARE ne fonctionne pas normalement, le petit débit ARE après la chute des grappes peut être excessif et conduire à l'isolement de l'ARE, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p). Après cet isolement, ou bien si la régulation de petit débit ARE n'assure pas un débit suffisant après la chute des grappes, le signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) peut être activé et démarrer, GV par GV, les pompes d'Alimentation de Secours des Générateurs de vapeur (ASG).

La pression primaire continue à décroître, et le signal d'Injection de Sécurité (signal IS) « Basse Pression Pressuriseur » (seuil Min3p) est activé. Il provoque en particulier le démarrage des 4 trains IS de Moyenne Pression (ISMP) et Basse Pression (ISBP), l'isolement de la charge du RCV, l'isolement du circuit primaire principal (conduisant en particulier à l'isolement de la décharge) et l'isolement de l'enceinte phase 1. L'isolement de la charge RCV inclut également l'isolement de l'aspersion auxiliaire, ce qui met fin à l'initiateur du transitoire dans le cas d'un démarrage intempestif de l'aspersion auxiliaire.

Lorsque la pression primaire passe en dessous du seuil Min4p de « Basse pression pressuriseur », le démarrage du RBS est activé.

Sur compte-rendu de signal IS, un refroidissement partiel du fluide primaire est amorcé : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA (et du GCT s'il est disponible) sont abaissés □ pour assurer un refroidissement du fluide primaire à la vitesse de 250°C/h.

Le refroidissement du fluide primaire a provoqué une baisse de la pression primaire, et les conditions d'injection des pompes ISMP sont atteintes, elles permettent de compenser la dépressurisation provoquée par l'aspersion.

Si l'aspersion est due à une mise en service intempestive de l'aspersion normale, sans intervention de l'opérateur, le niveau d'eau dans le pressuriseur va continuer à augmenter et les buses d'aspersion peuvent être noyées, l'aspersion devenant alors inefficace.

Lorsque l'aspersion cesse d'être opérationnelle ou efficace, la pression primaire augmente ; elle se stabilise, sans intervention de l'opérateur, dès que les seuils « Haut Niveau Pressuriseur » (seuils Max1p et Max2p) sont franchis (ils provoquent l'isolement de l'injection aux joints des pompes primaires, de la charge RCV et du RBS), et que la pression maximale de refoulement des pompes ISMP est atteinte (le débit fourni par ces pompes s'annule).

Dans le cas de la mise en service de l'aspersion normale, le pressuriseur peut être rempli en fin de phase automatique.

De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

L'état contrôlé est un état d'arrêt à chaud, avec un niveau d'eau dans le pressuriseur élevé, l'aspersion normale en service si elle n'a pas été isolée automatiquement et une marge à la saturation satisfaisante côté primaire.

L'opérateur est orienté vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle » puis, suivant la valeur de stabilisation de la pression primaire, vers la stratégie de « Passage en état de repli » □ ou vers la stratégie de « Passage à froid avec IS » □, qui permettent de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Il s'agira :

- d'assurer le refroidissement du fluide primaire par le secondaire, et la borication du circuit primaire par le RBS ;
- enfin de dépressuriser le circuit primaire :
 - avec les GMPP en service (cas sans MDTE), par l'aspersion normale au moyen de la commande TOR (classée F1B),
 - avec les GMPP arrêtées (cas avec MDTE), par l'ouverture des soupapes du pressuriseur (classées F1A), l'aspersion auxiliaire (classée F2) n'étant pas valorisable.

2.2.2. Critères de sûreté

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition assurée par (voir sous-chapitre 4.4) un critère RFTC supérieur à 1,0 car la chaîne bas RFTC est valorisée.
- L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. Le respect d'une valeur de puissance linéique maximale inférieure à 590 W/cm doit être démontré.

- L'intégrité du RDP doit être vérifiée. Le respect d'une valeur en masse de vapeur déchargée de \square permet d'assurer l'intégrité du RDP lorsque les soupapes de décharge du pressuriseur sont sollicitées.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

2.3. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au [§ 2.2.1.](#), les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (seuil Min2p), ou sur signal « Bas RFTC »,
- fermeture des vannes des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur compte-rendu d'AAR,
- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression secondaire » (seuil Max1p) GV par GV ainsi que le prépositionnement des vannes réglantes du VDA,
- isolement des lignes à petit débit de l'ARE, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (seuil Max0p),
- signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur » (seuil Min3p) qui provoque en particulier le démarrage des 4 trains ISMP et ISBP, isole la charge (incluant l'aspersion auxiliaire) ainsi que la décharge et provoque un isolement de l'enceinte phase 1,
- refroidissement partiel du circuit primaire sur signal IS par ouverture des vannes d'isolement et régulation de l'ouverture des vannes de contrôle du VDA,
- démarrage du RBS sur signal « Basse pression pressuriseur » (seuil Min4p),
- démarrage des pompes ASG, GV par GV, sur signal « Très Bas Niveau GV » (seuil Min2p) si l'alimentation en eau des GV n'est pas correctement assurée après AAR,
- sollicitation du signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max1p) après AAR, qui provoque l'isolement de la charge et du RBS,
- sollicitation du signal « Haut Niveau Pressuriseur » (seuil Max2p) après AAR, qui provoque l'arrêt de l'Injection aux Joints des Pompes Primaires (arrêt des pompes de charge) et la fermeture de la vanne d'isolement de la ligne IJPP.

2.4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ

On étudie le transitoire qui conduit à la dépressurisation primaire la plus rapide, donc à la diminution la plus rapide de la marge à la crise d'ébullition : il s'agit du blocage en position pleine ouverte des vannes de contrôle des deux lignes d'aspersion normale.

L'initiateur correspond donc à un débit d'aspersion normale maximal de 10 kg/s/ligne .

Bien qu'à température inférieure à celle de l'aspersion normale, l'aspersion auxiliaire, qui délivre un débit maximal beaucoup plus faible que celui délivré par les deux lignes d'aspersion normale conduirait à une dépressurisation moins rapide du circuit primaire.

2.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

2.5.1. Méthodes et codes de calcul

□ La simulation est arrêtée quelques secondes après le début de la chute des grappes, avant la sollicitation du signal IS.

□

2.5.2. Hypothèses d'études

2.5.2.1. ÉTAT INITIAL

On suppose le réacteur initialement à puissance maximale, en cycle naturel. Le tableau [TAB-15.2.2t.1](#) présente les conditions initiales retenues.

A pleine puissance, le fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par le transitoire réalisé en cycle naturel car il est initié à une température primaire inférieure (pour un même niveau de puissance et une pression primaire identique), ce qui est favorable vis-à-vis du RFTC.

Dans les conditions de fonctionnement en prolongation de cycle avec abaissement de la température moyenne primaire et de la puissance, l'effet favorable vis-à-vis du RFTC de la diminution de puissance et de température est prépondérant par rapport à l'effet pénalisant de la diminution de pression.

2.5.2.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La grappe la plus anti-réactive est supposée bloquée hors du cœur ; mais cette hypothèse, qui influence le transitoire quand les grappes ont commencé à chuter, n'est pas de nature à modifier la valeur du RFTC minimal, attendu au début de la chute des grappes.

Aucune maintenance préventive pénalisant le transitoire n'est identifiée.

2.5.2.3. HYPOTHÈSES CŒUR

□

Par ailleurs, pour maintenir une puissance cœur maximale avant le début de la chute des grappes, on retient un coefficient de densité du modérateur minimal. La valeur minimale enveloppe est nulle. En conséquence, la puissance cœur est constante jusqu'au début de la chute des grappes.

On retient par ailleurs les hypothèses qui limitent la baisse de puissance, donc l'augmentation du RFTC, lors de la chute des grappes :

- coefficients Doppler Puissance et Doppler Température maximaux en valeur absolue,
- temps de chute des grappes maximal sans séisme,
- loi de puissance résiduelle □.

Ces hypothèses n'ont toutefois pas d'influence sur le RFTC minimal attendu au début de la chute des grappes.

2.5.2.4. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS

La régulation par les grappes n'est pas considérée : elle n'aurait aucun effet, car la prise en compte d'un coefficient de densité du modérateur nul ne conduit à aucune variation de la puissance cœur et des températures primaires avant AAR.

La régulation de la pression par les chaufferettes n'est pas considérée, car elle limiterait la diminution de pression primaire.

Aucune action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur n'est prise en compte.

La limitation « Bas RFTC », qui provoque un signal d'arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge à la turbine n'est pas prise en compte.

Le débit à la turbine est constant jusqu'au déclenchement de la turbine.

Le débit ARE est supposé constant jusqu'au signal d'AAR, puis nul après isolement des lignes à grand débit sur compte-rendu d'AAR (voir [§ 2.5.2.5.](#)).

La régulation de pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA (fonction de l'évolution de la puissance dans le cœur), classée F1A, est prise en compte avant ouverture des vannes d'isolement du VDA avec une dynamique de fermeture sans retard par rapport à la baisse de puissance. L'incertitude relative à la consigne de pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA est aussi prise en compte pour minimiser l'ouverture initiale de ces vannes.

2.5.2.5. HYPOTHÈSES PROTECTIONS

Les deux signaux d'AAR modélisés sont :

- le signal « Bas RFTC » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
seuil étude :
- le signal « Basse Pression Pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
seuil Min2p : bar abs (incertitude en ambiance normale)

Le déclenchement de la turbine a lieu avec un retard minimal de 2,5 s après le signal d'AAR.

Concernant le circuit d'eau alimentaire normale, l'isolement des lignes à grand débit sur compte-rendu d'AAR (signal F1A) est supposé avoir lieu sans retard à l'obtention du signal d'AAR.

Les caractéristiques prises en compte pour le signal « Haute Pression secondaire » (classé F1A), qui conduit à l'ouverture des vannes d'isolement du VDA, sont les suivantes :

- seuil Max1p : bar abs (incertitude en ambiance normale),
-
-

La simulation s'arrête avant sollicitation du signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur » (seuil Min3p).

2.5.3. Résultats

La séquence des événements liée à ce transitoire est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2t.2.](#)

Les figures [FIG-15.2.2t.1](#) à [FIG-15.2.2t.3](#) présentent l'évolution des principaux paramètres.

L'AAR est provoqué par le signal « Bas RFTC ».

Le RFTC minimal est obtenu au début de la chute des grappes \square . Le critère de 1,00 est donc respecté.

En considérant une puissance linéique initiale maximale de \square W/cm, la puissance linéique, qui décroît au cours du transitoire, reste inférieure à 590 W/cm donc ce critère est aussi respecté.

Les événements qui suivent la chute des grappes sont décrits au [§ 2.2.1](#) : le signal IS « Basse Pression Pressuriseur Min3p » est sollicité, il provoque le refroidissement partiel du fluide primaire par l'ouverture contrôlée du VDA ; l'accélération de la dépressurisation primaire qui en résulte permet aux pompes ISMP d'injecter dans le circuit primaire et de mettre fin à la dépressurisation primaire provoquée par l'aspersion ; le niveau d'eau dans le pressuriseur augmente, l'aspersion normale cesse d'alimenter le pressuriseur lorsque les buses d'aspersion sont noyées, puis la pression primaire augmente jusqu'à la pression de refoulement les pompes ISMP qui cessent alors d'injecter dans le circuit primaire.

La chute des grappes et le bore injecté par l'IS maintiennent la sous-criticité du circuit primaire. Au cours du transitoire, le cœur n'a pas été endommagé et les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées. Cela garantit l'absence de rejets radiologiques et la stabilité de l'inventaire primaire en eau. La puissance résiduelle est évacuée à moyen terme par les générateurs de vapeur. En conséquence, les critères techniques d'acceptation sont respectés et l'état contrôlé est atteint. Il correspond à un état d'arrêt à chaud, avec un niveau d'eau dans le pressuriseur élevé, l'aspersion normale en service et une marge à la saturation satisfaisante côté primaire.

2.6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET CONCLUSION

A l'état contrôlé, en l'absence de brèche primaire, le réacteur est stabilisé à une pression primaire supérieure à 80 bar abs.

L'opérateur est donc orienté vers une stratégie de « Stabilisation en conduite incidentelle » dans laquelle il réalise un Test d'Intégrité du Primaire (TIP) qui a pour but de déterminer si le signal IS émis est intempestif ou surabondant, ou s'il est dû à la présence d'une petite brèche primaire.

La charge, la décharge et l'aspersion auxiliaire ont été isolées automatiquement suite au signal IS. Le RBS est mis à l'arrêt afin d'éviter de faire varier le niveau du pressuriseur. La température primaire est stabilisée pour s'affranchir de la contraction du circuit primaire.

Lors du test d'intégrité primaire, deux cas sont envisagés :

- Si la pression primaire se stabilise au dessus de \square bar abs, le circuit primaire est considéré intègre. L'ISMP et l'ISBP sont mis à l'arrêt. L'opérateur reste en conduite incidentelle.
- Si la pression primaire se stabilise en dessous de \square bar abs, le RCV (non classé) n'étant pas valorisable, le TIP échoue et le circuit primaire est jugé « non intègre ». L'opérateur est alors redirigé en conduite accidentelle.

En conduite incidentelle :

Une fois le test d'intégrité primaire réalisé, l'opérateur entre dans la phase de réorientation.

Le passage à l'état de repli est initié au plus tard sur un critère de faible volume d'eau dans les bâches ASG et seule une pompe primaire est laissée en service.

Au moins une GMPP étant en service, le passage à l'arrêt à froid est conduit par un refroidissement et une dépressurisation du circuit primaire pour rejoindre l'état d'arrêt intermédiaire sur générateurs de vapeur aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Une borication du circuit primaire est réalisée via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise.

En parallèle, le refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- -25°C/h si un train RBS est en service ou si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,
- -50°C/h si le volume de bore requis par la conduite a été injecté et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

La dépressurisation du primaire est effectuée par l'aspersion normale au moyen de la commande TOR (classée F1B) en maintenant le ΔT_{sat} cœur dans une cible du domaine de fonctionnement (P, T).

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square bar abs. Lorsque la température et la pression primaire atteignent 180°C et 32 bar abs, l'opérateur valide le permissif P14.

L'état d'arrêt sûr est obtenu lorsque les conditions de connexion au RIS-RA en mode RA sont atteintes. Celles-ci correspondent à une pression en branche chaude de 32 bar abs et une température en branche chaude de 135°C .

En conduite accidentelle :

Suite au test d'intégrité (le circuit primaire étant diagnostiqué non intègre), l'opérateur est orienté vers une stratégie de « Passage à froid avec IS ».

Une borication du circuit primaire est réalisée via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- -25°C/h si un seul train RBS est en service ou si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,
- -50°C/h si le volume de bore requis par la conduite a été injecté et que le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

Pendant le refroidissement, pour permettre la dépressurisation du circuit primaire, les pompes ISMP sont basculées séquentiellement sur leurs grandes lignes à débit nul tout en respectant un critère de marge à la saturation qui garantit la sous-saturation du fluide primaire après le basculement.

La pression primaire étant stable, les GMPP ne sont pas arrêtés avant le basculement de la dernière pompe ISMP sur sa grande ligne à débit nul. La dernière pompe ISMP est basculée sur un critère de température en sortie cœur \square garantissant une bonne marge à la saturation après le basculement.

La dépressurisation du circuit primaire est réalisée par l'aspersion normale au moyen de la commande TOR (classée F1B).

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square bar abs. Lorsque la température et la pression primaire atteignent 180°C et 32 bar abs, l'opérateur valide le permissif P14.

Ensuite, en fonction du nombre de trains RIS-RA en service en mode IS et de la marge à la saturation, l'opérateur peut demander le basculement d'un train RIS-RA non requis en mode IS en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Consommation en eau des bâches ASG :

Vis-à-vis de la consommation en eau dans les bâches ASG pour rejoindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, ce transitoire est couvert par l'étude de perte de l'eau alimentaire normale des GV (voir section 15.2.2i). En effet, le refroidissement partiel provoqué par la sollicitation du signal IS sur le moyen terme de ce transitoire permet de rapprocher les grandeurs thermohydrauliques du circuit primaire des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA. Le temps pendant lequel l'ASG alimente les GV avant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est donc réduit par rapport à l'étude de perte de l'eau alimentaire normale des GV. La capacité d'eau dans les bâches ASG est donc suffisante pour rallier l'état d'arrêt sûr.

Conclusion

Pour le transitoire de mise en service intempestive de l'aspersion, le respect des critères techniques d'acceptation liés à la crise d'ébullition et à la puissance linéique maximale est assuré. La chute des grappes et l'apport de bore par l'IS assurent la sous-criticité du cœur à court terme. La baisse de la pression primaire prévient toute sollicitation des soupapes du pressuriseur, ce qui garantit la stabilité de l'inventaire primaire en eau et l'absence de rejets radiologiques. L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée via les générateurs de vapeur. L'état contrôlé est atteint.

A long terme, la mise en œuvre des moyens de borication disponibles assure une sous-criticité suffisante. La non sollicitation des soupapes garantit l'absence de rejet radiologique. La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. La puissance résiduelle est alors évacuée de façon pérenne. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2.2](#) est donc respecté.

2.7. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de mise en service intempestive de l'aspersion. Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des instants suivants : instant initial, instant du signal d'AAR ou instant du signal IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans cette analyse et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

2.7.1. Critères de sûreté

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Pour ce scénario les critères techniques d'acceptation suivants sont vérifiés :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les transitoires rapides ne conduisant pas à une oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique. $k_{eff} < 1,0$
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

2.7.2. Moyens de protection

Ils sont identiques à ceux décrits dans l'étude sans MDTE (§ 2.3.). Il faut y ajouter les signaux d'AAR (F1A) suivants :

- « très bas débit » dans 1 boucle sur 4 ; □,
- « basse vitesse des GMPP » dans 2 boucles sur 4 ; □

2.7.3. Instant du cumul du MDTE

L'analyse est effectuée à court terme vis-à-vis de la crise d'ébullition.

□

2.7.4. Étude de la phase court terme

2.7.4.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

□

□ La simulation est arrêtée quelques secondes après le début de la chute des grappes, avant la sollicitation du signal IS.

□

2.7.4.2. ÉTAT INITIAL

Le réacteur est supposé initialement à puissance maximale, en cycle naturel. Le tableau [TAB-15.2.2t.3](#) présente les conditions initiales retenues.

A pleine puissance, le fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par l'étude réalisée en cycle naturel car il est initié à une température primaire inférieure (pour un même niveau de puissance et une pression primaire identique), ce qui est favorable vis-à-vis du RFTC.

Dans les conditions de fonctionnement en prolongation de cycle avec abaissement de la température moyenne primaire et de la puissance, l'effet favorable vis-à-vis du RFTC de la diminution de puissance et de température est prépondérant par rapport à l'effet pénalisant de la diminution de pression.

2.7.4.3. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La grappe la plus anti-réactive est supposée bloquée hors du cœur.

Aucune maintenance préventive pénalisant l'accident n'est identifiée.

2.7.4.4. BTGV

Un BTGV de □ % est considéré. En effet, le BTGV implique une masse primaire réduite, ce qui diminue l'inertie thermique du fluide primaire. A l'instant de la perte des pompes primaires due au

MDTE, la température moyenne du fluide primaire augmente alors plus rapidement, ce qui pénalise le RFTC_{min}.

2.7.4.5. HYPOTHÈSES CŒUR

□

Par ailleurs, pour maintenir une puissance cœur maximale avant le début de la chute des grappes, le coefficient de densité du modérateur est retenu minimal. La valeur minimale enveloppe est nulle. En conséquence, la puissance cœur est constante jusqu'au début de la chute des grappes.

Par ailleurs les hypothèses qui limitent la baisse de puissance, donc l'augmentation du RFTC, lors de la chute des grappes sont retenues :

- coefficients Doppler Puissance et Doppler Température maximaux en valeur absolue,
- temps de chute des grappes maximal avec séisme,
- loi de puissance résiduelle □.

2.7.4.6. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS

Les hypothèses systèmes fluides et régulations sont celles du cas sans MDTE décrites au [§ 2.5.2.4.](#)

□

Concernant l'alimentation normale en eau des GV, l'annulation du débit ARE est supposée avoir lieu sans retard après cumul du MDTE.

La régulation de pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA (fonction de l'évolution de la puissance dans le cœur), classée F1A, est prise en compte avant ouverture des vannes d'isolement du VDA avec une dynamique de fermeture sans retard par rapport à la baisse de puissance. L'incertitude relative à la consigne de pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA est aussi prise en compte pour minimiser l'ouverture initiale de ces vannes.

L'inertie des pompes primaires est considérée minimale pour une décroissance du débit primaire plus rapide après cumul du MDTE.

2.7.4.7. HYPOTHÈSES PROTECTIONS

Les deux signaux d'AAR modélisés sont :

- le signal « Bas RFTC » (classé F1A), □
□
□
- le signal « Basse Pression Pressuriseur » (classé F1A), □
 - □
 - □

□

- seuil Max1p : □ bar abs (incertitude en ambiance normale),
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal □.
- dynamique d'ouverture de la vanne d'isolement du VDA : □.

2.7.4.8. RÉSULTATS

Le [TAB-15.2.2t.4](#) présente la séquence des événements pour l'accident pénalisant avec cumul du MDTE. L'évolution des principaux paramètres de l'accident est présentée sur les figures [FIG-15.2.2t.4](#) à [FIG-15.2.2t.8](#).

□ Le débit primaire décroît alors et les pompes ARE ne sont plus alimentées. Le cumul du MDTE provoque un échauffement du fluide primaire, une augmentation du niveau d'eau dans le pressuriseur et une montée en pression du circuit primaire.

Le RFTC minimum est atteint à 106,2 s et □ % des crayons entrent en crise d'ébullition (NCE) au cours de l'accident, ce qui est inférieur au critère technique d'acceptation relatif aux accidents PCC-4 (NCE inférieur à 10 %).

La température maximale de la gaine atteinte au cours de l'accident est de □°C (inférieure à 1482°C) et le pourcentage en volume de combustible fondu est de □ % (inférieure à 10 %). L'évolution de la température interne de la gaine est présentée sur la figure [FIG-15.2.2t.4](#). Les critères relatifs à la tenue du combustible pour les accidents PCC-4 sont donc respectés.

2.7.5. De l'événement initiateur à l'état d'arrêt sûr – Étude des phases moyen terme et long terme

Atteinte de l'état contrôlé :

Si le cumul du MDTE est postulé à l'instant initial ou à l'instant du signal d'AAR, la perte des pompes primaires rend l'aspersion normale rapidement inefficace. L'étude de la phase long terme de la mise en service intempestive de l'aspersion avec cumul du MDTE est donc similaire à celle de la PTAAE de longue durée (section 15.2.3b) dans ce cas.

Si le cumul du MDTE est postulé à l'instant du signal IS, la perte des pompes primaires conduit à la perte de l'aspersion normale. Dans un premier temps, le fluide primaire s'échauffe, le niveau d'eau dans le pressuriseur et la pression primaire augmentent. La première soupape du pressuriseur pourrait être sollicitée. Mais, sur compte-rendu de signal IS, un refroidissement partiel du fluide primaire est amorcé : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA sont abaissés □ pour assurer un refroidissement du fluide primaire à la vitesse de 250° C/h. Le refroidissement du fluide primaire provoque une baisse de la pression primaire, et les conditions d'injection des pompes ISMP sont atteintes, elles permettent de compenser cette dépressurisation.

La pression primaire se stabilise à la pression de refoulement des pompes ISMP.

La chute des grappes et le bore injecté par l'IS maintiennent la sous-criticité. Au cours de l'accident, l'endommagement du cœur reste limité (voir [§ 2.7.4.8.](#)), ce qui garantit l'absence de rejets radiologiques. L'inventaire en eau du primaire est stable et la puissance résiduelle est évacuée à moyen terme par les générateurs de vapeur. En conséquence, l'état contrôlé est atteint. Il correspond à un état d'arrêt à chaud.

Atteinte de l'état d'arrêt sûr :

L'état contrôlé est un état d'arrêt à chaud, avec une marge à la saturation satisfaisante côté primaire.

L'opérateur est orienté vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle » puis, suivant la valeur de stabilisation de la pression primaire, vers la stratégie de « Passage en état de repli » □ ou vers la stratégie de « Passage à froid avec IS » □, qui permettent de rejoindre les conditions de connexion du RIS/RA en mode RA. Il s'agira :

- d'assurer le refroidissement du fluide primaire par le secondaire, et la borication du circuit primaire par le RBS,

- enfin de dépressuriser le circuit primaire par l'ouverture des soupapes du pressuriseur (classées F1A), l'aspersion normale n'étant pas utilisable (GMPP arrêtés) et l'aspersion auxiliaire (classée F2) n'étant pas valorisable.

L'ISMP et l'ISBP ont été mis à l'arrêt suite au test d'intégrité du primaire dans le cas de la stratégie de « Stabilisation en conduite incidentelle ».

Sinon, dans le cadre de la stratégie de « Passage à froid avec IS », pour permettre la dépressurisation du circuit primaire, l'ouverture des grandes lignes à débit nul des trains ISMP est réalisée progressivement sur un critère de marge à la saturation qui garantit la sous-saturation du fluide primaire.

Vis-à-vis de la consommation d'eau dans les bâches ASG, l'accident de mise en service intempestive de l'aspersion normale avec cumul du MDTE est couvert par l'accident de perte totale des alimentations électriques externes de longue durée (section 15.2.3b). En effet, le refroidissement partiel provoqué par la sollicitation du signal IS sur le moyen terme de cet accident permet de rapprocher les grandeurs thermohydrauliques du circuit primaire des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA. Le temps pendant lequel l'ASG alimente les GV avant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est donc réduit par rapport à l'étude de perte totale des alimentations électriques externes de longue durée. La capacité d'eau dans les bâches ASG est donc suffisante pour rallier l'état d'arrêt sûr.

Conclusion

Ainsi, en cas de mise en service intempestive de l'aspersion avec cumul du MDTE, les critères techniques d'acceptation liés aux dommages sur les assemblages combustibles sont respectés. La chute des grappes assure la sous-criticité du cœur à court terme. La baisse de la pression primaire prévient toute sollicitation des soupapes du pressuriseur, ce qui garantit la stabilité de l'inventaire primaire en eau et l'absence de rejets radiologiques. L'évacuation de la puissance résiduelle est alors possible via les générateurs de vapeur et l'état contrôlé est atteint.

A long terme, la mise en œuvre des moyens de borication disponibles assure une sous-criticité suffisante. La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. La puissance résiduelle est alors évacuée de façon pérenne et l'absence de rejets radiologiques assure l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.7.1](#) est donc respecté.

TAB-15.2.2T.1 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE –
MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION SANS
CUMUL DU MDTE- DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME –
CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

□

TAB-15.2.2T.2 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE –
MISE EN SERVICE INTEPESITIVE DE L'ASPERSION SANS
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME –
SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS

Temps (s)	Événement
0,0	Ouverture intempestive des vannes de contrôle des 2 lignes d'aspersion
□	Signal d'AAR sur « Bas RFTC »
103,4	Isolement des lignes ARE sur signal d'AAR
□	Début de la chute des grappes
104,1	RFTC minimum atteint □
□	Déclenchement de la turbine (vannes fermées)
144,9	Ouverture des VDA sur signal « Haute Pression secondaire »
200,0	Fin du transitoire



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2T

PAGE 25/34

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2T.3 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE –
MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME –
CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES**

□

TAB-15.2.2T.4 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE –
MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC
CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME –
SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS

Temps (s)	Événement
0,0	Ouverture intempestive des vannes de contrôle des 2 lignes d'aspersion
101,8	Atteint du seuil d'AAR « Bas RFTC »
□	□
□	signal d'AAR par « Bas RFTC »
□	Début de la chute des grappes
□	Déclenchement de la turbine (vannes fermées)
106,2	RFTC minimum atteint □
115,2	Ouverture des VDA sur signal « Haute Pression secondaire »
130,0	Fin du transitoire



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2T

PAGE 27/34

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2T.1 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – PUISSANCE NUCLÉAIRE, PUISSANCE THERMIQUE CŒUR, TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2T

PAGE 28/34

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2T.2 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES ET PRESSION PRESSURISEUR

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2T

PAGE 29/34

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2T.3 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION SANS CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME –NIVEAU D'EAU DANS LE PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2T

PAGE 30/34

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2T.4 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – TEMPÉRATURES MAXIMALES À L'INTÉRIEURE DE LA GAINÉ

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2T

PAGE 31/34

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2T.5 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – PUISSANCE NUCLÉAIRE, PUISSANCE THERMIQUE CŒUR ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES

□

FIG-15.2.2T.6 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2T

PAGE 33/34

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.2T.7 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – ÉTUDE A COURT TERME – PRESSION ET NIVEAU PRESSURISEUR

□

FIG-15.2.2T.8 TRANSITOIRES DE PRESSION PRIMAIRE – MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION AVEC CUMUL DU MDTE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE A COURT TERME – DÉBITS PRIMAIRES VOLUMIQUES EN ENTRÉE CŒUR

□

SOMMAIRE

.15.2.2V BAISSÉ INCONTRÔLÉE DU NIVEAU PRIMAIRE (ÉTATS C3, D, E) .	4
1. ÉTATS C3, D	4
1.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	4
1.1.1. DÉFINITION	4
1.1.2. CAUSES	4
1.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	4
1.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	4
1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	4
1.3. MOYENS DE PROTECTION	5
1.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	5
1.4.1. MÉTHODE	5
1.4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	5
1.4.3. RÉSULTATS	7
1.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	7
1.6. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	8
1.6.1. CRITÈRES D'ÉTUDES	9
1.6.2. MOYENS DE PROTECTION	9
1.6.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	9
1.6.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	13
1.7. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE	14
1.8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION .	14
1.9. CONCLUSION	15
2. ÉTAT E	15
2.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	15
2.1.1. DÉFINITION	15
2.1.2. CAUSES	15
2.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	16
2.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	16
2.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	16

2.3. MOYENS DE PROTECTION	16
2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	17
2.4.1. MÉTHODE	17
2.4.2. ÉTAT INITIAL	17
2.4.3. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	17
2.4.4. HYPOTHÈSES CŒUR	18
2.4.5. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE	18
2.5. RÉSULTATS	19
2.5.1. ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE AVEC TUBE DE TRANSFERT FERMÉ (COMMANDE GROUPEE NON ACTIVÉE)	19
2.5.2. ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE AVEC TUBE DE TRANSFERT OUVERT ET ÉTAT E CHARGEMENT – DÉCHARGEMENT (COMMANDE GROUPEE ACTIVÉE)	19
2.6. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	20
2.6.1. CRITÈRES D'ÉTUDE	20
2.6.2. MOYENS DE PROTECTIONS	20
2.6.3. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	20
2.6.4. RÉSULTATS	22
2.7. CONCLUSION	24
A- -15.2.2V.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS EN ÉTATS C3, D	31
A- -15.2.2V.2 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS EN ÉTAT E	32

TABLEAUX :

TAB-15.2.2V.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE LORS DES ÉTATS D'ARRÊT C3 ET D À L'INSTANT INITIAL	25
TAB-15.2.2V.2 HYPOTHÈSES CONCERNANT LES ÉCHANGEURS RRI/ RRA	26
TAB-15.2.2V.3 MOMENTS D'ENTRÉE DANS L'ÉTAT C3 (DESCENTE ET REMONTÉE).....	27
TAB-15.2.2V.4 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE EN ÉTAT E À L'INSTANT INITIAL	28

FIGURES :

FIG-15.2.2V.1 INCERTITUDE SUR LES SEUILS BAS NIVEAU BOUCLE ET TRÈS BAS NIVEAU BOUCLE	29
FIG-15.2.2V.2 ÉTAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES BR ET BK.....	30

.15.2.2V BAISSÉ INCONTRÔLÉE DU NIVEAU PRIMAIRE (ÉTATS C3, D, E)

1. ÉTATS C3, D

L'étude a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée en se basant sur un jeu de données intermédiaire (Annexe 15B). Puis l'analyse des modifications introduites ultérieurement permet de justifier l'atteinte des critères de sûreté.

1.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1.1. DÉFINITION

Le transitoire à prendre en compte dans les états C3 et D est la baisse incontrôlée de niveau primaire durant le fonctionnement en mode RA à un niveau primaire réduit (fonctionnement à 3/4 boucle).

Un fonctionnement à 3/4 boucle est nécessaire afin d'évacuer les incondensables des parties hautes du circuit primaire, et particulièrement des tubes en U des générateurs de vapeur durant la mise sous vide lors du démarrage du réacteur. Il en est de même pour vidanger le pressuriseur et purger le couvercle de la cuve du réacteur avec de l'azote avant ouverture lors d'un arrêt du réacteur (états C3 et D). Ce fonctionnement est aussi nécessaire pour maintenir le niveau d'eau en dessous d'un niveau maximal dans le circuit primaire durant la maintenance des générateurs de vapeur ou même des pompes primaires.

L'expérience d'accidents et d'incidents durant cette phase de fonctionnement permet de savoir que la plupart d'entre eux ont été causés par des problèmes liés aux mesures et au contrôle du niveau. Par conséquent, les conditions de fonctionnement, les modes de surveillance de ces modes opératoires et les dispositions nécessaires pour éviter et maîtriser les conséquences d'une vidange intempestive du circuit primaire sont prises en compte de manière spécifique.

1.1.2. CAUSES

Les causes les plus probables d'une baisse incontrôlée du niveau primaire sont :

- une erreur de l'opérateur lors de la vidange manuelle du circuit primaire au 3/4 boucle,
- un dysfonctionnement de la régulation de niveau conduisant à une décharge excessive par la ligne BP du RCV.

Cet événement fait partie de la catégorie PCC-2.

1.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

1.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

Le niveau primaire initial est considéré à 3/4 boucle. Trois trains RIS-RA en mode RA sont initialement en fonctionnement et permettent de maintenir la température du circuit primaire sous 55°C.

Le quatrième train est en attente en mode ISBP.

Une défaillance se produit au niveau de la régulation de niveau boucle. De façon conservatrice, le débit de vidange retenu est le débit maximal autorisé de la décharge RCV.

1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté relatifs aux PCC-2 à vérifier sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.3. MOYENS DE PROTECTION

Suite à la baisse de niveau, le signal IS est sollicité sur un seuil de bas niveau boucle (Min1p), conduisant à l'isolement CPP, et en particulier à l'isolement de la décharge RCV.

1.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Ce paragraphe présente l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B).

1.4.1. MÉTHODE

L'objectif de l'étude est de montrer qu'en cas de baisse incontrôlée du niveau primaire dans les états C3 et D, les actions automatiques permettent a minima de maintenir l'inventaire en eau, et en particulier d'éviter l'arrêt automatique des trains RIS-RA sur signal de très bas niveau boucle (seuil Min2p).

De cette façon, les moyens d'évacuation de la puissance totale ne sont pas stoppés et l'état d'arrêt sûr est garanti.

Il s'agit donc d'évaluer le délai (noté Δt_{seuil}) entre le franchissement du seuil IS sur bas niveau boucle, et l'atteinte du seuil d'arrêt automatique des trains RIS-RA. Ce délai est évalué d'une part sur la base d'un débit de fuite maximal et d'autre part sur le volume d'eau primaire qu'il faut vidanger pour passer d'un seuil à l'autre.

1.4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

1.4.2.1. ÉTAT INITIAL

Le transitoire se produit dans les états d'arrêt C3 et D.

Divers sous-états de l'état C3 sont définis :

- primaire fermé : état Ca4,
- primaire refermable : état Cb1,
- après rupture de l'intégrité primaire, primaire partiellement refermable : état Cb2,
- couvercle de cuve dégoujonné mais non levé : état Cb3.

L'état D débute à la levée du couvercle de cuve. À partir de ce moment, le primaire est ouvert sur la piscine du Bâtiment Réacteur.

Les principales caractéristiques à l'instant initial des états C3 et D sont présentées dans le [TAB-15.2.2v.1](#). Les caractéristiques sont prises lors de l'arrêt de la tranche (à la descente) de façon à maximiser la puissance totale à évacuer.

En états C3 et D, la concentration initiale en bore du primaire est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

L'impact de la baisse incontrôlée de niveau primaire lors de la remontée de la tranche en puissance est également étudié.

□

1.4.2.2. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS

1.4.2.2.1. Trains RIS-RA

Trois trains RIS-RA en mode RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial ; le quatrième train est quant à lui supposé en attente en mode ISBP.

1.4.2.2.2. Pompes ISMP

Les pompes ISMP démarrées sur signal de bas niveau boucle (seuil Min1p) sont créditées dans l'étude. La loi d'injection est prise minimale (grande ligne à débit minimum ouverte) pour pénaliser l'appoint d'eau au primaire.

1.4.2.2.3. Signaux de protection

Les signaux de protection pris en compte sont les suivants :

- signal IS sur bas niveau en branche chaude (seuil Min1p) dans 2 boucles sur 4 □,

□

- signal d'arrêt automatique des 4 pompes ISBP sur très bas niveau en branche chaude (seuil Min2p) dans 2 boucles sur 4 □.

Ces signaux sont classés F1A.

Les principales actions initiées sur signal IS sont :

- mise en route des 4 trains ISMP en configuration grande ligne à débit minimum ouverte,
- isolement CPP :
 - isolement de la décharge RCV,
 - □.

Une incertitude sur la mesure de niveau boucle est prise en compte. □.

1.4.2.2.4. RCV

Pour pénaliser la baisse de l'inventaire en eau, la charge est supposée inefficace. Le débit de décharge maximal retenu en cas de défaillance RCV est de □ kg/s.

1.4.2.3. HYPOTHÈSES COEUR

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

1.4.2.4. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Aucune maintenance préventive n'est prise en compte.

L'aggravant est postulé sur une pompe ISMP.

1.4.3. RÉSULTATS

1.4.3.1. À LA DESCENTE

En considérant un débit de décharge maximal en cas de défaillance du RCV, la diminution de l'inventaire en eau est stoppée avant le franchissement du seuil d'arrêt des trains RIS-RA.

Plus précisément le temps qui sépare le franchissement du seuil de démarrage IS de celui du seuil d'arrêt des trains RIS-RA (Δt_{seuil}) est de 49 secondes. Ce temps est calculé à partir du volume séparant les seuils de bas et de très bas niveau boucle et du débit déchargé du RCV. Or, la décharge est isolée \square secondes ($= t_1 + t_2 + t_D$) après le franchissement du seuil d'IS par bas niveau boucle. Par conséquent la diminution de l'inventaire en eau est stoppée avant le franchissement du seuil d'arrêt des trains RIS-RA ; il n'y a donc aucun découvrement du cœur au cours du transitoire. Les trains RIS-RA restant en service, la puissance résiduelle reste évacuée.

Parallèlement, l'obtention du plein débit d'IS, \square s après le franchissement du seuil, permet de restaurer et de stabiliser l'inventaire en eau du circuit primaire (la décharge étant isolée suite au signal d'IS).

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur tout au long du transitoire et pas de production de vapeur, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est donc atteint.

1.4.3.2. À LA REMONTÉE

Le cas de la remontée est couvert par la descente lorsque la pression de fonctionnement dans le CPP est de 1,0 bar, du fait d'une puissance totale à évacuer réduite.

Dans l'état C3, la pression primaire à la remontée peut se trouver à une valeur de 0,2 bar (tirage au vide). Dans ces conditions, la température de saturation du primaire est de 60°C. Trois trains RIS-RA en mode RA permettent cependant d'évacuer la puissance totale \square . De plus, la diminution préventive du débit dans les trains RIS-RA (du fait d'une pression dans le primaire subatmosphérique, cf. [TAB-15.2.2v.2](#)) permet d'éviter tout phénomène de cavitation. Ce cas est également couvert par l'étude réalisée à la descente (voir [§ 1.4.3.1.](#)).

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) étant vérifié pour le cas à la descente ([§ 1.4.3.1.](#)), il le sera également pour le cas à la montée. L'état contrôlé est donc atteint.

1.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Ce paragraphe présente l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B).

Les trains RIS-RA initialement en service demeurent en fonctionnement, ce qui permet le maintien de l'évacuation de la puissance totale dans les mêmes conditions qu'avant le transitoire.

Toutefois, la mise en service automatique de l'IS sur signal de bas niveau boucle conduit au remplissage du circuit primaire, ainsi qu'à l'entrée en conduite post-accidentelle. En l'absence d'autres informations caractéristiques, l'opérateur procède à un Test d'Intégrité Primaire (T.I.P.), une fois les paramètres primaires (P, niveau) stabilisés. Ce test a pour objectif d'identifier si la baisse de l'inventaire en eau du CPP, qui a conduit au signal IS, est imputable à une brèche isolable, non isolable, ou à un problème lié au RCV.

Lors du T.I.P., l'opérateur s'appuie sur la mesure de pression primaire en branche chaude (état C3, refermable ou non refermable), ainsi que sur la mesure de niveau piscine (état D).

Déroulement du T.I.P. :

- **En état C3** : lors du T.I.P, l'IS est maintenu en service. Lorsque les trains RIS-RA n'ont pas été stoppés sur protection de très bas niveau boucle (ce qui est le cas ici), [] , et observe la pression primaire ; si elle augmente de plus d'une valeur seuil [] , le train porte une brèche ; si le test est négatif, [] et poursuit le test sur le train RIS-RA suivant. Ici en l'occurrence, il n'y aura pas de hausse significative de pression liée à un isolement de brèche. Les tests sur les trains seront donc négatifs.

Dans le sous-état Ca4, le T.I.P réalisé sur les trains RIS-RA étant déclaré négatif, [] . La perte d'inventaire en eau étant stoppée suite au signal IS, l'inventaire en eau du primaire est stable et il n'y a aucun découvrément du cœur.

Dans le sous-état Cb1, une fois le T.I.P déclaré négatif, [] . La pression et l'inventaire en eau se maintiennent ; [] toutes les pompes ISMP. La décharge BP ayant été isolée suite au signal IS (voir [§ 1.4.3.](#)), l'inventaire en eau du primaire est stable et il n'y a aucun découvrément du cœur.

Dans les sous-états Cb2 et Cb3 où le degré d'ouverture du primaire, rendu non intègre par une ou plusieurs ouvertures sur le couvercle (événement, ou étanchéité enlevée), ne permet pas de réaliser le T.I.P de façon sûre, l'IS est stoppée sous réserve d'un niveau boucle supérieur ou égal à 100%. Aucun train RIS-RA n'est alors arrêté par l'opérateur, la puissance totale demeure évacuée avec un ΔP_{sat} suffisant en branche chaude. Le niveau est ensuite surveillé. L'eau primaire cherchera un équilibre hydrostatique éventuel avec la piscine par les ouvertures, mais ne descendra pas sous le PJC (Plan de Joint de Cuve), dans la mesure où les lignes de vidange de la piscine BR, encore ouvertes, sont piquées sur le fond de la piscine à hauteur du PJC. Il n'y a donc aucun découvrément du cœur.

L'opérateur peut alors conclure à l'intégrité du primaire.

- **En état D** : [] dès que le niveau piscine préconisé est atteint. Les lignes de vidange piscine étant fermées, le niveau d'eau piscine doit se maintenir en l'absence de brèche primaire. Dans le cas présent, le niveau ne variera pas puisque le transitoire a été résolu dès l'isolement automatique de la décharge RCV.

L'opérateur conclut donc à l'intégrité du primaire.

Dans les états C3/D, au moins deux trains RIS-RA en mode RA évacuent la puissance en assurant des conditions satisfaisantes de marge à la saturation dans les branches chaudes pour le fonctionnement des trains RIS-RA (voir section 15.2.2w - perte d'un train RIS-RA en C3/D). La puissance résiduelle est donc évacuée pendant tout le transitoire.

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrément du cœur tout au long du transitoire (la décharge BP RCV étant isolée sur signal d'IS sur bas niveau boucle), les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est donc vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B).

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque De Tension Externe) sur le transitoire de baisse incontrôlée du niveau primaire (états C3, D). Conformément aux règles d'études dans les états d'arrêt (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant initial du transitoire.

1.6.1. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les critères et objectifs de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC4 et sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce PCC-4 sont les suivants :

- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.6.2. MOYENS DE PROTECTION

A la suite du MDTE, le démarrage automatique des diesels de secours principaux sur signal de basse tension assure de nouveau l'alimentation électrique des trains RIS-RA.

Par ailleurs, et de la même façon que dans l'étude sans MDTE, le signal IS est sollicité sur un seuil de bas niveau boucle (Min1p), conduisant à l'isolement du CPP et à l'isolement de la décharge du RCV.

1.6.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

1.6.3.1. Méthode

L'objectif de l'étude est de montrer en cas de baisse incontrôlée du niveau primaire dans les états C3 et D avec cumul du MDTE que :

- Les actions automatiques permettent a minima de maintenir l'inventaire en eau, et en particulier d'éviter l'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA sur signal de très bas niveau boucle (seuil Min2p).
- À la suite du MDTE, l'augmentation de température du fluide primaire sous l'effet de la puissance totale, avant la reconnexion des diesels de secours principaux et le redémarrage des trains RIS-RA, ne conduit pas à une marge à la saturation du primaire insuffisante (afin d'éviter tout phénomène de cavitation dans les pompes ISBP).
- La puissance totale (somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes en fonctionnement) est toujours évacuée par les trains RIS-RA secours (se trouvant en fonctionnement suite au démarrage des diesels de secours principaux) afin d'éviter tout phénomène de cavitation dans les pompes ISBP.

Il s'agit alors d'évaluer :

- le délai (noté $\Delta t_{\text{seuil-MDTE}}$) entre le franchissement du seuil IS sur bas niveau boucle, et l'atteinte du seuil d'arrêt automatique des trains RIS-RA. Ce délai est évalué d'une part sur la base d'un débit de fuite maximal et d'autre part sur le volume d'eau primaire qu'il faut vidanger pour passer d'un seuil à l'autre.
- la température maximale atteinte en branche chaude au moment du relestage des trains RIS-RA,
- la température de stabilisation du primaire suite à la remise en fonctionnement des trains RIS-RA secourus.

1.6.3.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

1.6.3.2.1. État initial

Les caractéristiques des états C3 et D retenues à l'instant initial sont identiques au cas sans MDTE (voir § 1.4.2.1.).

□

1.6.3.2.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

1.6.3.2.2.1. Trains RIS-RA

Trois trains sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le quatrième train est en attente. À la suite du MDTE, les trois trains supposés en fonctionnement initialement sont considérés comme perdus de façon conservatrice pendant 60 secondes.

L'aggravant est appliqué à un générateur diesel ne démarrant pas à la sollicitation. Deux trains RIS-RA sont alors remis en service en mode RA pour évacuer la puissance après reconnexion des diesels de secours principaux.

1.6.3.2.2.2. Pompes ISMP

Les pompes ISMP démarrées automatiquement sur signal de bas niveau boucle en branche chaude (seuil Min1p) sont créditées dans l'étude.

Au titre de l'aggravant, un générateur diesel ne démarrant pas à la sollicitation, conduit à considérer une pompe ISMP indisponible après reconnexion des diesels de secours principaux.

Par ailleurs, aucune maintenance préventive n'est postulée sur les pompes ISMP. Les données des systèmes d'injection sont prises pénalisées (grande ligne à débit minimum ouverte).

1.6.3.2.2.3. Caractéristique des échangeurs

Les capacités d'échange des échangeurs seront calculées sur la base des données présentées dans le [TAB-15.2.2v.2](#).

1.6.3.2.2.4. Signaux de protection

Les signaux de protection pris en compte sont les suivants :

- signal IS sur bas niveau boucle en branche chaude (seuil Min1p) dans 2 boucles sur 4 □,
□
- signal d'arrêt automatique des 4 pompes ISBP sur très bas niveau en branche chaude (seuil Min2p) dans 2 boucles sur 4 □.

Les principales actions initiées sur signal IS sont :

- démarrage des pompes ISMP en configuration grande ligne à débit minimum ouverte,
- isolement CPP :
 - isolement de la décharge RCV,
 - □.

Ces signaux sont classés F1A.

De la même façon que dans le cas étudié sans MDTE, une incertitude Δ est appliquée sur les seuils de manière à retarder l'émission du signal IS.

1.6.3.2.2.5. RCV

Pour pénaliser la baisse de l'inventaire en eau, la charge est supposée inefficace. Le débit de décharge maximal retenu en cas de défaillance RCV est de Δ kg/s.

1.6.3.2.3. Hypothèses coeur

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

1.6.3.2.4. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

L'aggravant retenu dans l'étude avec cumul du MDTE concerne le non démarrage d'un diesel sur sollicitation, ce qui rend une pompe ISMP ainsi qu'un train RIS-RA indisponible pour l'évacuation de la puissance totale.

De plus, une maintenance préventive sera supposée sur une pompe ISMP supplémentaire.

1.6.3.3. RÉSULTATS

1.6.3.3.1. À la descente

Soit t_0 l'instant initial de l'accident pour lequel apparaissent :

- le MDTE,
- la défaillance sur la régulation de niveau boucle entraînant une vidange du CPP via la décharge avec un débit maximal de Δ kg/s.

À $t_0 + 60$ s, le redémarrage des diesels de secours assure l'alimentation électrique de 2 trains RIS-RA fonctionnant en mode RA. La température en branche chaude à cet instant est de Δ °C environ : aucun phénomène de cavitation n'est donc observé au niveau des pompes ISBP en fonctionnement du fait d'une marge à la saturation suffisante.

À $t_0 + 112$ s, le seuil d'IS est franchi. Ce temps est calculé à partir du volume séparant le niveau boucle initial (3/4 boucle) du seuil de bas niveau boucle et du débit déchargé du RCV. Δ .

Le temps qui sépare le franchissement du seuil IS de celui du seuil d'arrêt des trains RIS-RA ($\Delta t_{\text{seuil-MDTE}}$) est de 49 secondes. Ce temps est calculé à partir du volume séparant les seuils de bas et de très bas niveau boucle et du débit déchargé du RCV.

Or, la décharge est isolée Δ secondes ($= t_1 + t_2 + t_D$) après le franchissement du seuil d'IS par bas niveau boucle à $t_0 + \Delta$ s. Par conséquent la diminution de l'inventaire en eau est stoppée avant le franchissement du seuil d'arrêt des trains RIS-RA et il n'y a donc aucun découverture du cœur au cours de l'accident.

Parallèlement, l'obtention du plein débit d'IS Δ permet de restaurer et de stabiliser l'inventaire en eau du circuit primaire.

La température branche chaude de stabilisation du primaire suite à la remise en fonctionnement des 2 trains RIS-RA en mode RA est de Δ °C pour des pressions primaires de 1,0 bar et de 0,8 bar (cf. section 15.2.2w). Dans ces deux cas, la marge à la saturation est suffisante et tout phénomène de cavitation est écarté. La puissance totale (somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes en fonctionnement) est alors évacuée.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur tout au long de l'accident (la décharge BP RCV étant isolée sur signal d'IS) et pas de production de vapeur, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.6.1. est vérifié. L'état contrôlé est donc atteint.

1.6.3.3.2. À la remontée

1.6.3.3.2.1. Pression primaire de 1,0 bar

Le cas de la remontée est couvert par la descente lorsque la pression de fonctionnement dans le CPP est de 1,0 bar, du fait d'une puissance totale à évacuer réduite.

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.6.1. est donc vérifié. L'état contrôlé est donc atteint.

1.6.3.3.2.2. Pression primaire de 0,2 bar

Dans l'état C3, la pression primaire à la remontée peut se trouver à une valeur de 0,2 bar (tirage au vide). Dans ces conditions, la température de saturation du primaire (60°C) est atteinte rapidement après le début de l'accident. Cependant le débit des pompes ISBP réduit préventivement à une valeur de consigne de \square m³/h (du fait d'une pression dans le primaire subatmosphérique, cf. TAB2) permet d'éviter l'apparition de tout phénomène de cavitation et donc de tout risque d'endommagement des pompes ISBP. Il faut néanmoins s'assurer que le seuil d'arrêt des trains RIS-RA n'est pas atteint avant l'isolement du CPP, afin que l'évacuation de la puissance totale par les trains RIS-RA soit maintenue.

Soit t_0 l'instant initial de l'accident pour lequel apparaissent :

- le MDTE,
- la défaillance sur la régulation de niveau boucle entraînant une vidange du CPP via la décharge avec un débit maximal de \square kg/s.

Il est supposé de manière conservative que l'atteinte de la saturation (température de 60°C) dans le CPP est obtenue dès l'instant initial.

À $t_0 + 60$ s, le redémarrage des diesels de secours assure l'alimentation électrique de 2 trains RIS-RA fonctionnant en mode RA. La température en branche chaude à cet instant correspond à la température de saturation, aucun phénomène de cavitation n'est observé au niveau des pompes ISBP en fonctionnement du fait d'un débit dans les trains RIS-RA réduit préventivement à une valeur de consigne de \square m³/h.

La baisse du niveau boucle lors de la remontée est accélérée par rapport à la descente. En effet, le niveau boucle diminue conjointement du fait :

- du dysfonctionnement de la régulation de niveau boucle \square ,
- de la vaporisation du fluide primaire se trouvant à saturation. En considérant de manière conservative, que l'évacuation de puissance par les 2 trains RIS-RA en mode RA secourus reste inefficace, le débit maximal de vapeur produit par vaporisation du fluide du CPP est estimé à \square kg/s.
Ce débit est calculé à partir de la puissance totale à évacuer à la remontée \square .

À $t_0 + 95$ s, le seuil d'IS est franchi. Ce temps est calculé à partir du volume séparant le niveau boucle initial (3/4 boucle) du seuil de bas niveau boucle, du débit déchargé du RCV et du débit de vaporisation de l'eau du CPP, en supposant de façon conservative que l'échange par les trains RIS-RA reste inefficace. \square

Or, la décharge est isolée \square secondes (= $t_1 + t_2 + t_D$) après le franchissement du seuil d'IS par bas niveau boucle, soit à \square s. À cet instant, la diminution de l'inventaire en eau du fait du dysfonctionnement du RCV est stoppée. Seule la diminution de l'inventaire en eau par vaporisation continue de se produire.

Le temps qui sépare l'instant d'isolement du CPP de celui du franchissement du seuil d'arrêt des trains RIS-RA est alors de 78 secondes. Ce temps est calculé à partir de la différence de volume présent entre l'instant d'isolement du CPP et l'atteinte du seuil de très bas niveau boucle ainsi que du débit de vaporisation de l'eau du CPP, en supposant de façon conservatrice que l'échange par les trains RIS-RA reste inefficace.

Parallèlement, l'obtention du plein débit d'IS \square permet de restaurer et de stabiliser l'inventaire en eau du circuit primaire. Par conséquent la diminution de l'inventaire en eau est stoppée avant le franchissement du seuil d'arrêt des trains RIS-RA ; il n'y a donc aucun découvrement du cœur au cours de l'accident.

La température branche chaude de stabilisation du primaire, suite au restage automatique de 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit, reste inférieure \square (cf. section 15.2.2w). La puissance totale (somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes en fonctionnement) est évacuée.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur tout au long de l'accident (la décharge BP RCV étant isolée sur signal d'IS), les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.6.1](#). est vérifié. L'état contrôlé est donc atteint.

1.6.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

La conduite est ici similaire à celle décrite au [§ 1.5.](#)

La différence par rapport au cas sans MDTE est que le MDTE conduit à la perte d'un train RIS-RA initialement en service. Deux trains RIS-RA en mode RA sont donc en marche après le restage automatique des pompes ISBP.

Lorsque l'opérateur procède au T.I.P, un seul train RIS-RA demeure en service quand l'autre train est isolé. Les conditions du T.I.P doivent donc garantir des conditions de fonctionnement satisfaisantes en branche chaude pour le train RIS-RA en service, pendant la durée du test.

En état C3, CPP refermable, le T.I.P commence lorsque la pression primaire se stabilise au minimum à la pression de refoulement de l'ISMP \square . Or, un seul train RIS-RA évacue la puissance primaire pour une température en branche chaude ne dépassant pas \square ° C. La pression de saturation associée à cette température vaut \square bar environ. La pression primaire atteinte garantit donc l'évacuation de la puissance résiduelle avec une marge à la saturation suffisante pour le bon fonctionnement du train RIS-RA \square .

Dans le cas où le degré d'ouverture du primaire ne permet pas de réaliser le T.I.P de façon sûre, l'IS est stoppée sous réserve d'un niveau boucle supérieur ou égal à 100%. Aucun train RIS-RA n'est alors arrêté par l'opérateur, la puissance résiduelle demeure évacuée avec un ΔP_{sat} suffisant en branche chaude. Le niveau est ensuite surveillé. Si les vannes de vidange piscine sont ouvertes, appoints à l'arrêt, l'équilibre hydrostatique se stabilisera au niveau du PJC, soit donc au-dessus du niveau boucle maximal. Il n'y a donc aucun découvrement du cœur.

En état D, un seul train suffit à évacuer la puissance avec un ΔP_{sat} suffisant en branche chaude.

L'opérateur peut donc conclure à l'intégrité du circuit primaire.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrément du cœur tout au long de l'accident (la décharge BP RCV étant isolée sur signal d'IS), les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.6.1.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

1.7. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

L'étude de la baisse incontrôlée du niveau primaire dans les états C3 et D, menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire, démontre que, pour l'ensemble des configurations sans MDTE et avec MDTE :

- Le non découvrément du cœur et le maintien d'un inventaire en eau stable sont garantis grâce à l'isolement de la décharge BP RCV sur signal d'IS et à la mise en service de l'IS.
- La sous criticité du cœur est garantie du fait de la concentration de bore initiale du circuit primaire et de l'absence d'apport d'eau claire.
- La puissance résiduelle est continûment évacuée puisque au moins un train RIS-RA reste en fonctionnement en mode RA durant le transitoire.
- Le non découvrément du cœur et le maintien de l'évacuation de la puissance résiduelle garantissent l'absence de rejets radiologiques.

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés dans les [§ 1.2.2.](#) et [§ 1.6.1.](#) est vérifié. L'état contrôlé puis l'état d'arrêt sûr sont atteints.

1.8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

Impact de la fuite aux joints des GMPP

État Ca4 : . Le conservatisme pris sur le débit de décharge couvre le débit de fuite aux joints . La démonstration de non atteinte du seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA n'est donc pas remise en cause. Il n'y a donc pas de découvrément du cœur et la puissance résiduelle reste évacuée.

Lorsque l'opérateur procède au T.I.P, la fuite aux joints ne modifie pas les observations de pressions faites par l'opérateur puisqu'il n'y aura pas de hausse significative de pression liée à un isolement de brèche. Ainsi les tests sur les trains RIS-RA seront négatifs, l'opérateur déclarera le primaire non intègre. Dès lors, en attente en mode IS et mettra à l'arrêt toutes les pompes ISMP. La fuite aux joints des pompes primaires sera compensée par l'ISBP.

L'inventaire du primaire est stable grâce au maintien de l'IS et la puissance est évacuée par au moins un train RIS-RA en mode RA.

État Cb1 à D: Pour les états Cb1 à D la ligne de fuite du joint n° 1 a préalablement été fermée car la barrière thermique est isolée, le primaire est initialement à 1 bar abs et les glaces du joint n° 1 sont en contact. Dans ces conditions il n'a pas de fuite aux joints des pompes primaires.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrément du cœur tout au long de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés dans les [§ 1.2.2.](#) et [§ 1.6.1.](#) reste vérifié. L'état contrôlé puis l'état d'arrêt sûr sont donc atteints.

1.9. CONCLUSION

L'étude de la baisse incontrôlée du niveau primaire dans les états C3 et D démontre que l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés dans les [§ 1.2.2.](#) et [§ 1.6.1.](#) est respecté :

- La puissance résiduelle est évacuée par trois trains RIS-RA en mode RA pour le cas sans MDTE et deux trains RIS-RA en mode RA pour le cas avec MDTE.
- La sous-criticité est garantie (absence d'apport d'eau claire et concentration en bore initiale supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement).
- L'inventaire en eau du primaire est stable. Pour le sous-état Ca4, l'IS assure la stabilité de l'inventaire en eau du circuit primaire.
- L'absence de découverture du cœur et le maintien de l'évacuation de la puissance résiduelle garantissent l'absence de rejets radiologiques.

2. ÉTAT E

2.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

2.1.1. Définition

Le scénario à prendre en compte en état E est la baisse incontrôlée de niveau primaire pour un fonctionnement à niveau piscine BR pleine .

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- état E hors manutention combustible : les assemblages combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être ouvert (commande groupée activée) ou fermé (commande groupée non activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont en service. La piscine BK est refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine. L'état hors manutention combustible débute au plus tôt 45,5h après l'arrêt du réacteur et dure au minimum 20h.
- état E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage combustible peut être en cours d'extraction ou de mise en place dans la cuve. Il transite dans la piscine réacteur « principale », dans les compartiments de transfert et dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage combustible peut être en cours de manutention. Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont en service. La piscine BK est refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre les piscines BR et BK est ouvert. L'état chargement-déchargement débute au plus tôt 65,5h après l'arrêt du réacteur et se termine au plus tôt 111h après l'arrêt du réacteur.

2.1.2. Causes

En état E, le RCV n'est pas isolé, ainsi les causes les plus probables d'une baisse incontrôlée du niveau primaire sont :

- une erreur de l'opérateur lors de la manipulation de la décharge RCV,
- un dysfonctionnement d'une vanne RCV conduisant à une décharge excessive par la ligne BP du RCV.

2.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.2.1. Description du transitoire

Le niveau initial est considéré piscine BR pleine ☐. Trois trains RIS-RA en mode RA sont initialement en service et permettent de maintenir la température du circuit primaire sous 55°C.

Une erreur opérateur ou une défaillance se produisant dans la partie amont du RCV provoque une décharge excessive d'eau. De façon conservatrice, le débit de vidange retenu est le débit maximal autorisé de la décharge RCV.

2.2.2. Critères d'étude

En état E commande groupée non activée (Etat E « hors manutention combustible »), les assemblages sont dans la cuve et il n'y a pas de communication entre les piscines BR et BK. Ainsi, les critères techniques d'acceptation à respecter côté BR sont ceux de la section 15.0.2 et sont identiques à ceux des états C3 et D (voir § 1.2.2.). Les critères applicables pour la piscine BK sont ceux de la section 15.0.3 et sont identiques à ceux énoncés ci-dessous pour l'état E commande groupée activée.

En état E commande groupée activée, les critères techniques d'acceptation à vérifier sont ceux définis dans la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- maintien permanent de la sous criticité,
- absence de dénoyage des assemblages de combustible :
 - non-découvrement du cœur en état E hors manutention combustible,
 - non-dénoyage du combustible en cours de manutention ☐ en état E chargement-déchargement,
- évacuation de la puissance résiduelle côté BR par les trains RIS-RA,
- évacuation de la puissance résiduelle côté BK par les trains PTR principaux,
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- non ébullition dans la piscine BR,
- non ébullition dans la piscine BK,
- maintien d'une marge significative vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK ☐. Pour les situations PCC avec vidange, le dépassement transitoire de température ☐ est admissible ☐.

2.3. MOYENS DE PROTECTION

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), les signaux de protection crédités sont le signal d'injection de sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA.

Dans cette configuration le signal d'IS est émis sur l'atteinte du seuil Min1p : « bas niveau boucle » et conduit à l'isolement du CPP. Le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil Min2p : « bas niveau boucle ».

En état E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil Min 1 : « bas niveau piscine transfert BR » (cf. figure [FIG-15.2.2v.2](#)).

Le temps de fermeture automatique de la vanne RIS-RA considéré est de ☐ s.

Le ou les trains principaux PTR initialement en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil Min 4 BK « bas niveau piscine BK » []. À l'atteinte du niveau piscine [] (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

2.4.1. Méthode

La démonstration est faite par argumentaire.

2.4.2. État initial

En état E, à pression atmosphérique dans l'enceinte, la température du circuit primaire et de la piscine BR est de []°C []. Initialement, l'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La concentration initiale en bore des piscines BR et BK est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

La température initiale de la piscine de désactivation est de []°C (critère STE). Le refroidissement de la piscine de désactivation peut être assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine.

Dans les études d'accidents, le niveau d'eau initial considéré pour les piscines BR et BK est de [] m.

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. La fermeture du tube de transfert [] n'est pas valorisable avant []h après le premier signal significatif. Pour ce scénario, lorsque le tube de transfert est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant toute la durée du transitoire.

2.4.3. Hypothèses systèmes fluides et régulations

2.4.3.1. Trains RIS-RA

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4^{ème} train est en stand-by (ce train n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de ce transitoire). Les trains RIS-RA sont arrêtés automatiquement sur « bas niveau boucle » en branche chaude (MIN2).

En état E « hors manutention combustible » et en état E « chargement-déchargement » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Ils sont isolés automatiquement sur signal de « bas niveau piscine BR » (MIN1).

2.4.3.2. Pompes ISMP

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, de manière analogue à l'état D, les pompes ISMP démarrent automatiquement sur signal de « Bas niveau boucle Min1p » avec les hypothèses suivantes :

- seuil Min1p [],
- délai entre franchissement du seuil de bas niveau boucle et signal IS : [] s,
- délai d'obtention du plein débit d'IS : [] s.

En état E « chargement-déchargement » et en état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), [].

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale \square pour la démonstration de sûreté. La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST \square .

2.4.3.3. Décharge RCV

Comme indiqué au § 1.4.2.2.3., le signal IS sur « bas niveau boucle » (MIN1) entraîne l'isolement de la décharge RCV.

L'isolement des trains RIS-RA en mode RA sur bas niveau piscine BR \square conduit à l'arrêt de la vidange des piscines BR et BK par la décharge BP RCV.

Pour pénaliser la baisse de l'inventaire en eau, la charge n'est pas créditée. Le débit de décharge maximal retenu en cas de défaillance RCV est de \square kg/s.

2.4.3.4. Trains PTR principaux

En état hors manutention combustible tube de transfert fermé (commande groupée non activée), un seul train PTR est supposé en fonctionnement pour refroidir la piscine BK à l'instant initial. Deux trains PTR sont supposés en fonctionnement lorsque le tube de transfert est ouvert (commande groupée activée) ou qu'au moins un assemblage combustible est déchargé en piscine.

2.4.4. Hypothèses cœur

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

Les puissances résiduelles des piscines BR et BK sont supposées constantes sur toute la durée de la séquence accidentelle.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BR, pour les calculs réalisés avec une puissance nominale de 4300 MW est égale à \square MW en état E « hors manutention combustible » et \square MW en état E « chargement-déchargement ».

La puissance résiduelle BR retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 \square ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. La puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BK est égale à \square MW en état « chargement-déchargement ». Elle est maximale juste après que le dernier assemblage a été déchargé du réacteur. Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance côté BR \square à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle \square .

2.4.5. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

Aggravant :

Dans la mesure où les trains RIS-RA sont en service initialement aucun aggravant n'est à considérer sur les trains RIS-RA.

L'aggravant sera appliqué à une pompe ISMP suite au signal d'IS.

Maintenance :

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), une maintenance est prise en compte sur un train ISMP.

En état E pour chargement/déchargement et en état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), une maintenance est prise en compte sur une division électrique. Cela entraîne l'indisponibilité d'un train RIS-RA et d'un train ISMP.

Côté piscine BK, aucune maintenance préventive n'est postulée sur les trains PTR en état E.

2.5. RÉSULTATS

2.5.1. État E hors manutention combustible avec tube de transfert fermé (commande groupée non activée)

Suite à l'initiateur, l'inventaire en eau du système {primaire + piscine BR} diminue avec un débit de vidange retenu égal au débit maximal autorisé de la décharge RCV.

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), les protections sur niveau piscine ne sont pas activées. Ainsi le premier signal de protection F1A émis est le signal IS sur « bas niveau boucle » (MIN1p).

De même que pour les états C3 et D (§ 2.4.3.4.), la décharge RCV est isolée suite à l'apparition du signal IS sur « bas niveau boucle » (MIN1p) avant l'atteinte du signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur « bas niveau boucle » (MIN2p). L'inventaire en eau n'étant alors plus dégradé après l'isolement automatique de la décharge du RCV sur signal IS de « bas niveau boucle » (MIN1p), le signal d'arrêt des trains RIS-RA n'est pas atteint, et il n'y a donc aucun découvrement du cœur au cours du transitoire. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les trains RIS-RA en mode RA, restés en service durant tout le scénario, permettent le maintien de l'évacuation de la puissance.

Côté BR, le maintien permanent de la sous-criticité est garanti par les conditions initiales du transitoire (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement) et l'absence d'apport d'eau claire.

Côté BK, le niveau d'eau dans la piscine n'a pas varié, le tube de transfert étant fermé la puissance résiduelle est évacuée par le train PTR principal initialement en service. La température de la piscine BK reste donc inchangée. Le maintien permanent de la sous-criticité dans la piscine BK est garanti par la conception du râtelier de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Dans cette configuration, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. est respecté ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.5.2. État E hors manutention combustible avec tube de transfert ouvert et état E chargement – déchargement (commande groupée activée)

Suite à l'initiateur, le débit de décharge vidange progressivement l'inventaire en eau du système {primaire+piscine BR + piscine BK} et fait baisser le niveau des piscines BR et BK. À l'atteinte du signal F1A de bas niveau piscine BR MIN1 □, les trains RIS-RA sont isolés automatiquement. L'isolement des trains RIS-RA en mode RA sur bas niveau piscine BR □ conduit à l'arrêt de la vidange des piscines BR et BK par la décharge BP RCV.

L'atteinte du niveau □ dans la piscine BR conduit à l'entrée en CIA. Une des premières actions demandées à l'opérateur, dans la conduite, sera □. Le niveau minimum atteint dans la piscine BR au cours du transitoire □ garantit l'absence de dénoyage des assemblages de combustible.

Compte-tenu de l'arrêt de la vidange suite à l'isolement des trains RIS-RA, lorsque l'opérateur intervient, le niveau dans la piscine BR est supérieur □. Dans ce cas, la brèche peut être sur un train RIS-RA, sur le circuit primaire, sur un train PTR ou sur un circuit connecté aux piscines BR et BK.

L'opérateur procède alors à la réalisation du T.I.P sur les trains RIS-RA, en parallèle de la recherche de fuite en local initiée côté BK. Les trains RIS-RA étant intègres, le refroidissement de la piscine BR est récupéré dès le début du T.I.P. En effet, la décharge RCV étant isolée, aucune baisse de niveau n'est constatée dans la piscine BR au cours du test. Les trains RIS-RA remis en service au cours du T. I.P ne seront donc pas isolés par la suite. La durée de perte de refroidissement de la piscine BR reste

ainsi inférieure \square et la température moyenne maximale atteinte dans la piscine BR \square reste inférieure à la limite définie au [§ 2.2.2.](#)

Aucune baisse de niveau dans la piscine BR n'ayant été détectée et la recherche de fuite en local n'ayant pas permis d'identifier de brèches sur un train PTR ou sur les circuits connectés aux piscines BR et BK, le circuit primaire n'est déclaré ni intègre ni non intègre à la fin du contrôle d'intégrité. L'opérateur est alors orienté vers la phase « Stabilisation RIS-RA en mode RA en service » et met en place une recirculation entre l'IRWST et la piscine BR.

Côté BK, le niveau reste supérieur \square pendant toute la durée du transitoire. Ainsi, les trains PTR principaux restent en service et assurent l'évacuation de la puissance résiduelle dans la piscine de désactivation \square . Le maintien permanent de la sous-criticité dans la piscine BK est garanti par la conception du râtelier de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible et pas d'ébullition dans les piscines BR et BK ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Dans cette configuration, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) est respecté ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.6. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de baisse incontrôlée du niveau primaire (état E). Conformément aux règles d'études dans les états d'arrêt (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant initial du transitoire.

2.6.1. Critères d'étude

Les critères techniques d'acceptation et les critères complémentaires à vérifier sont identiques à ceux listés dans le [§ 2.2.2.](#)

2.6.2. Moyens de protections

À la suite du MDTE, le démarrage automatique des diesels de secours principaux sur signal de basse tension assure de nouveau l'alimentation électrique des trains RIS-RA.

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), de la manière analogue à l'étude sans MDTE, le signal IS est sollicité sur un seuil de « bas niveau boucle » (Min1p), conduisant à l'isolement du CPP et à l'isolement de la décharge du RCV.

Le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil Min2p : « bas niveau boucle ».

En état E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil Min 1 : « bas niveau piscine transfert BR » (voir figure [FIG-15.2.2v.2](#)).

Le ou les trains PTR principaux initialement en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil Min 4 BK « bas niveau piscine BK » \square . À l'atteinte du niveau piscine \square (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

2.6.3. Hypothèses d'études

2.6.3.1. Méthode

La démonstration est traitée par argumentaire.

2.6.3.2. État initial

En état E, à pression atmosphérique dans l'enceinte, la température du circuit primaire et de la piscine BR est de \square °C \square . Initialement, l'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La température initiale de la piscine de désactivation est de \square °C (critère STE), et le refroidissement de la piscine de désactivation peut être assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine.

La concentration initiale en bore des piscines BR et BK est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

Dans les études d'accidents, le niveau d'eau initial considéré pour les piscines BR et BK est de \square m.

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. La fermeture du tube de transfert \square n'est pas valorisable avant \square h après le premier signal significatif. Pour ce scénario, lorsqu'il est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant toute la séquence accidentelle.

2.6.3.3. Hypothèses systèmes fluides et régulations

2.6.3.3.1. Trains RIS-RA

En état E « hors manutention combustible » (commande groupée non activée), trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4^{ème} train est en stand-by (ce train n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de cet accident). Les trains RIS-RA sont arrêtés automatiquement sur « bas niveau boucle » en branche chaude (MIN2).

En état E « hors manutention combustible » avec tube de transfert ouvert et en état E « chargement-déchargement » (commande groupée activée), trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Ils sont isolés automatiquement sur signal de « bas niveau piscine BR » (MIN1).

À la suite du MDTE, les trois trains initialement en fonctionnement sont considérés perdus de façon conservative \square .

L'aggravant est appliqué à un générateur diesel ne démarrant pas à la sollicitation. Deux trains RIS-RA sont alors remis en service en mode RA pour évacuer la puissance après reconnexion des diesels de secours principaux.

2.6.3.3.2. Pompes ISMP

En état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), de manière analogue à l'état D, les pompes ISMP démarrent automatiquement sur signal de « Bas niveau boucle ».

En état E hors manutention combustible commande groupée activée (tube de transfert ouvert) et en état E chargement-déchargement, \square .

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale \square pour la démonstration de sûreté (grande ligne à débit minimum ouverte). La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST \square .

L'application de l'aggravant à un générateur diesel ne démarrant pas à la sollicitation, conduit à considérer une pompe ISMP indisponible après reconnexion des diesels de secours principaux.

2.6.3.3.3. Décharge RCV

Comme indiqué au [§ 2.6.2.](#), le signal IS sur « bas niveau boucle » (MIN1p) entraîne l'isolement de la décharge RCV.

L'isolement des trains RIS-RA en mode RA sur bas niveau piscine BR \square conduit à l'arrêt de la vidange des piscines BR et BK par la décharge BP RCV.

Pour pénaliser la baisse de l'inventaire en eau, la charge n'est pas créditée. Le débit de décharge maximal retenu en cas de défaillance RCV est de \square kg/s.

2.6.3.4. Trains PTR principaux

En état hors manutention combustible tube de transfert fermé (commande groupée non activée), un seul train PTR est supposé en fonctionnement pour refroidir la piscine BK à l'instant initial. Deux trains PTR sont supposés en fonctionnement lorsque le tube de transfert est ouvert (commande groupée activée) ou qu'au moins un assemblage combustible est déchargé en piscine.

Aucune maintenance préventive n'est autorisée sur les trains PTR principaux en état E.

Par suite du MDTE postulé à $t=0s$, le ou les trains PTR initialement en fonctionnement s'arrêtent. Même si par conception les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR \square et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée \square .

Du fait de l'aggravant pris sur un diesel de secours, un train PTR est perdu pour assurer le refroidissement de la piscine BK.

2.6.3.5. Hypothèses cœur

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

Les puissances résiduelles sont décrites dans le [§ 2.4.4.](#)

2.6.3.6. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

Aggravant :

L'aggravant le plus pénalisant est la perte d'un diesel de secours principal, ne demarrant pas sur sollicitation compte tenu de la prise en compte du MDTE, et impliquant côté BR la perte d'un train RIS-RA et d'un train ISMP et côté BK la perte d'un train PTR.

Maintenance :

En état E « hors manutention combustible » (commande groupée non activée) une maintenance est prise en compte sur un train ISMP.

En état E pour chargement/déchargement (commande groupée activée), une maintenance est prise en compte sur une division électrique. Cela entraîne l'indisponibilité d'un train RIS-RA et d'un train ISMP.

Côté piscine BK, aucune maintenance préventive n'est postulée sur les trains PTR en état E.

2.6.4. RÉSULTATS

2.6.4.1. État E hors manutention combustible avec tube de transfert fermé (commande groupée non activée)

Suite à l'initiateur, l'inventaire en eau du système {primaire + piscine BR} diminue avec un débit de vidange retenu égal au débit maximal autorisé par la décharge BP RCV. \square après l'initiateur deux des trois trains RIS-RA initialement en fonctionnement et perdus suite au MDTE sont retestés grâce aux diesels de secours. Côté BK, le train PTR initialement en service est perdu suite à l'application de l'aggravant sur un diesel principal.

La piscine continue de se vidanger jusqu'à l'atteinte du premier signal de protection F1A émis qui est le signal IS sur « bas niveau boucle » (MIN1p).

De même que pour les états C3 et D (§ 2.4.3.4.), la décharge RCV est isolée suite à l'apparition du signal IS sur « bas niveau boucle » (MIN1p) avant l'atteinte du signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur « bas niveau boucle » (MIN2p). L'inventaire en eau n'étant alors plus dégradé après l'isolement automatique de la décharge RCV sur signal de « bas niveau boucle » (MIN1p), le signal d'arrêt des trains RIS-RA n'est pas atteint. et il n'y a donc aucun découvrement du cœur au cours de l'accident. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les deux trains RIS-RA en mode RA relestés par les diesels de secours ne sont pas arrêtés, et permettent le maintien de l'évacuation de la puissance.

Côté BR, le maintien permanent de la sous-criticité est garanti par les conditions initiales de l'accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement) et l'absence d'apport d'eau claire.

Côté BK, vis-à-vis de la température moyenne maximale atteinte dans la piscine, ce scénario est couvert par le cas d'une brèche sur un train principal PTR (section 15.2.3t) dans la mesure où le niveau d'eau dans la piscine BK sera plus élevé (le tube de transfert étant fermé il n'y a donc pas de perte d'inventaire) que dans le cas d'une brèche sur un train PTR. Durant les actions de conduite, □ ce qui garantit l'évacuation de la puissance résiduelle et le maintien d'une température piscine BK en dessous du critère présenté au § 2.6.1.. Le maintien permanent de la sous-criticité dans la piscine BK est garanti par la conception du râtelier de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Dans cette configuration, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.6.1. est respecté ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.6.4.2. État E hors manutention combustible avec tube de transfert ouvert et état E chargement – déchargement (commande groupée activée)

Suite à l'initiateur, le débit de décharge vidange progressivement l'inventaire en eau du système {primaire+piscine BR + piscine BK} et fait baisser le niveau des piscines BR et BK. □ après l'initiateur deux des trois trains RIS-RA initialement en fonctionnement et perdus suite au MDTE sont relestés grâce aux diesels de secours.

À l'atteinte du signal F1A de niveau piscine BR MIN1 □, les deux trains RIS-RA sont isolés automatiquement. L'isolement des trains RIS-RA en mode RA sur bas niveau piscine BR □ conduit à l'arrêt de la vidange des piscines BR et BK par la décharge BP RCV.

L'atteinte du niveau MIN1 □ dans la piscine BR conduit à l'entrée en CIA. Une des premières actions demandées □. Le niveau minimum atteint dans la piscine BR au cours de l'accident □ garantit l'absence de dénoyage des assemblages de combustible.

Compte-tenu de l'arrêt de la vidange suite à l'isolement des trains RIS-RA, □, le niveau dans la piscine BR est supérieur □. Dans ce cas, la brèche peut être sur un train RIS-RA, sur le circuit primaire, sur un train PTR ou sur un circuit connecté aux piscines BR et BK.

L'opérateur procède alors à la réalisation du T.I.P sur les trains RIS-RA, en parallèle de la recherche de fuite en local initiée côté BK. Les trains RIS-RA étant intègres, le refroidissement de la piscine BR est récupéré dès le début du T.I.P. En effet, la décharge RCV étant isolée, aucune baisse de niveau n'est constatée dans la piscine BR au cours du test. Les trains RIS-RA remis en service au cours du T. I.P ne seront donc pas isolés par la suite. La durée de perte de refroidissement de la piscine BR reste ainsi inférieure □ et la température moyenne maximale atteinte dans la piscine BR □ reste inférieure à la limite définie au § 2.6.1..

Aucune baisse de niveau dans la piscine BR n'ayant été détectée et la recherche de fuite en local n'ayant pas permis d'identifier de brèches sur un train PTR ou sur les circuits connectés aux piscines BR et BK pendant le T.I.P, le circuit primaire n'est déclaré ni intègre ni non intègre à la fin du contrôle d'intégrité. L'opérateur est alors orienté vers la phase « Stabilisation RIS-RA en mode RA en service » et met en place une recirculation entre l'IRWST et la piscine BR.

Côté piscine BK, la défaillance d'un diesel de secours principal prive d'alimentation électrique un premier train PTR principal. Le second train PTR principal qui est lui secouru par un diesel en fonctionnement, est redémarré manuellement []. Conjointement, la perte totale de refroidissement induite par l'arrêt des deux trains PTR principaux [] implique une augmentation de la température de l'eau de la piscine BK []. La température maximale atteinte par la piscine BK avant la remise en service du train PTR principal [] dans cet état « chargement-déchargement » [] reste donc inférieure à la limite [] définie au § 2.6.1. Le niveau reste supérieur [] pendant toute la durée de l'accident. Ainsi le train PTR principal, redémarré manuellement, reste en service et assure l'évacuation de la puissance résiduelle dans la piscine de désactivation []. Le maintien permanent de la sous-criticité dans la piscine BK est garanti par la conception du râtelier de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible et pas d'ébullition dans les piscines BR et BK ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Dans cette configuration, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.6.1. est respecté ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.7. CONCLUSION

L'étude de la baisse du niveau primaire en état E démontre que l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés dans les § 2.2.2. et § 2.6.1. est respecté :

- La puissance résiduelle est évacuée côté BR et côté BK [].
- Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible.
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

**TAB-15.2.2V.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE
LORS DES ÉTATS D'ARRÊT C3 ET D À L'INSTANT INITIAL**

	État C3	État D
GMPP en fonctionnement	0 / 4	0 / 4
Température primaire	55°C	55°C
Pression primaire	1,0 bar (0,8 bar lors du balayage azote à la descente et 0,2 bar à la remontée lors de la mise sous vide)	1,0 bar
Trains RIS-RA en mode RA initialement en fonctionnement	3 / 4 (1 train en attente en mode ISBP)	3 / 4 (1 train en attente en mode ISBP)
Remplissage du circuit primaire	3/4 boucle	3/4 boucle



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2V

PAGE 26/32

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2V.2 HYPOTHÈSES CONCERNANT LES ÉCHANGEURS RRI/RRA

□

TAB-15.2.2V.3 MOMENTS D'ENTRÉE DANS L'ÉTAT C3
(DESCENTE ET REMONTÉE)

	État C3 Descente	État C3 Remontée
Entrée dans l'état considéré	t = 18,5 h après l'arrêt	t = 184 h après l'arrêt



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2V

PAGE 28/32

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2V.4 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE EN
ÉTAT E À L'INSTANT INITIAL**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2V

PAGE 29/32

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.2V.1 INCERTITUDE SUR LES SEUILS BAS NIVEAU
BOUCLE ET TRÈS BAS NIVEAU BOUCLE**

□

□

**FIG-15.2.2V.2 ÉTAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES
BR ET BK**



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2V

PAGE 31/32

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.2V.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS EN ÉTATS C3, D

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2V

PAGE 32/32

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.2V.2 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS EN ÉTAT E

□

□

□

□

□

SOMMAIRE

.15.2.2W PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D, E)	5
1. ÉTATS C3, D	5
1.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	5
1.1.1. DÉFINITION	5
1.1.2. CAUSES	5
1.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	5
1.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	5
1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	6
1.3. MOYENS DE PROTECTION	6
1.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	6
1.4.1. MÉTHODE	6
1.4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	6
1.5. RÉSULTATS	7
1.5.1. À LA DESCENTE (ARRÊT DE TRANCHE)	7
1.5.2. A LA REMONTÉE (DÉMARRAGE DE TRANCHE)	8
1.5.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	8
1.6. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	9
1.6.1. CRITÈRES D'ÉTUDES	10
1.6.2. MOYENS DE PROTECTION	10
1.6.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	10
1.6.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	10
1.6.5. RÉSULTATS	12
1.7. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE	15
1.8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	15
1.9. CONCLUSION	15
2. ETAT E	16
2.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE	16
2.1.1. DÉFINITION	16
2.1.2. CAUSES	16

2.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	17
2.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE	17
2.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	17
2.3. MOYENS DE PROTECTION	17
2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	17
2.4.1. MÉTHODE	17
2.4.2. ÉTAT INITIAL	18
2.4.3. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	18
2.4.4. HYPOTHÈSES CŒUR	19
2.4.5. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE	19
2.5. RÉSULTATS	19
2.5.1. ANALYSE DE L'ÉTAT HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE TUBE DE TRANSFERT FERMÉ (COMMANDE GROUPEE NON ACTIVÉE)	19
2.5.2. ANALYSE DE L'ÉTAT CHARGEMENT DÉCHARGEMENT (COMMANDE GROUPEE ACTIVÉE)	20
2.6. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	20
2.6.1. CRITÈRES D'ÉTUDES	20
2.6.2. MOYEN DE PROTECTION	20
2.6.3. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	21
2.6.4. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE	22
2.6.5. RÉSULTATS	22
2.7. CONCLUSION	23
A- -15.2.2W.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHESES INTERMEDIAIRE).	38
A- -15.2.2W.2 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS (BASÉ SUR L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION)	39
A- -15.2.2W.3 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS	40
A- -15.2.2W.4 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS	42

TABLEAUX :

TAB-15.2.2W.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE LORS DES ÉTATS D'ARRÊT C3 ET D.....	24
TAB-15.2.2W.2 HYPOTHÈSES CONCERNANT LES ÉCHANGEURS RRI/RRA – CAS SANS CUMUL DU MDTE	25
TAB-15.2.2W.3 MOMENTS D'ENTRÉE DANS LES ÉTATS C3 ET D	26
TAB-15.2.2W.4 CARACTÉRISTIQUES DU RRI – CAS AVEC CUMUL DU MDTE	27
TAB-15.2.2W.5 CHARGE THERMIQUE EN C3 AVEC CUMUL DU MDTE	28

FIGURES :

FIG-15.2.2W.1 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC DU CUMUL DU MDTE - DÉBIT RIS-RA MINORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES DES BOUCLES PRIMAIRES - (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)	29
FIG-15.2.2W.2 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MINORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DE LA MARGE A LA SATURATION EN PRESSION DES BRANCHES CHAUDES DES BOUCLES PRIMAIRES (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)	30
FIG-15.2.2W.3 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MINORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE TOTALE A ÉVACUER (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)	31
FIG-15.2.2W.4 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC DU CUMUL DU MDTE - DÉBIT RIS-RA MAJORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES DES BOUCLES PRIMAIRES (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)	32
FIG-15.2.2W.5 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MAJORÉ DE SON INCERTITUDE – ÉVOLUTION DE LA MARGE A LA SATURATION EN	

PRESSION DES BRANCHES CHAUDES DES BOUCLES PRIMAIRES (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE).....	33
FIG–15.2.2W.6 PERTE D’UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MAJORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE TOTALE A ÉVACUER (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE).....	34
FIG–15.2.2W.7 PERTE D’UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MAJORÉ DE SON INCERTITUDE – ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE EN BRANCHE CHAUDE DANS LE TRAIN RIS-RA EN MODE RA DANS LES CAS AVANT ET APRÈS BASCULEMENT DES COMMUNS1B ET 2B SUR LE RRI EN ATTENTE (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE).....	35
FIG–15.2.2W.8 PERTE D’UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE STABILISATION EN BRANCHE CHAUDE ET DE LA LIMITE DE CAVITATION EN FONCTION DU DÉBIT TRAVERSANT LE TRAIN RIS-RA EN MODE RA (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE).....	36
FIG–15.2.2W.9 ÉTAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES BR ET BK.....	37

.15.2.2W PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D, E)

1. ÉTATS C3, D

Cette étude a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée en se basant sur un jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B). Puis, l'analyse des modifications introduites ultérieurement a conduit à reprendre une partie de cette étude.

1.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

1.1.1. DÉFINITION

Le scénario à prendre en compte dans les états C3 et D est la perte d'un train RIS-RA en mode RA pour un fonctionnement à un niveau primaire réduit [1].

Dans l'état C1, le refroidissement de la tranche est assuré par les trains RIS-RA 1 et 4 à une température primaire comprise entre 100°C et 120°C. Pour une température primaire inférieure à 100°C (état C2), au minimum trois trains RIS-RA sont utilisés pour le refroidissement de la tranche. Au début de l'état C3 lors de la descente du réacteur, 3 trains suffisent pour maintenir la température primaire à 55°C, le 4^{ème} train est placé en attente en mode ISBP.

Dans les états d'arrêt C3 et D, [1] l'inventaire en eau est réduit. Par ailleurs, les conditions à l'aspiration du RIS-RA sont sensibles au changement de température : une hausse de température résultant de la perte d'un train RIS-RA en mode RA induit une réduction de la marge à la saturation au niveau de l'aspiration des trains RIS-RA en fonctionnement, et donc un risque potentiel de cavitation sur la ligne d'aspiration jusqu'aux pompes ISBP.

1.1.2. CAUSES

Pendant ces états, une défaillance de l'un des trois trains RIS-RA en fonctionnement est susceptible de se produire [1] :

[1]

La défaillance de l'un des trains RIS-RA est envisagée sans tirer parti du train RIS-RA en attente dans les états C3 et D.

Ce transitoire est un événement PCC-2.

1.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

1.2.1. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE

[1] Trois trains RIS-RA en mode RA sont initialement en fonctionnement et permettent de maintenir la température du circuit primaire [1].

Le quatrième train RIS-RA est en mode ISBP. Il s'agit du train 1 ou 4.

Une défaillance est postulée sur un des trois trains. De façon pénalisante, on suppose que ce train devient totalement inopérant et qu'il ne participe donc plus à l'évacuation de puissance : cette dernière n'est plus dissipée que par les deux trains restants.

La défaillance d'un train RIS-RA peut alors induire une réduction de la marge à la saturation au niveau de l'aspiration des trains RIS-RA en fonctionnement en mode RA, et donc un risque potentiel de cavitation sur la ligne d'aspiration jusqu'aux pompes ISBP ainsi qu'une baisse de l'inventaire en eau en cas de passage à saturation du fluide primaire.

1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté relatifs aux PCC-2 à vérifier sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de ce transitoire PCC-2 sont les suivants :

- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 1,0$;
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme ;
 - L'inventaire en eau est stable ;
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm) ;
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ;
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.3. MOYENS DE PROTECTION

Si l'analyse conclut à une diminution de l'inventaire en eau du primaire, les signaux de protection sur niveau boucle seront pris en compte.

1.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Ce paragraphe présente l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B).

1.4.1. MÉTHODE

La démonstration est traitée par un argumentaire basé sur des bilans d'énergie au niveau de l'échangeur RRI/RRA, intégrant des données d'entrée pénalisées.

1.4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

1.4.2.1. Etat initial

Le transitoire se produit dans les états d'arrêt C3 et D.

Divers sous-états de l'état C3, sont définis :

- Primaire fermé : état Ca4,
- Primaire refermable : état Cb1,
- Après rupture de l'intégrité primaire, primaire partiellement refermable : état Cb2,
- Couvercle de cuve dégoujonné mais non levé : état Cb3.

L'état D débute à la levée du couvercle de cuve. A partir de ce moment, le primaire est ouvert sur la piscine du Bâtiment Réacteur.

Les principales caractéristiques à l'instant initial des états C3 et D sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.2w.1](#).

Les caractéristiques sont prises lors de l'arrêt de la tranche [1].

Par ailleurs, la température primaire est pénalisée [1].

1.4.2.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

1.4.2.2.1. Trains ISBP

Les trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le quatrième train est quant à lui supposé en attente en mode ISBP.

[1]

1.4.2.2.2. Pompes ISMP

Les pompes ISMP démarrent automatiquement en cas de vaporisation conduisant au signal de « Bas niveau boucle ». Les données des systèmes d'injection sont prises pénalisées (grande ligne à débit minimum ouverte).

Dans le cas où les pompes ISMP seraient sollicitées, l'aggravant sera appliqué [1].

[1]

1.4.2.2.3. Caractéristiques des échangeurs RRI/RRA

Les coefficients d'échange KS seront calculés sur la base des données présentées dans le tableau [TAB-15.2.2w.2](#).

1.4.2.3. Hypothèses coeur

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

La puissance résiduelle est supposée constante sur la durée du transitoire. Les valeurs respectives de découpage du planning d'arrêt de tranche pour les états C3 et D sont fournies dans le tableau [TAB-15.2.2w.3](#). [1].

1.4.2.4. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

Dans la mesure où les trains RIS-RA en service initialement sont les seuls systèmes crédités durant le transitoire, si deux trains RIS-RA parviennent à évacuer la puissance résiduelle sans autre intervention, alors aucun aggravant n'est à considérer.

Dans le cas où les pompes ISMP seraient sollicitées, l'aggravant sera appliqué [1].

Aucune maintenance préventive n'est considérée pour ce transitoire.

1.5. RÉSULTATS

Ce paragraphe présente les résultats de l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B).

1.5.1. À LA DESCENTE (arrêt de tranche)

Lors de la perte d'un train RIS-RA dans les états C3 et D, la puissance totale (somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes en fonctionnement) est toujours évacuée par les 2 trains restant en fonctionnement et l'inventaire en eau dans le circuit primaire n'est alors pas dégradé. En effet, 2 trains RIS-RA sont capables d'évacuer la puissance totale majorée [1]. La température maximale atteinte dans le circuit primaire au cours du transitoire de perte d'un train RIS-RA dans les états C3 et D est [1] inférieur à la température de saturation du fluide à une pression de 0,8 bar (93,5° C environ). La pression minimale de 0,8 bar abs est atteinte lors du balayage azote.

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

L'inventaire en eau est stable (la saturation n'est pas atteinte).

Il n'y a pas de découvrement du cœur tout au long du transitoire et pas de production de vapeur, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) sont vérifiés, l'état contrôlé est atteint.

1.5.2. A LA REMONTÉE (démarrage de tranche)

Le cas de la remontée est couvert par la descente lorsque la pression de fonctionnement dans le CPP est comprise entre 1,0 bar et 0,8 bar, du fait d'une puissance totale à évacuer réduite.

Dans l'état C3, la pression primaire à la remontée peut se trouver à une valeur de 0,2 bar (mise au vide du CPP). Dans ces conditions, la température de saturation du primaire est de 60°C. Deux trains RIS-RA en mode RA ne permettent pas d'évacuer la puissance totale majorée \square en maintenant la température primaire sous 60°C. Le primaire passe alors à saturation. Cependant la diminution préventive du débit dans les trains RIS-RA en mode RA (du fait d'une pression dans le primaire à 0,2 bar, cf. tableau [TAB-15.2.2w.2](#)) permet d'éviter tout phénomène de cavitation.

Le signal d'Injection de Sécurité est alors atteint suite à la baisse de niveau dans le primaire engendrée par la vaporisation d'une partie du primaire. Le CPP est refermable pendant la phase de mise au vide. Il est donc repressurisable. Sous l'effet du démarrage des pompes ISMP, la pression dans le primaire augmente jusqu'à atteindre la pression de refoulement des pompes ISMP \square et l'inventaire en eau du primaire se stabilise. Or la température de stabilisation du primaire pour évacuer la puissance totale \square tenant compte de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP avec 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit \square étant inférieure à la température de saturation de la pression de refoulement des pompes ISMP, la puissance totale est évacuée.

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur tout au long du transitoire, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) sont vérifiés, l'état contrôlé est atteint.

1.5.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

1.5.3.1. A la descente

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur tout au long du transitoire, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Suite à la perte d'un train RIS-RA en mode RA, deux trains RIS-RA en mode RA restent en fonctionnement ce qui permet d'évacuer la puissance totale à long terme.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) sont vérifiés, l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.3.2. A la remontée

Suite à la perte d'un train RIS-RA en mode RA, deux trains restent en fonctionnement.

Lorsque la pression dans le primaire est supérieure ou égale à 0,8 bar, deux trains RIS-RA en mode RA permettent d'évacuer la puissance totale et à long terme (cf. [§ 1.5.2.](#)). L'état d'arrêt sûr est atteint.

Lorsque la pression primaire est égale à 0,2 bar, le primaire passe à saturation du fait d'une température de saturation à 60°C (cf. [§ 1.5.2.](#)). Cependant la diminution préventive du débit dans les trains RIS-RA en mode RA permet d'éviter tout phénomène de cavitation. L'atteinte du signal d'Injection de Sécurité sur bas niveau boucle permet l'augmentation de la pression primaire et l'évacuation de la puissance totale à long terme.

Toutefois, la mise en service automatique de l'IS sur signal de bas niveau boucle conduit à l'entrée en conduite post-accidentelle. En l'absence d'autres informations caractéristiques, l'opérateur procède le cas échéant à un Test d'Intégrité Primaire (T.I.P), une fois les paramètres primaires (Pression, niveau) stabilisés (dans l'état Cb1 seule la pression primaire stabilisée permet d'effectuer le T.I.P). Ce test a pour objectif d'identifier si la baisse de l'inventaire en eau du CPP, qui a conduit au signal IS, est imputable à une brèche isolable, non isolable, ou à un problème lié au RCV.

Lors de son test, l'opérateur s'appuie sur la mesure de pression primaire en branche chaude.

En état C3 : Seuls les sous-états Ca4 et Cb1 nécessitent la réalisation d'un T.I.P car ce sont les seuls concernés par la problématique d'un passage sous 0,8 bar et d'un démarrage de l'IS. Lors du T.I.P, l'IS est maintenu en service. Lorsque les trains RIS-RA n'ont pas été stoppés sur protection de très bas niveau boucle (ce qui est le cas ici), l'opérateur arrête un train RIS-RA initialement connecté, l'isole, et observe la pression primaire ; si elle augmente de plus d'une valeur seuil Δ , c'est que le train porte une brèche ; si le test est négatif, l'opérateur remet ce train en service et poursuit le test sur le train RIS-RA suivant. Ici en l'occurrence, il n'y aura pas de hausse significative de pression liée à un isolement de brèche. Les tests sur les trains seront donc négatifs. Il est à noter que disposer de 2 trains RIS-RA en mode RA pendant la réalisation du T.I.P permet d'évacuer la puissance résiduelle.

Dans le sous-état Ca4, le T.I.P réalisé sur les trains RIS-RA étant déclaré négatif, l'opérateur déclarera le primaire non intègre. Dès lors, l'opérateur démarrera le train RIS-RA en attente en mode ISBP et mettra à l'arrêt toutes les pompes ISMP. Dans le sous état Cb1, une fois le T.I.P déclaré négatif, l'opérateur arrête l'IS et attend la stabilisation des paramètres et observe les mesures. La pression et l'inventaire en eau se maintiennent. L'opérateur pourra alors conclure à l'intégrité du primaire.

En état D : aucun T.I.P ne sera réalisé dans la mesure où le signal d'IS ne sera pas atteint. Les conditions d'entrée en CIA ne sont pas atteintes. En effet dans l'état D, la pression primaire reste supérieure à 1,0 bar et les 2 trains RIS-RA en mode RA restant en service permettent d'évacuer la puissance totale.

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

La puissance totale est évacuée par les trains RIS-RA restant en service.

Il n'y a pas de découvrément du cœur tout au long du transitoire et pas de production de vapeur, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) sont vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B).

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de perte d'un train RIS-RA en mode RA (états C3, D). Conformément aux règles d'études dans les états d'arrêt (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant initial du transitoire.

1.6.1. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les critères et objectifs de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC4 et sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$;
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme ;
 - L'inventaire en eau est stable ;
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm) ;
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ;
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.6.2. MOYENS DE PROTECTION

A la suite du MDTE, le démarrage automatique des diesels de secours principaux sur signal de basse tension assure de nouveau l'alimentation électrique des trains RIS-RA.

Par ailleurs, et de la même façon que dans l'étude sans MDTE, si l'analyse conclut à une diminution de l'inventaire en eau du primaire, les signaux de protection sur niveau boucle seront pris en compte.

1.6.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

1.6.3.1. Méthode

La démonstration s'effectue au moyen de calculs \square simulant la perte d'un train RIS-RA en mode RA. \square .

L'objectif est de montrer que les caractéristiques de la chaîne de refroidissement RRA-RRI-SEC garantissent une température en branche chaude inférieure à la température limite entraînant des phénomènes de cavitation dans les pompes ISBP lorsque la pression dans le primaire est de 1,0 bar pour une plage de débit comprise entre le débit de consigne RRA nominal, minoré et majoré de son incertitude.

1.6.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

1.6.4.1. État initial

Les caractéristiques à l'instant initial des états C3 et D retenues sont identiques au cas sans MDTE (§ 1.4.2.1.).

La température primaire est également pénalisée \square .

1.6.4.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

1.6.4.2.1. Trains RIS-RA

Trois trains sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le quatrième train est en attente en mode ISBP.

A $t = 0s$, un des trois trains initialement en fonctionnement devient défaillant. De façon pénalisante, on suppose qu'il devient totalement inopérant et qu'il ne participe donc plus à l'évacuation de puissance, et ce même après le démarrage automatique des diesels de secours principaux. []

[]

Par ailleurs, l'aggravant est appliqué []

Un seul train RIS-RA en mode RA se remet alors en service pour évacuer la puissance totale après la séquence de retestage sur les diesels de secours principaux.

1.6.4.2.2. Pompes ISMP

L'étude crédite les pompes ISMP démarrées automatiquement sur signal de bas niveau boucle atteint en branche chaude, dans le cas où une production de vapeur serait observée dans le primaire et conduirait à une diminution suffisante du niveau d'eau dans les boucles.

L'application de l'aggravant [], conduit à considérer une pompe ISMP indisponible après reconnexion des diesels de secours principaux.

Par ailleurs, aucune maintenance préventive sur les ISMP n'est initiée dans les états C et D.

Les données des systèmes d'injection sont prises pénalisées (grande ligne à débit minimum ouverte).

[]

1.6.4.2.3. Caractéristiques des échangeurs

1.6.4.2.3.1. Caractéristiques du RIS-RA

Le RIS-RA est supposé fonctionner à son débit de consigne [], ce débit passant uniquement dans l'échangeur de chaleur. []

L'échangeur de chaleur RIS-RA possède la capacité d'échange suivante :

[]

1.6.4.2.3.2. Caractéristiques du RRI

La configuration initiale choisie est celle qui conduit à une charge thermique maximale côté RRI lors de l'accident de perte d'un train RIS-RA avec cumul du MDTE. Cette configuration est présentée dans le tableau [TAB-15.2.2w.4](#). La charge thermique est composée uniquement des communs 1b du RRI (configuration post MDTE). L'hypothèse est faite que le refroidissement de la piscine PTR est assurée par le train RRI associé au train RIS-RA en attente.

La charge thermique et les débits en état C3 avec cumul du MDTE sont présentés dans le tableau [TAB-15.2.2w.5](#).

Nota : les communs « 1b » (resp. « 2b ») représentent tous les communs hors PTR et consommateurs dédiés (moteurs des pompes de sauvegarde) pouvant être refroidis par le train RRI 1 ou 2 (resp. 3 ou 4).

1.6.4.2.3.3. Caractéristiques du SEC

La température de la source froide est prise à 26° C. Les contraintes d'exploitation indiquent que lorsque la température de la source froide est supérieure ou égale à 22° C, les communs « 2b » et le PTR sont basculés sur le train RRI en attente.

Le SEC a un débit constant []

L'échangeur RRI/SEC [] possède un KS constant []

1.6.4.3. Hypothèses cœur

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

La puissance résiduelle est supposée constante sur la durée de la séquence accidentelle. Les valeurs respectives de découpage du planning d'arrêt de tranche pour les états C3 et D sont fournies dans le [TAB-15.2.2w.3](#). □.

1.6.4.4. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

Comme indiqué dans le § [1.6.4.2.2](#), si l'étude valorise les pompes ISMP, aucune maintenance préventive ne sera supposée sur une pompe ISMP.

L'aggravant retenu dans cette étude □ rend en particulier un train RIS-RA en mode RA indisponible pour l'évacuation de la puissance résiduelle.

1.6.5. RÉSULTATS

1.6.5.1. A la descente

Les figures [FIG-15.2.2w.1](#) à [FIG-15.2.2w.3](#) et [FIG-15.2.2w.4](#) à [FIG-15.2.2w.6](#) présentent respectivement les principaux résultats obtenus suite à la simulation de la perte d'un train RIS-RA en mode RA avec cumul du MDTE pour un débit dans le train RIS-RA restant en service minoré et majoré de son incertitude. Ces résultats sont enveloppes pour les états C3 et D.

Il apparaît que la température de la branche chaude du train 2 (train restant en service) se stabilise :

- □ lorsque le débit traversant le train RIS-RA en mode RA en service est minoré de son incertitude. Cette température reste inférieure à 98,8°C, température correspondant à la limite à ne pas dépasser en branche chaude pour éviter tout phénomène de cavitation dans le train RIS-RA en mode RA en fonctionnement, pour un débit le traversant minoré de son incertitude □. Tout phénomène de cavitation dans le train RIS-RA en mode RA en fonctionnement est évité lorsque la pression primaire est supérieure ou égale à 1,0 bar. La puissance totale est alors évacuée en toute sécurité.
- □ lorsque le débit traversant le train RIS-RA en mode RA en service est majoré de son incertitude. Cette température reste inférieure à 94,5°C, température correspondant à la limite à ne pas dépasser en branche chaude pour éviter tout phénomène de cavitation dans le train RIS-RA en mode RA en fonctionnement, pour un débit le traversant majoré de son incertitude □. Tout phénomène de cavitation dans le train RIS-RA en mode RA en fonctionnement est évité lorsque la pression primaire est supérieure ou égale à 1,0 bar. La puissance totale est alors évacuée en toute sécurité.

□

La figure [FIG-15.2.2w.8](#) présente sur un même graphe, en fonction du débit volumique traversant le train RIS-RA en mode RA :

- La limite de température en branche chaude à ne pas dépasser pour éviter tout phénomène de cavitation dans le train RIS-RA en mode RA en fonctionnement.
- La température branche chaude de stabilisation du circuit primaire suite à la perte d'un train RIS-RA en mode RA avec cumul du MDTE.

Il apparaît que la température de stabilisation reste dans toute la plage de débit considérée (débit nominal minoré et majoré de son incertitude) inférieure à la température limite de cavitation. Tout phénomène de cavitation dans le train RIS-RA en mode RA en fonctionnement est donc évité lorsque la pression primaire est supérieure ou égale à 1,0 bar. La puissance totale est alors évacuée en toute sécurité.

Lors de la descente, la pression primaire en cas de MDTE reste supérieure à 1,0 bar dans la mesure où la pompe utilisée pour réaliser le balayage azote n'est pas retestée automatiquement suite au MDTE. Le cas pour lequel la pression dans le primaire est de 0,8 bar (balayage azote) est couvert par l'étude des cas pour lesquels la pression primaire est de 1,0 bar.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur tout au long de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.6.1](#) sont vérifiés.

1.6.5.2. A la remontée

Le cas de la remontée est couvert par la descente lorsque la pression de fonctionnement dans le CPP est de 1,0 bar, du fait d'une puissance totale à évacuer réduite.

Lors de la remontée, la pression primaire en cas de MDTE reste supérieure à 1,0 bar dans la mesure où la pompe utilisée pour réaliser le balayage azote n'est pas retestée automatiquement suite au MDTE. Cependant l'analyse est réalisée par découplage pour une valeur de 0.2bar

Le cas pour lequel la pression dans le primaire est de 0,8 bar (balayage d'azote) n'est donc pas étudié dans le présent paragraphe.

Lors de la mise au vide du CPP, la pression dans le primaire atteint 0,2 bar. Dans ces conditions, la température de saturation du primaire est de 60°C. Le train RIS-RA en mode RA restant en service ne permet pas d'évacuer la puissance totale majorée \square en maintenant la température primaire sous 60°C. Le primaire passe alors à saturation. Cependant la diminution préventive du débit dans le train RIS-RA en mode RA (du fait d'une pression dans le primaire à 0,2 bar, cf. [TAB-15.2.2w.2](#)) permet d'éviter tout phénomène de cavitation.

Le signal d'Injection de Sécurité est alors atteint suite à la baisse de niveau dans le primaire engendrée par la vaporisation d'une partie du primaire. Le CPP est refermable pendant la phase de mise au vide. Il est donc repressurisable. Sous l'effet des pompes ISMP démarrées, la pression dans le primaire augmente jusqu'à atteindre la pression de refoulement des pompes ISMP \square et l'inventaire en eau du primaire se stabilise. Or la température de stabilisation du primaire pour évacuer la puissance totale \square tenant compte de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP avec 1 train RIS-RA en mode RA à débit réduit \square étant inférieure à la température de saturation de la pression de refoulement des pompes ISMP, la puissance totale est évacuée en toute sécurité.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur tout au long de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.6.1](#) sont vérifiés.

1.6.5.3. Atteinte de l'état d'arrêt sûr

1.6.5.3.1. A la descente

Suite à la perte d'un train RIS-RA en mode RA avec cumul du MDTE, un seul train RIS-RA en mode RA est en fonctionnement suite au retestage automatique des pompes ISBP via les diesels de secours (cf. [§ 1.6.4.2.1](#)).

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur tout au long de l'accident et pas de production de vapeur, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale à long terme.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.6.1](#) sont vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.5.3.2. A la remontée

Suite à la perte d'un train RIS-RA en mode RA avec cumul du MDTE, un seul train RIS-RA en mode RA est en fonctionnement suite au restage automatique des pompes ISBP via les diesels de secours (cf. [§ 1.6.4.2.1](#)).

Lorsque la pression dans le primaire est supérieure ou égale à 0,8 bar, un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale à long terme en toute sécurité (cf. [§ 1.6.5.2](#)). L'état sûr est atteint.

Lorsque la pression primaire est égale à 0,2 bar, le primaire passe à saturation du fait d'une température de saturation à 60°C (cf. [§ 1.6.5.2](#)). Cependant la diminution préventive du débit dans le train RIS-RA en mode RA permet d'éviter tout phénomène de cavitation. L'atteinte du signal d'Injection de Sécurité sur bas niveau boucle permet l'augmentation de la pression primaire et l'évacuation de la puissance totale à long terme et en toute sécurité.

Toutefois, la mise en service automatique de l'IS sur signal de bas niveau boucle conduit à l'entrée en conduite post-accidentelle. En l'absence d'autres informations caractéristiques, l'opérateur procède le cas échéant à un Test d'Intégrité Primaire (T.I.P), une fois les paramètres primaires (Pression, niveau) stabilisés (dans l'état Cb1 seule la pression primaire stabilisée permet d'effectuer le T.I.P). Ce test a pour objectif d'identifier si la baisse de l'inventaire en eau du CPP, qui a conduit au signal IS, est imputable à une brèche isolable, non isolable, ou à un problème lié au RCV.

Lors de son test, l'opérateur s'appuie sur la mesure de pression primaire en branche chaude.

En état C3 : Seuls les sous-états Ca4 et Cb1 nécessitent la réalisation d'un T.I.P car ce sont les seuls concernés par la problématique d'un passage sous 0,8 bar et d'un démarrage de l'IS. Lors du T.I.P, l'IS est maintenu en service. Lorsque le train RIS-RA n'a pas été stoppé sur protection de bas niveau boucle MIN2 (ce qui est le cas ici), l'opérateur redémarre le train RIS-RA en attente en mode RA et arrête un train RIS-RA, l'isole, et observe la pression primaire ; si elle augmente de plus d'une valeur seuil Δ , c'est que le train porte une brèche ; si le test est négatif, l'opérateur remet ce train en service et poursuit le test sur le train RIS-RA suivant. Ici en l'occurrence, il n'y aura pas de hausse significative de pression liée à un isolement de brèche. Le test sur le train sera donc négatif. Il est à noter que disposer de 2 trains RIS-RA en mode RA pendant la réalisation du T. I. P permet d'évacuer la puissance résiduelle.

Dans le sous-état Ca4, le T.I.P réalisé sur les trains RIS-RA étant déclaré négatif, l'opérateur déclarera le primaire non intègre. Dès lors, l'opérateur maintiendra un train ISMP en service. Dans le sous état Cb1, une fois le T.I.P déclaré négatif, l'opérateur arrête l'IS et attend la stabilisation des paramètres et observe les mesures. La pression et l'inventaire en eau se maintiennent. L'opérateur pourra alors conclure à l'intégrité du primaire.

En état D : aucun T.I.P ne sera réalisé dans la mesure où le signal d'IS ne sera pas atteint. En effet dans l'état D, la pression primaire reste supérieure à 1,0 bar et le train RIS-RA en mode RA restant en service permet d'évacuer la puissance totale. Les conditions d'entrée en CIA sont cependant atteintes du fait de la perte de 2 trains RIS-RA.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur tout au long de l'accident et pas de production de vapeur, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale à long terme.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.6.1.](#) sont vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.7. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

L'étude de la perte d'un train RIS-RA en mode RA dans les états C3 et D, menée sur la base d'un jeu d'hypothèses intermédiaire, démontre le respect des critères de sûreté mentionnés au [§ 1.2.2.](#) et au [§ 1.6.1.](#) et l'atteinte de l'état d'arrêt sûr : la puissance totale est évacuée, l'inventaire en eau du primaire est stable, la sous-criticité est garantie et les rejets radiologiques restent tolérables (voir [§ 1.5.3.1.](#), [§ 1.5.3.2.](#), [§ 1.6.5.3.1.](#), [§ 1.6.5.3.2.](#)).

1.8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

L'évolution des débits RIS (voir sous-chapitre 15.1) entraîne la réduction de la pression de refoulement des pompes ISMP . La température de saturation de la pression de refoulement des pompes ISMP reste supérieure à la température de stabilisation du primaire . La puissance totale est alors évacuée, les critères de sûreté sont vérifiés.

L'[A- -15.2.2w.2](#) reprend l'analyse de l'[A- -15.2.2w.1](#) avec des KS en cohérence avec l'état final de conception. Les températures de stabilisations sont, dans tous les cas, inférieures à celles obtenues avec le jeu d'hypothèses intermédiaire ([A- -15.2.2w.1](#)).

Impact de la fuite aux joints des GMPP

Dans les états Cb1 à D, la ligne de fuite du joint n° 1 a préalablement été fermée car la barrière thermique est isolée, le primaire est initialement à 1bar abs et les glaces du joint n° 1 sont en contact. Dans ces conditions il n'y a pas de fuite aux joints des pompes primaires.

Dans le sous état Ca4, la prise en compte d'un retour de fuite aux joints des GMPP non compensé conduit à l'atteinte du signal d'IS de façon systématique. En effet à la descente la fuite aux joints provoque la baisse de niveau sans passage à saturation d'où l'atteinte du signal d'IS et, à la remontée, la fuite aux joints conduit plus rapidement à l'atteinte du signal d'IS du fait du passage à saturation (lors de la mise au vide du CPP). L'atteinte du signal d'IS conduit à l'entrée en CIA, l'opérateur procède alors au T.I.P décrit dans le [§ 1.5.3.2.](#) et le [§ 1.6.5.3.2.](#)

La fuite aux joints ne modifie pas les observations de pressions faites par l'opérateur puisqu'il n'y aura pas de hausse significative de pression liée à un isolement de brèche. Les tests sur les trains seront donc négatifs, ainsi l'opérateur déclarera le primaire non intègre. L'IS sera alors maintenue en service et compensera donc la fuite aux joints des GMPP.

De plus la fuite aux joints ne dégrade pas les capacités d'évacuation de puissance des trains RIS-RA, puisque la pression dans le primaire augmente jusqu'à atteindre la pression de refoulement des pompes ISMP suite à leur démarrage automatique sur atteinte du signal d'IS Min1p « bas niveau branche chaude ».

La puissance totale est alors évacuée, l'inventaire du primaire est stable grâce au maintien de l'IS, la sous criticité est garantie et les rejets radiologiques restent tolérables : les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.6.1.](#) sont donc vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.9. CONCLUSION

Cette étude de perte d'un train RIS-RA en mode RA dans les états C3 et D montre que les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) et au [§ 1.6.1.](#) sont respectés (cf. [§ 1.5.3.1.](#), [§ 1.5.3.2.](#), [§ 1.6.5.3.1.](#), [§ 1.6.5.3.2.](#)) et l'état d'arrêt sûr est atteint à l'aide des systèmes classés F1A :

- Un train RIS-RA en cas de MDTE et deux trains RIS-RA sans MDTE pour évacuer la puissance résiduelle ;
- La sous-criticité est garantie ;
- L'inventaire en eau du primaire est stable. Pour le sous-état Ca4, l'IS assure la stabilité de l'inventaire en eau du primaire ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

2. ETAT E

2.1. DÉFINITION ET CAUSES DU TRANSITOIRE

2.1.1. Définition

Le scénario à prendre en compte en état E est la perte d'un train RIS-RA en mode RA pour un fonctionnement à niveau piscine BR pleine \square .

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- Etat E - Hors manutention combustible : les assemblages de combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être ouvert (commande groupée activée) ou fermé (commande groupée non activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont initialement en service et le 4^{ème} train est en stand-by (ce train n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de ce transitoire). La piscine BK est refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine. L'état hors manutention combustible débute au plus tôt 45,5h après l'arrêt du réacteur et dure au minimum 20h ;
- Etat E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage combustible peut-être en cours d'extraction ou de mise en place dans la cuve. Il transite dans la piscine réacteur « principale », dans les compartiments de transfert et dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage combustible peut être en cours de manutention dans la piscine BK. Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RRA sont initialement en service. La piscine BK est refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre BR et BK est ouvert. L'état chargement-déchargement débute au plus tôt 65,5h après l'arrêt du réacteur et se termine au plus tôt à 111h après l'arrêt du réacteur.

2.1.2. Causes

Pendant ces états, une défaillance de l'un des trois trains RIS-RA en fonctionnement est susceptible de se produire, par l'un des initiateurs suivants :

- Défaillance d'une pompe ISBP,
- Mauvais fonctionnement d'un échangeur RRI/RRA,
- Fermeture intempestive d'une des vannes d'isolement à l'aspiration RRA ou d'une vanne réglante à l'injection,
- Signal intempestif d'isolement automatique d'un train RIS-RA sur haut niveau BAS ou haute pression BAS.

Ce transitoire est un événement PCC-2.

2.2. DESCRIPTION DU TRANSITOIRE : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.2.1. Description du transitoire

Le niveau initial est considéré piscine BR pleine ☐. Trois trains RIS-RA en mode RA sont initialement en service et permettent de maintenir la température du circuit primaire sous 55°C.

Une défaillance est postulée sur un des trains en fonctionnement. De façon pénalisante, on suppose que ce train devient totalement inopérant et qu'il ne participe donc plus à l'évacuation de puissance : cette dernière n'est plus dissipée que par les trains restants.

2.2.2. Critères d'études

Les critères techniques d'acceptation à vérifier pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont ceux définis au chapitre 15.0.3 relatif à la piscine combustible :

- Absence de découverture des assemblages combustibles :
 - non-découvrement du cœur en état E hors manutention combustible,
 - non découverture du combustible en cours de manutention ☐ en état E chargement-déchargement.
- Maintien permanent de la sous criticité.
- Evacuation de la puissance résiduelle côté BR par les trains RIS-RA.
- Evacuation de la puissance résiduelle côté BK par les trains PTR principaux.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- Non ébullition dans la piscine BR et BK ;
- Maintien d'une marge significative vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK ☐. Pour les situations PCC hors vidange, le dépassement transitoire de température ☐ n'est pas autorisé.

2.3. MOYENS DE PROTECTION

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), les signaux de protection crédités sont le signal d'injection de sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA.

Dans cette configuration, le signal d'IS est émis sur l'atteinte sur seuil Min1p : « bas niveau boucle » et le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil Min2p : « bas niveau boucle ».

En état E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible » avec le tube de transfert ouvert (commande groupée activée), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil Min 1 : « bas niveau piscine transfert BR » (cf. figure [FIG-15.2.2w.9](#)).

Les trains principaux PTR en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil Min 4 BK « bas niveau piscine BK » ☐. À l'atteinte du niveau piscine ☐ (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

2.4.1. Méthode

La démonstration est traitée par un argumentaire basé sur des bilans d'énergie au niveau de l'échangeur RRI/RRA, intégrant des données d'entrée pénalisées (cf. [A- -15.2.2w.3](#)).

2.4.2. État initial

En état E, à pression atmosphérique dans l'enceinte, la température du circuit primaire et de la piscine BR est de \square °C \square . Initialement, l'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La température initiale de la piscine de désactivation est de \square °C (critère STE), et le refroidissement de la piscine de désactivation peut être assuré par les deux trains principaux PTR.

Dans les études d'accidents, le niveau d'eau initial pour les piscines BR et BK considéré est de \square m.

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. La fermeture du tube de transfert étant une action \square , sa refermeture n'est pas valorisable avant \square h après le premier signal significatif. Pour ce scénario, lorsqu'il est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant tout le transitoire.

2.4.3. Hypothèses systèmes fluides et régulations

2.4.3.1. Trains ISBP

En état hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), les trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4^{ème} train est en stand-by (ce train n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de ce transitoire).

En état E hors manutention combustible tube de transfert ouvert (commande groupée activée) et en état E chargement-déchargement, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial.

A $t = 0$ s, un des trois trains initialement en fonctionnement devient défaillant. De façon pénalisante, on suppose qu'il devient totalement inopérant et qu'il ne participe donc plus à l'évacuation de puissance.

Compte tenu des pénalisations à appliquer en PCC-2, l'initiateur est appliqué sur le train le plus efficace au niveau de l'échange thermique.

2.4.3.2. Pompes ISMP

En état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), de manière analogue à l'état D, les pompes ISMP démarrent automatiquement sur signal de « Bas niveau boucle ».

En état E hors manutention combustible tube de transfert ouvert (commande groupée activée) et en état E chargement-déchargement, le démarrage de l'ISMP se fait sur action opérateur.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale \square pour la démonstration de sûreté. La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST \square .

2.4.3.3. TRAINS PTR PRINCIPAUX

En état hors manutention combustible tube de transfert fermé (commande groupée non activée), un seul train PTR est supposé en fonctionnement pour refroidir la piscine BK à l'instant initial. Deux trains PTR sont supposés en fonctionnement lorsque le tube de transfert est ouvert (commande groupée activée) ou qu'au moins un assemblage combustible est déchargé en piscine.

Aucune maintenance préventive n'est autorisée sur les trains PTR principaux en état E.

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR sont mentionnées en [A- -15.2.2w.4](#).

2.4.3.4. Caractéristiques des échangeurs RRI/RRA

Les coefficients d'échange KS seront calculés sur la base des données présentées dans le [A-15.2.2w.3](#).

2.4.4. Hypothèses cœur

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

Les puissances résiduelles des piscines BR et BK sont supposées constantes sur toute la durée du transitoire.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BR, pour les calculs réalisés avec une puissance nominale de 4300 MW est égale à \square MW en état E « hors manutention combustible » et \square MW en état E « chargement-déchargement ».

La puissance résiduelle BR retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 \square ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. La puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BK est égale à \square MW en état « chargement-déchargement ». Elle est maximale juste après que le dernier assemblage a été déchargé du réacteur. Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance de la piscine BR \square à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle \square .

2.4.5. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

Aggravant :

Dans la mesure où les trains RIS-RA en service initialement sont les seuls systèmes crédités durant le transitoire et que deux trains RIS-RA parviennent à évacuer la puissance résiduelle sans autre intervention, alors aucun aggravant n'est à considérer.

Dans le cas où les pompes ISMP seraient sollicitées, l'aggravant sera appliqué à une pompe ISMP.

Maintenance :

En état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), une maintenance est prise en compte sur un train ISMP.

En état E pour chargement/déchargement (commande groupée activée), une maintenance est prise en compte sur une division électrique. Cela entraîne l'indisponibilité d'un train RIS-RA et d'un train ISMP.

Côté piscine BK, aucune maintenance préventive n'est postulée sur les trains PTR en état E.

2.5. RÉSULTATS

2.5.1. Analyse de l'état hors manutention combustible tube de transfert fermé (commande groupée non activée)

En état E « hors manutention combustible », commande groupée non activée, lors de la perte d'un train RIS-RA, la puissance totale (somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes en fonctionnement) est toujours évacuée par les deux trains restant en fonctionnement et l'inventaire en eau dans le circuit primaire n'est alors pas dégradé.

En effet, côté BR, un seul train RIS-RA est capable d'évacuer la puissance totale en début d'état E \square majorée de la puissance de la pompe ISBP \square . La température se stabilise alors \square (le calcul est présenté en [A-15.2.2w.3](#)). L'évacuation de la puissance résiduelle est donc garantie.

Cet initiateur n'entraîne pas de perte d'inventaire en eau si bien que l'intégrité des pompes RIS-RA est garantie tout comme le non dénoyage du combustible situé en cuve.

Côté piscine BK, au moins un train PTR est disponible et maintenu en service pendant toute la durée du transitoire pour évacuer la puissance résiduelle.

L'inventaire en eau n'étant pas dégradé, aucun apport d'eau supplémentaire n'est nécessaire. Les appoints en eau claire disponibles (JAC/JPI) ne sont donc pas valorisés. Le maintien de la sous criticité est donc garanti.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) sont vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.5.2. Analyse de l'état chargement déchargement (commande groupée activée)

L'état E « chargement-déchargement » (commande groupée activée) est couvert par le cas en état E « hors manutention combustible » (commande groupée non activée) dans la mesure où la puissance résiduelle est plus faible et que les systèmes nécessaires à l'atteinte de l'état sûr (trains RIS-RA) sont identiques et en fonctionnement.

Côté piscine BK, deux trains PTR sont disponibles et maintenus en service pendant toute la durée du transitoire pour évacuer la puissance résiduelle.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) sont donc vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.6. IMPACT DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque de Tension Externe) sur le transitoire de perte d'un train RIS-RA en mode RA (état E). Conformément aux règles d'études dans les états d'arrêt (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant initial du transitoire.

2.6.1. Critères d'études

Les critères techniques d'acceptation à vérifier pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont identiques à ceux décrits dans l'étude sans MDTE ([§ 2.2.2.](#)).

Les critères complémentaires sont les suivants :

- Non ébullition dans la piscine BR et BK ;
- T piscines BR et BK \leq \square °C avec dépassement admissible transitoirement \square .

2.6.2. Moyen de protection

A la suite du MDTE, le démarrage automatique des diesels de secours principaux sur signal de basse tension assure de nouveau l'alimentation électrique des trains RIS-RA.

Par ailleurs, en état E « hors manutention combustible » (commande groupée non activée), de la même façon que dans l'étude sans MDTE, si l'analyse conclut à une diminution de l'inventaire en eau du primaire, les signaux de protection sur niveau boucle seront pris en compte.

En état E hors manutention combustible tube de transfert ouvert (commande groupée activée) et en état E chargement-déchargement, de la même façon que pour l'étude sans MDTE, les signaux de protection sur bas niveaux piscines seront pris en compte ([§ 2.3.](#)).

2.6.3. Hypothèses d'études

2.6.3.1. Méthode

La démonstration est effectuée grâce à des bilans d'énergie au niveau de l'échangeur RRI/RRA, intégrant des données d'entrée pénalisées.

2.6.3.2. état initial

Les caractéristiques à l'instant initial des retenues sont identiques au cas sans MDTE ([§ 2.4.2.](#)).

La température primaire est également pénalisée de +4°C.

2.6.3.3. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Trains RIS-RA :

En état hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), les trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4^{ème} train est en stand-by (ce train n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de cet accident).

En état E hors manutention combustible tube de transfert ouvert (commande groupée activée) et en état E chargement-déchargement, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial.

A $t = 0s$, un des trois trains initialement en fonctionnement devient défaillant. De façon pénalisante, on suppose qu'il devient totalement inopérant et qu'il ne participe donc plus à l'évacuation de puissance, et ce même après le démarrage automatique des diesels de secours principaux. Le train défaillant sera choisi parmi les plus efficaces au niveau de l'échange thermique.

Par suite du MDTE postulé à $t = 0s$, les trains initialement en fonctionnement cessent de fonctionner de façon conservative .

Par ailleurs, l'aggravant est appliqué à un générateur diesel ne démarrant pas à la sollicitation.

Un seul train RIS-RA en mode RA se remet alors en service pour évacuer la puissance totale après la séquence de retestage sur les diesels de secours principaux.

Trains PTR principaux :

En état hors manutention combustible tube de transfert fermé (commande groupée non activée), un seul train PTR est supposé en fonctionnement pour refroidir la piscine BK à l'instant initial. Deux trains PTR sont supposés en fonctionnement lorsque le tube de transfert est ouvert (commande groupée activée) ou qu'au moins un assemblage combustible est déchargé en piscine.

Aucune maintenance préventive n'est autorisée sur les trains PTR principaux en état E.

Par suite du MDTE postulé à $t = 0s$, le ou les trains PTR initialement en fonctionnement s'arrêtent. Même si par conception les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée .

Du fait de l'aggravant pris sur un diesel de secours, un train PTR est perdu pour assurer le refroidissement de la piscine BK.

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR sont mentionnées en [A- -15.2.2w.1.](#)

Pompes ISMP :

En état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), de manière analogue à l'état D, les pompes ISMP démarrent automatiquement sur signal de « Bas niveau boucle ».

En état E hors manutention combustible tube de transfert ouvert (commande groupée activée) et en état E chargement-déchargement, la mise en service de l'ISMP se fait sur action opérateur.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale \square pour la démonstration de sûreté (grande ligne à débit minimum ouverte). La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST \square .

L'application de l'aggravant à un générateur diesel ne démarrant pas à la sollicitation, conduit à considérer une pompe ISMP indisponible après reconnexion des diesels de secours principaux.

Caractéristiques des échangeurs RRI/RRA :

Les coefficients d'échange KS sont calculés sur la base des données présentées dans le tableau 1 en [A- -15.2.2w.3](#).

2.6.3.4. Hypothèses cœur

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

Les hypothèses relatives aux puissances résiduelles des piscines BR et BK sont identiques au cas sans MDTE ([§ 2.4.4](#)).

2.6.4. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

Aggravant :

L'aggravant le plus pénalisant est la perte d'un diesel de secours principal, ne démarrant pas sur sollicitation compte tenu de la prise en compte du MDTE, et impliquant côté BR la perte d'un train RIS-RA et d'un train ISMP et côté BK la perte d'un train PTR.

Maintenance :

En état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé) une maintenance est prise en compte sur un train ISMP.

En état E hors manutention combustible tube de transfert ouvert (commande groupée activée) et état E pour chargement/déchargement, une maintenance est prise en compte sur une division électrique. Cela entraîne l'indisponibilité d'un train RIS-RA et d'un train ISMP.

Côté piscine BK, aucune maintenance préventive n'est postulée sur les trains PTR en état E.

2.6.5. Résultats

2.6.5.1. Analyse de l'état hors manutention combustible tube de transfert fermé (commande groupée non activée)

Suite à une perte des alimentations électriques, les diesels permettent de relester \square les trains RIS-RA momentanément non alimentés. En considérant un aggravant sur un diesel et un train perdu sur l'initiateur, il reste au moins un train RIS-RA disponible pour évacuer la puissance résiduelle, ce qui est suffisant.

En effet, en état E « hors manutention combustible », un train RIS-RA est capable d'évacuer la puissance totale en début d'état E \square majorée de la puissance de la pompe ISBP \square . La température se stabilise alors \square (le calcul est présenté en [A- -15.2.2w.3](#)). L'évacuation de la puissance résiduelle est donc garantie. Côté piscine BK, au moins un train PTR est disponible pour évacuer la puissance résiduelle.

Côté piscine BK, la défaillance d'un diesel de secours principal au titre de l'aggravant prive d'alimentation électrique le train PTR principal initialement en fonctionnement. Un second train PTR principal qui est lui secouru par un diesel en fonctionnement reste disponible et est redémarré manuellement par l'opérateur 1h après le MDTE. Une fois redémarré, ce train PTR est suffisant pour évacuer durablement la puissance résiduelle.

Cet initiateur n'entraîne pas de perte d'inventaire en eau si bien que l'intégrité des pompes RIS-RA est garantie tout comme le non dénoyage du combustible situé en cuve.

L'inventaire en eau n'étant pas dégradé, aucun apport d'eau supplémentaire n'est nécessaire. Les appoints en eau claire disponibles (JAC/JPI) ne sont donc pas valorisés. Le maintien de la sous criticité est donc garanti.

Les critères techniques d'acceptation sont vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.6.5.2. Analyse de l'état chargement déchargement (commande groupée activée)

Côté piscine BR, l'état E « chargement-déchargement » est couvert par le cas en état E « hors manutention combustible » dans la mesure où la puissance résiduelle est plus faible.

Côté piscine BK, la défaillance d'un diesel de secours principal au titre de l'aggravant prive d'alimentation électrique un premier train PTR principal. Le second train PTR principal, qui est lui secouru par un diesel en fonctionnement, est redémarré manuellement 1h après le MDTE. Une fois redémarré, ce train PTR reste ensuite en service pendant toute la durée de l'accident. Conjointement, la perte totale de refroidissement induite par l'arrêt des deux trains PTR principaux pendant une durée d'une heure implique une augmentation de la température de l'eau de la piscine BK [1]. [2].

Cette température permet de garantir des marges satisfaisantes vis-à-vis de l'ébullition de la piscine BK et reste inférieure à la température limite [1]. [2].

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.6.1. sont donc vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.7. CONCLUSION

L'étude de la perte d'un train RIS-RA en mode RA en état E démontre le respect des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. et au § 2.6.1. (voir § 2.5.1. et § 2.6.5.1.) et l'atteinte de l'état d'arrêt sûr :

- la puissance totale est évacuée côté BR et côté BK ;
- il n'y a pas de découverture des assemblages de combustible ;
- la sous-criticité est garantie.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 24/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2W.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE
LORS DES ÉTATS D'ARRET C3 ET D

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 25/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2W.2 HYPOTHÈSES CONCERNANT LES ÉCHANGEURS RRI/RRA – CAS SANS CUMUL DU MDTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 26/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2W.3 MOMENTS D'ENTRÉE DANS LES ÉTATS C3
ET D**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 27/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.2W.4 CARACTÉRISTIQUES DU RRI – CAS AVEC CUMUL DU MDTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 28/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.2W.5 CHARGE THERMIQUE EN C3 AVEC CUMUL
DU MDTE**

□

FIG-15.2.2W.1 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC DU CUMUL DU MDTE - DÉBIT RIS-RA MINORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES DES BOUCLES PRIMAIRES - (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

□

FIG-15.2.2W.2 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MINORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DE LA MARGE A LA SATURATION EN PRESSION DES BRANCHES CHAUDES DES BOUCLES PRIMAIRES (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

□

FIG-15.2.2W.3 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MINORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE TOTALE A ÉVACUER (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

□

FIG-15.2.2W.4 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC DU CUMUL DU MDTE - DÉBIT RIS-RA MAJORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES DES BOUCLES PRIMAIRES (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

□

FIG-15.2.2W.5 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MAJORÉ DE SON INCERTITUDE – ÉVOLUTION DE LA MARGE A LA SATURATION EN PRESSION DES BRANCHES CHAUDES DES BOUCLES PRIMAIRES (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

□

FIG-15.2.2W.6 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MAJORÉ DE SON INCERTITUDE - ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE TOTALE A ÉVACUER (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

□

FIG-15.2.2W.7 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – DÉBIT RIS-RA MAJORÉ DE SON INCERTITUDE – ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE EN BRANCHE CHAUDE DANS LE TRAIN RIS-RA EN MODE RA DANS LES CAS AVANT ET APRÈS BASCULEMENT DES COMMUNS1B ET 2B SUR LE RRI EN ATTENTE (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

□

FIG-15.2.2W.8 PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D) AVEC CUMUL DU MDTE – ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE STABILISATION EN BRANCHE CHAUDE ET DE LA LIMITE DE CAVITATION EN FONCTION DU DÉBIT TRAVERSANT LE TRAIN RIS-RA EN MODE RA (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

□

**FIG-15.2.2W.9 ÉTAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES
PISCINES BR ET BK**



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 38/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.2W.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS
(BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHESES INTERMEDIAIRE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 39/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.2W.2 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS
(BASÉ SUR L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 40/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.2W.3 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 41/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 42/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.2W.4 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2W

PAGE 43/43

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

SOMMAIRE

.15.2.2X PCC 2 — PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR OU D'UN SYSTEME SUPPORT DU PTR (ETAT A)	3
1. INTRODUCTION	3
2. PRINCIPES D'ÉTUDE	3
3. CRITÈRES D'ÉTUDE	4
4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	4
5. DÉLAI DE GRÂCE	4
6. TRANSITOIRES	4
7. CONCLUSION	5



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.2X

PAGE 2/7

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

TAB-15.2.2X.1 PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR OU D'UN SYSTEME SUPPORT DU PTR (ETAT A) HYPOTHESES PRINCIPALES ET RESULTATS (□ MWTH)..... 6

FIGURES :

FIG-15.2.2X.1 SCHÉMA SIMPLIFIÉ DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES DU PTR..... 7

.15.2.2X PCC 2 — PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR OU D'UN SYSTEME SUPPORT DU PTR (ETAT A)

1. INTRODUCTION

Les caractéristiques principales du système PTR et de l'alimentation électrique des pompes sont rappelées ci-après.

Les deux trains principaux du PTR, classés F1B, sont conçus pour évacuer la puissance résiduelle de la piscine combustible en fonctionnement normal (PCC-1) et en situation PCC-2 à PCC-4. Chacun des deux trains principaux PTR est indépendant et composé de pompes PTR en parallèle, du débit, et d'un échangeur de chaleur. Chaque échangeur de chaleur peut être refroidi par deux trains RRI via un collecteur commun.

De plus, un train supplémentaire appelé 3^e train PTR, classé F2, composé d'une pompe et d'un échangeur de chaleur avec une file de refroidissement diversifiée assurée par les systèmes SRU et EVU, est installé afin d'évacuer la puissance résiduelle de la piscine combustible en phase de maintenance.

Le schéma mécanique fonctionnel de principe du PTR est présenté au paragraphe 5 de la section 9.1.3.

Les pompes 1 et 2 (resp. 3 et 4) du premier (resp. second) train principal PTR sont connectées à un tableau dédié alimenté par un tableau principal de la division électrique 2 (resp. 4). En outre, au cours des travaux de maintenance du tableau principal de la division 2 (resp. 4), l'alimentation électrique des pompes 1 et 2 du premier train principal PTR (resp. 3 et 4 du second train principal PTR) est garantie par une interconnexion avec la division voisine 1 (resp. 3). Les trains principaux sont secourus lors d'un manque de tension externe par les diesels principaux de chaque division.

Le 3^e train est alimenté par son propre tableau depuis le tableau principal de la division électrique 1 et peut être branché via une interconnexion à la division 2. De plus, il est possible d'alimenter le 3^e train PTR (ainsi que sa file de refroidissement) à l'aide du diesel d'ultime secours de la division électrique 1 lors d'un manque de tension généralisé dans l'état F.

Un aperçu d'ensemble de l'alimentation électrique des pompes PTR est présenté en figure [FIG-15.2.2x.1](#).

2. PRINCIPES D'ÉTUDE

Les règles d'analyses applicables aux études d'accidents relatives à la piscine de désactivation sont décrites en section 15.0.3.

L'analyse de tous les accidents PCC relatifs à la perte de refroidissement de la piscine de désactivation est faite selon la méthodologie suivante.

Pour vérifier que la température moyenne de la piscine de désactivation ne dépasse pas la valeur du critère d'étude, les équipements disponibles pour assurer le refroidissement du PTR sont recensés en considérant :

- la perte des équipements PTR et/ou des équipements des systèmes support (RRI, alimentations électriques) affectés par l'événement initiateur,
- la perte des équipements du fait de l'application d'un aggravant, ou d'un MDTE, et de la maintenance préventive. Conformément à la section 15.0.3, aucun aggravant n'est cumulé lors de la prise en compte d'un MDTE.

En se fondant sur la règle d'étude PCC (cf. section 15.0.3) : « Les règles générales des études PCC spécifient que l'analyse de sûreté des événements PCC doit reposer uniquement sur l'utilisation des systèmes F1. Néanmoins, en raison de la spécificité de la piscine de désactivation (inertie thermique, pression faible...), quelques exceptions peuvent être introduites dans cette règle pour la mitigation d'un nombre limité d'événements PCC particuliers. Pour ces événements, les systèmes F2 ayant des effets bénéfiques peuvent être utilisés dans l'analyse de sûreté ».

Dans ce cas, la 3^e file PTR pourra être utilisée dans les situations PCC, et comme elle-même ainsi que ses systèmes supports ne changeront pas d'état pendant la totalité du transitoire (i. e. pas de démarrage des pompes, d'ouverture / fermeture des vannes et pas de commutation dans le système...) la défaillance unique active n'a pas à leur être appliquée.

En conséquence, au cours des travaux de maintenance sur le système PTR (par exemple sur un échangeur de chaleur ou une pompe PTR) ou sur les systèmes supports (par exemple sur les trains RRI ou l'alimentation électrique), la 3^e file PTR sera démarrée de manière préventive, garantissant ainsi sa disponibilité.

L'élévation de la température moyenne de la piscine de désactivation suite à la perte de refroidissement est évaluée en considérant l'échauffement du volume d'eau de la piscine de désactivation par la puissance résiduelle des éléments combustibles usés.

Une fois le refroidissement de la piscine rétabli, la température moyenne est calculée en régime permanent en considérant des valeurs de température de source froide pénalisées.

3. CRITÈRES D'ÉTUDE

Pour les transitoires de perte de refroidissement, il s'agit de ne pas dépasser une température moyenne de l'eau de 80°C dans la piscine de désactivation.

Le respect de ce critère permet ainsi de respecter le critère de non-découvrement des assemblages combustibles.

Le maintien de la sous-criticité est assuré par conception par le râtelier de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages combustibles.

4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE

□

5. DÉLAI DE GRÂCE

Afin de souligner l'inertie des transitoires liés à la piscine combustible, les temps disponibles, avant d'atteindre une température de 80°C dans la piscine de désactivation et d'atteindre l'ébullition, sont calculés pour les situations étudiées.

FDC : la température moyenne de l'eau dans la piscine combustible atteindra 80°C □ heures après la perte totale des fonctions de refroidissement et l'ébullition de la piscine combustible commencera après □ heures.

DDC : la température moyenne de l'eau dans la piscine combustible atteindra 80°C □ heures après la perte totale des fonctions de refroidissement et l'ébullition de la piscine combustible commencera après □ heures.

6. TRANSITOIRES

□

Cas 1 :

Cas 2 :

Il en résulte que pour la configuration et la puissance résiduelle dans la piscine combustible données, la température moyenne de l'eau de la piscine combustible ne dépasse pas °C à long terme et respecte le critère d'étude de 80°C.

En considérant une perte du refroidissement d'une durée forfaitaire , la température moyenne de la piscine atteint un maximum de °C, ce qui est inférieur au critère d'étude de 80°C. De cette manière, pour cette configuration et pour la puissance résiduelle dans la piscine combustible données, la température moyenne de l'eau de la piscine combustible ne dépasse pas °C à long terme et respecte le critère d'étude de 80°C.

7. CONCLUSION

La température moyenne de l'eau de la piscine combustible reste inférieure à 80° C pendant l'ensemble du transitoire : les critères d'études sont donc respectés.

Le tableau [TAB-15.2.2x.1](#) synthétise les hypothèses et résultats de cette étude.

TAB-15.2.2X.1 PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR OU D'UN SYSTEME SUPPORT DU PTR (ETAT A) HYPOTHESES PRINCIPALES ET RESULTATS (□ MWTH)

□

edf	FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.2X
				CHAPITRE	15	PAGE	7/7

FIG-15.2.2X.1 SCHÉMA SIMPLIFIÉ DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES DU PTR



15.2.3 TRANSITOIRES PCC-3

15.2.3A PETITE BRÈCHE VAPEUR OU D'EAU ALIMENTAIRE (< DN 50) INCLUANT LES RUPTURES DES LIGNES CONNECTÉES AUX GV (\leq DN 50) [ÉTATS A, B]

15.2.3B PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES D'UNE DURÉE SUPÉRIEURE À 2 HEURES (ÉTAT A)

15.2.3C OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR (ÉTAT A)

15.2.3D OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHÈRE OU D'UNE SOUPE GV (ÉTAT A)

15.2.3E1 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A (PCC-3)

15.2.3E2 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT B (PCC-3)

15.2.3F RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR 1 TUBE (ÉTAT A)

15.2.3G FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE OU DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR (PCC-3)

15.2.3H NON CONFORMITÉ DU CŒUR

15.2.3I RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4POMPES)

15.2.3K DÉFAILLANCE DES CIRCUITS DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS LIQUIDES OU GAZEUX

15.2.3M RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTAT B, C OU D)

15.2.3P RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE

15.2.3Q RUPTURE D'UNE LIGNE VEHICULANT DU FLUIDE PRIMAIRE A L'EXTERIEUR DE L'ENCEINTE, PAR EXEMPLE LIGNE D'ECHANTILLONNAGE NUCLEAIRE

15.2.3R PCC-3 - PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES (SUPERIEUR À 2 HEURES), ASPECT REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE BK (ETAT A)

15.2.3S PCC-3 - PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT DU PTR OU D'UN SYSTÈME SUPPORT DU PTR (ETAT F)

15.2.3T PCC-3 - RUPTURE DE TUYAUTERIE ISOLABLE SUR UN CIRCUIT CONNECTÉ À LA PISCINE DE DÉSACTIVATION (ÉTATS A À F)

SOMMAIRE

.15.2.3A PETITE BRÈCHE VAPEUR OU D'EAU ALIMENTAIRE (< DN 50) INCLUANT LES RUPTURES DES LIGNES CONNECTÉES AUX GV (≤ DN 50) [ÉTATS A, B]	2
1. PETITE BRÈCHE VAPEUR [ÉTAT A]	2
1.1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT	2
1.1.1. DÉFINITION	2
1.1.2. CAUSES	2
1.2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE	2
1.2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT	2
1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	4
1.2.3. PRISE EN COMPTE DU CUMUL DU MDTE	5
1.3. MOYENS DE PROTECTION	5
1.4. RESULTATS	5
1.4.1. CAS EN PUISSANCE	6
1.4.2. CAS À PUISSANCE NULLE	6
2. PETITE BRÈCHE VAPEUR [ÉTAT B]	8
3. PETITE BRÈCHE D'EAU ALIMENTAIRE [ÉTAT A]	9
3.1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT	9
3.1.1. DÉFINITION	9
3.1.2. CAUSES	9
3.2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE	9
3.2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT	9
3.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	9
3.3. MOYENS DE PROTECTION	10
3.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	11
3.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	11
4. PETITE BRÈCHE D'EAU ALIMENTAIRE [ÉTAT B]	12

.15.2.3A PETITE BRÈCHE VAPEUR OU D'EAU ALIMENTAIRE (< DN 50) INCLUANT LES RUPTURES DES LIGNES CONNECTÉES AUX GV (≤ DN 50) [ÉTATS A, B]

1. PETITE BRÈCHE VAPEUR [ÉTAT A]

1.1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT

1.1.1. Définition

Cet incident est défini comme une rupture de tuyauterie vapeur en état A avec une brèche dont le diamètre équivalent est inférieur à DN50 (20 cm²). Cet incident est classé PCC-3.

L'incident provoque une dépressurisation du circuit secondaire et un refroidissement du circuit primaire sous l'effet de l'augmentation du débit vapeur dans les GV.

1.1.2. Causes

L'incident résulte :

- d'une petite brèche sur la ligne vapeur d'un GV,
- d'une rupture de petite tuyauterie (inférieure à DN50) localisée sur le circuit vapeur.

1.2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE

1.2.1. Description de l'incident

La séquence typique des événements en cas de rupture de tuyauterie vapeur est décrite pour différentes tailles de brèches allant de DN50 à la RTV-2A dans la section 15.2.4b.

1.2.1.1. Cas en puissance

Pour un fonctionnement en puissance, la faible dépressurisation secondaire induite par une brèche de taille inférieure à DN50 entraîne un refroidissement lent du circuit primaire et par effet modérateur, une excursion de puissance. Compte tenu de la faible capacité d'évacuation de puissance à la brèche, un état d'équilibre finit par s'établir sans qu'aucun signal F1A d'Arrêt Automatique du Réacteur ne soit sollicité (en particulier, à la différence des scénarios de plus grosses brèches présentés dans la section 15.2.4b, la faible vitesse de dépressurisation du secondaire entraîne la non activation du signal d'AAR par « baisse rapide de pression GV MAXOp » et la montée en puissance est trop limitée pour entraîner un signal d'AAR sur « bas RFTC » ou « puissance thermique élevée »). La puissance cœur augmente et se stabilise à une valeur légèrement supérieure à la puissance initiale et le circuit secondaire se stabilise à une pression GV légèrement inférieure à la pression GV initiale.

L'opérateur peut alors être informé de l'incident par le signal classé F1B de détection des conditions d'ambiance dégradée en casemate eau ou vapeur, ou par des alarmes classées F2 telles que :

- puissance thermique élevée,
- puissance linéique élevée,
- bas RFTC,
- basse température moyenne primaire,
- basse pression primaire.

Il applique les actions indiquées dans les fiches d'alarme correspondantes.

En cas de repli demandé par la CIA, le réacteur pourra être mis à l'arrêt et pourra être conduit vers une connexion RIS-RA tel que décrit dans le cas à puissance nulle (§ 1.2.1.2.).

1.2.1.2. Cas à puissance nulle

En arrêt à chaud ou en situation consécutive à un AAR, les GV sont alimentés par la ligne « Petit Débit » ARE ou « Très Petit Débit » ARE. Si l'incident est initié dans cette configuration, le circuit secondaire se dépressurise lentement par les quatre générateurs de vapeur. La fermeture des vannes d'isolement vapeur est automatiquement réalisée à \square bar sur le signal F1 de « basse pression GV MIN1p » en cycle naturel (seuil abaissé à \square bar au cours de la prolongation de cycle – voir sous-chapitre 15.1 pour l'instant d'abaissement). Une légère dissymétrie de température primaire entre boucles apparaît après l'isolement vapeur (du fait de la petite taille de brèche). Le générateur de vapeur affecté continue de se dépressuriser et l'isolement complet de l'eau alimentaire dans ce GV est réalisé sur le signal F1 de « basse pression GV MIN2p » à \square bar en cycle naturel (seuil abaissé à \square bar au cours de la prolongation de cycle – voir sous-chapitre 15.1). Dans le cas où un petit débit ARE maximal est considéré, l'isolement de l'eau alimentaire normale peut être réalisé sur le signal de Haut Niveau GV MAX0p +50s après compte-rendu d'AAR dans tous les GV (le compte-rendu d'AAR est alors préalablement émis sur signal de Haut Niveau GV > Max1p, qui a conduit également à l'isolement de l'eau alimentaire grand débit) avant l'atteinte du signal de basse pression GV MIN2p. L'incident se poursuit avec une vidange et une dépressurisation progressive du GV affecté jusqu'à atteindre potentiellement le seuil de démarrage de l'ASG sur « bas niveau GV GL MIN2p ». Si l'isolement de l'ARE est réalisé uniquement dans le GV affecté sur Basse pression GV MIN2p, les GV sains continuent d'être alimentés en fonctionnement sur Petit Débit ARE. Côté primaire, le refroidissement conduit à la contraction du fluide primaire que les régulations de niveau et pression pressuriseur permettent de limiter voire de compenser. Il en résulte uniquement un refroidissement du circuit primaire sans dépressurisation ni injection de bore par l'injection de sécurité avant l'action opérateur.

L'intervention \square a lieu 30 minutes après le premier signal significatif de « basse pression GV MIN1p ». Selon l'état de la tranche à cet instant, il procède aux actions permettant d'atteindre l'état contrôlé, à savoir isolement complet du GV affecté (isolement de l'ARE s'il n'a pas été arrêté automatiquement et isolement ASG si l'ASG a été démarré) sur critère de ΔP entre GV > \square bar ou après détection de conditions d'ambiance dégradée dans le local concerné. Il réalise par ailleurs une borication par le RBS si la puissance cœur n'est pas suffisamment faible.

Une fois l'état contrôlé atteint avec les seuls moyens F1A, il s'agit de vérifier que la capacité des bâches ASG, supposées non réalimentables, est suffisante pour rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA et rallier l'état d'arrêt sûr.

Selon la présence ou non d'un retour en puissance au moment de l'entrée en conduite, l'opérateur peut être orienté dans différents chemins de conduite.

Les actions \square auront à terme pour objectifs d'isoler le GV affecté côté eau et côté vapeur, dans le cas où ces actions n'auraient pas été réalisées automatiquement, et de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA ; il s'agira :

- d'assurer un refroidissement contrôlé du fluide primaire par le secondaire, jusqu'à 180°C dans les branches chaudes, et en parallèle d'apporter un volume de bore dans le circuit primaire par le RBS, assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid,
- d'utiliser, si la dépressurisation primaire induite par le refroidissement est insuffisante, les moyens de dépressurisation disponibles (l'aspersion normale ou les soupapes du pressuriseur si l'aspersion normale est indisponible).

1.2.2. Critères d'étude

1.2.2.1. Cas en puissance

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de l'incident PCC-3 de RTV inférieure à DN50 initiée en puissance sont les suivants :

- des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium (2810°C pour du combustible neuf, décroissant de 7,6°C tous les 10 000 MWJ/t). Des critères techniques d'acceptation peuvent être retenus pour certains incidents, par exemple : la valeur restrictive de 590 W/cm est prise dans certains cas, cette valeur permettant de garantir la non fusion au centre de la pastille.
 - en cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie.
- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.2.2.2. Cas à puissance nulle

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation PCC-3 sont les suivants :

- des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium (2810°C pour du combustible neuf, décroissant de 7,6°C tous les 10 000 MWJ/t). Des critères techniques d'acceptation peuvent être retenus pour certains incidents, par exemple : la valeur restrictive de 590 W/cm est prise dans certains cas, cette valeur permettant de garantir la non fusion au centre de la pastille.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.

En pratique dans l'étude, les critères techniques d'acceptation liés à l'absence de dommages sur les crayons combustibles seront vérifiés par la démonstration de l'absence de crise d'ébullition et de fusion du combustible.

- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le coeur est sous critique. $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :

- Le coeur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.2.3. Prise en compte du cumul du MDTE

Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le cumul du MDTE doit être considéré sur les événements PCC-3 et PCC-4 si cette hypothèse est pénalisante vis-à-vis des critères de sûreté.

Le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : instant initial, instant de l'AAR ou instant de l'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré.

Le MDTE provoque l'arrêt des pompes primaires, entraînant une réduction du débit primaire, ce qui pénalise le RFTC.

1.3. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au § 1.2.1, aucun signal d'Arrêt Automatique du Réacteur n'est sollicité (sur le cas sans MDTE). Les actions automatiques considérées dans l'étude sont les suivantes :

- isolement VIV (F1A) :
Sur « Pression GV < MIN1p » ou « Baisse rapide de pression GV > MAX1p », la fermeture de la VIV est effectuée.
- isolement ARE grand débit (F1A) :
Sur « Pression GV < MIN2p » ou « Niveau GV GE > MAX1p », les lignes ARE grand débit sont isolées GV par GV.
Sur « Baisse rapide de pression GV > MAX2p », les lignes ARE grand débit de tous les GV sont isolées.
- isolement ARE petit débit (F1A) :
Sur « Pression GV < MIN2p » ou « Niveau GV GE > MAX0p si AAR +50 s », la ligne ARE petit débit du GV affecté est isolée.
Sur « Niveau GV GE > MAX0p si AAR +50 s », la ligne ARE petit débit des GV sains est isolée, GV par GV.
Sur « Baisse rapide de pression GV > MAX2p », les lignes ARE petit débit de tous les GV sont isolées.
- mise en service de l'ASG (F1A) :
Sur « Niveau GV GL < MIN2p », l'alimentation de secours du GV correspondant est mise en service.
- mise en service du RIS (F1A) :
L'injection de sécurité est mise en service sur signal de « Pression pressuriseur < MIN3p » au dessus du permissif P12 et sur signal de « $\Delta P_{sat} < MIN1p$ » après l'activation de P12.
- démarrage du refroidissement partiel :
Sur « Niveau GV GE > MAX2p » et signal IS, le refroidissement partiel est mis en service.

1.4. RESULTATS

Au niveau des conséquences sur la dépressurisation au secondaire et du refroidissement primaire, une petite brèche vapeur PCC-3 est plus favorable qu'un accident PCC-4 de type « Rupture de Tuyauterie Vapeur » (voir 15.2.4b), dans la mesure où le débit vapeur s'échappant de la brèche est bien moins important pour les petites brèches PCC-3 que pour les grosses brèches PCC-4.

1.4.1. Cas en puissance

Le spectre de brèches réalisé dans la section 15.2.4b montre que pour des brèches de taille inférieure à la plus petite brèche ne sollicitant pas de signal d'AAR, le réacteur se stabilise dans un nouvel état d'équilibre, à une puissance supérieure à la puissance initiale et à une pression secondaire légèrement inférieure à la pression GV initiale. La taille maximale DN50 (20 cm²) à considérer en PCC-3 étant bien inférieure à cette taille de brèche, le nouvel état obtenu pour une brèche de taille DN50 est couvert par le spectre de brèche réalisé en section 15.2.4b : la puissance se stabilise à un niveau plus faible que celui obtenu pour la plus grande brèche ne sollicitant pas de signal d'AAR.

Dans la section 15.2.4b la brèche pénalisante étudiée correspond à la brèche d'interface délimitant les AAR par « bas RFTC » et « baisse rapide de pression GV »). Cette taille de brèche respecte les critères techniques d'acceptation PCC-3, listés au [§ 1.2.2.1.](#), liés à la tenue de la première barrière (quantité de crayons entrant en crise d'ébullition, absence de fusion du combustible, température maximale de gaine atteinte) et aux rejets radiologiques. Les brèches inférieures à DN50 étant plus petites que cette taille de brèche pénalisante présentée dans la section 15.2.4b, les critères techniques d'acceptation PCC-3 liés à la tenue de la première barrière, listés au [§ 1.2.2.1.](#) sont donc respectés.

Par ailleurs, la stabilisation du réacteur à un autre niveau de puissance permet de respecter les critères techniques d'acceptation PCC-3 listés au [§ 1.2.2.1.](#) liés à la stabilité de l'inventaire en eau du circuit primaire et à l'évacuation de la puissance résiduelle.

□

□ Pendant cette courte durée, la petite brèche vapeur n'a aucun impact sur le refroidissement du primaire, et donc sur la puissance du réacteur, ainsi que sur la pression pressuriseur. L'étude d'une brèche vapeur inférieure à DN50 avec cumul MDTE est donc comparable à une perte totale des alimentations électriques externes. Les critères techniques d'acceptation PCC-3, listés au [§ 1.2.2.1.](#) (quantité de crayons entrant en crise d'ébullition, absence de fusion du combustible, température maximale de gaine atteinte, inventaire en eau stable, évacuation de la puissance résiduelle et rejets radiologiques), étant respectés pour le transitoire de PTAAE (voir section 15.2.2h pour le court terme), ils le sont également pour l'accident de « RTV inférieure à DN50 » avec cumul MDTE. L'atteinte de l'état contrôlé est démontrée dans la partie couvrant les états post- AAR ci-dessous.

1.4.2. Cas à puissance nulle

Atteinte de l'état contrôlé

Pour un état initial consécutif à un AAR, les tailles de brèche inférieures à DN50 sont couvertes par le spectre de brèches à puissance nulle qui est réalisé dans la section 15.2.4b (brèches supérieures à DN50). En effet, des tailles de brèches légèrement plus grandes que la taille de brèche DN50 présentent des phénomènes physiques et une séquence des événements comparables avec un isolement vapeur sur le même signal de « basse pression GV MIN1p » et un isolement de l'eau alimentaire normale du GV affecté sur le même signal de « basse pression GV MIN2p » ou « Haut Niveau GV MAX0p » si un petit Débit ARE maximal est considéré. Par ailleurs, le gradient de refroidissement des brèches de la section 15.2.4.b est plus important que pour les tailles de brèches inférieures à DN50. Par conséquent, le refroidissement du circuit primaire lors de l'intervention de l'opérateur (30 minutes après l'isolement vapeur) sera moins important que pour les scénarios de la section 15.2.4b. Il en résultera des conséquences plus favorables en termes de refroidissement et de potentielle excursion de puissance (en considérant l'application du critère de défaillance unique sur une grappe bloquée hors du cœur).

Selon l'état de la tranche à cet instant, l'opérateur procède aux actions permettant d'atteindre l'état contrôlé, à savoir isolement de l'ASG (si celui-ci a été démarré) sur critère de ΔP entre GV > □ bar. Il réalise par ailleurs une borication par le RBS si la puissance cœur n'est pas suffisamment faible.

La couverture de ces brèches par le spectre présenté à la section 15.2.4b est valable avec et sans prise en compte du MDTE.

Pour les situations consécutives à un AAR, le spectre de brèches du chapitre 15.2.4b montre l'atteinte de l'état contrôlé, l'absence de fusion à cœur du combustible et l'absence de crise d'ébullition. Ces résultats démontrent le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé des incidents PCC-3, listés au § 1.2.2.2. Ainsi, puisque les RTV inférieures à DN50 sont couvertes par le spectre de brèches de la section 15.2.4b, les critères techniques d'acceptation PCC-3 concernant l'atteinte de l'état contrôlé pour les RTV inférieures à DN50 sont donc respectés.

Pour un état initial en arrêt à chaud, l'étude des brèches vapeur de plus grande dimension traitée dans le chapitre 15.2.4b montre que les critères relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé pour les initiateurs PCC-3, listés au § 1.2.2.2, sont respectés. L'analyse faite dans le chapitre 15.2.4b peut être adaptée pour les brèches RTV inférieures à DN50. L'absence de retour en criticité du cœur pour les RTV inférieures à DN50 initiées en arrêt à chaud garantit le respect des critères concernant la quantité des crayons entrant en crise d'ébullition, l'absence de fusion du combustible et de température maximale de gaine atteinte.

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé présentés dans le § 1.2.2.2, étant démontré pour l'étude des brèches vapeur de plus grande dimension dans la section 15.2.4b, il en est de même pour l'étude des RTV inférieures à DN50.

Les conditions d'atteinte de l'état contrôlé des incidents PCC-3 sont donc respectées.

Atteinte de l'état d'arrêt sûr

L'objectif est de montrer qu'il est possible de rallier l'état d'arrêt sûr, correspondant aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA (validation du permissif P14,) :

- pression en branche chaude < 32 bar abs,
- température en branche chaude < 180 °C.

Les moyens de mesure disponibles dans les locaux concernés permettent la détection de la brèche et celle du GV affecté.

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent la première information significative, signal automatique de « basse pression GV MIN1p » ou signal « d'ambiance dégradée dans les locaux concernés ».

Lors du contrôle de l'intégrité des GV non isolés, l'opérateur réalise l'isolement complet du GV non intègre (isolement de l'ARE s'il n'a pas été arrêté automatiquement et isolement ASG si l'ASG a été démarré) sur un critère de ΔP entre GV > bar ou sur détection de conditions d'ambiance dégradée dans le local concerné.

Dans le cas à puissance nulle, selon la présence ou non d'un retour en puissance au moment de l'entrée en conduite, l'opérateur peut être orienté dans différents chemins de conduite.

Si l'incident conduit à un retour en puissance lors de l'entrée en conduite, l'opérateur est dans ce cas orienté dans le diagnostic automatique vers la séquence de « Stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire » sur un critère de flux > .

Dans cette séquence, suite à une demande de borication du circuit primaire, démarre les pompes RBS. Il s'en suit une phase de borication du circuit primaire jusqu'à l'injection complète du volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid (CB d'AAF).

Lorsque la puissance est suffisamment faible et que la CB requise en arrêt à froid est obtenue, l'opérateur est orienté en Passage en Arrêt à Froid avec ou sans Injection de Sécurité, selon la sollicitation ou non du signal IS.

Si l'incident ne conduit pas à un retour en puissance, l'opérateur est directement orienté en Passage en Arrêt à Froid avec ou sans Injection de Sécurité, selon la sollicitation ou non du signal IS.

La borication du circuit primaire est réalisée par le RBS tant que le volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid n'a pas été complètement injecté.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si la concentration en bore est inférieure à la concentration en bore d'arrêt à froid et si les 2 trains RBS ne sont pas en service,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore d'arrêt à froid ou si 2 trains RBS sont en service.

Une dépressurisation du circuit primaire est initiée tant que la pression primaire est supérieure à \square bar abs.

Le refroidissement contrôlé est effectué par l'opérateur jusqu'à l'atteinte des critères de validation du permis P14 (pression en branches chaudes < 32 bar abs. et température en branches chaudes < 180°C).

Ces différents chemins de conduite sont également rencontrés lors de l'étude des ruptures de tuyauterie vapeur de taille supérieure à la taille DN 50. Par ailleurs, les moyens disponibles pour rejoindre l'état d'arrêt sûr sont identiques à ceux de la section 15.2.4b. L'atteinte de l'état d'arrêt sûr du présent chapitre est couverte par celle de la section 15.2.4b. Ainsi, puisque l'ensemble des critères relatifs à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr listés au § 1.2.2. sont atteints pour les brèches de plus grande dimension dans la section 15.2.4b, ils le sont également pour les RTV inférieures à DN50. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

2. PETITE BRÈCHE VAPEUR [ÉTAT B]

L'état B correspond à un état d'arrêt normal sur GV (RIS-RA en mode RA non connecté). L'état B est caractérisé par un état de fonctionnement à charge nulle dans la configuration suivante :

- Toutes les grappes sont insérées.
- La température primaire est supérieure à 110°C (voir sous-chapitre 15.0).
- La pression primaire est comprise entre 25 et 130 bar (voir sous-chapitre 15.0).
- La concentration en bore initiale est au minimum égale à la concentration en bore de l'arrêt à chaud (un des critères de dimensionnement de cette concentration étant de garantir la sous-criticité avec une grappe bloquée à 110°C et 32 bar).
- Le niveau GV ajusté par les vannes réglantes Très Petit Débit ARE.

Certaines fonctions de protection sont inhibées en état B (validation du permis P12) :

- Le signal IS est émis sur Bas ΔP en BC au lieu de Très Basse Pression pressuriseur MIN3p.
- Les signaux d'isolement vapeur MIN1p, d'isolement d'eau alimentaire MIN2p et d'isolement des VDA MIN3p sur Basse Pression GV sont désactivés.

Les conséquences d'une petite brèche vapeur (inférieure à DN50) en état B sont enveloppées par celles des brèches de taille supérieure à DN50 en état B étudiées dans la section 15.2.4b. En effet, étant donné la cinétique très lente de ces tailles de brèche, la dégradation des conditions thermohydrauliques de la tranche est bien plus lente entre l'instant de la première information significative et le temps d'entrée en conduite opérateur.

L'étude des brèches vapeur en état B dans la section 15.2.4b montre que le coeur reste sous-critique. L'absence de retour en criticité du coeur pour les RTV inférieures à DN50 initiées en état B garantit le respect des critères des incidents PCC-3 concernant la quantité des crayons entrant en crise d'ébullition, l'absence de fusion du combustible et de température maximale de gaine atteinte.

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé et d'arrêt sûr présentés dans le [§ 1.2.2.2](#), étant démontré pour l'étude des RTV de plus grande dimension initiées en état B dans la section 15.2.4b, il en est de même pour les RTV inférieures à DN 50 initiées en état B.

Les conditions d'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr des incidents PCC-3 sont donc respectées.

3. PETITE BRÈCHE D'EAU ALIMENTAIRE [ÉTAT A]

3.1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT

3.1.1. Définition

Une petite brèche inférieure à DN50 (20 cm²) de tuyauterie du système d'eau alimentaire est classée comme un incident PCC-3.

La capacité d'évacuation de la puissance par le circuit secondaire est altérée. En fonction de la dimension de la brèche et du niveau de puissance de la chaudière nucléaire lorsque la brèche se produit, cet incident peut entraîner un sur-refroidissement du primaire (dû à un débit de vapeur excessif à la brèche) ou un échauffement du circuit primaire (dû à un débit liquide à la brèche). Les conséquences d'un refroidissement du circuit primaire sont couvertes par l'étude des petites brèches vapeur traitée dans le [§ 1](#). Dans ce paragraphe 3, seul l'aspect échauffement du circuit primaire est pris en compte.

3.1.2. Causes

L'incident résulte :

- d'une petite brèche sur la tuyauterie d'eau alimentaire d'un GV,
- d'une rupture de petite tuyauterie (inférieure à DN 50) localisée sur le circuit d'eau alimentaire, ou sur les lignes connectées aux générateurs de vapeur.

3.2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE

3.2.1. Description de l'incident

La séquence typique des événements en cas de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire est décrite pour les grosses brèches PCC-4 dans la section 15.2.4c.

Pour des petites brèches PCC-3 :

- Si la faible perte de liquide à la brèche est compensée par la régulation ARE et ne conduit pas à la sollicitation des protections, l'incident est alors sans conséquence sur le cœur.
- Dans le cas contraire, on démontre dans la suite que les critères d'étude sont respectés.

3.2.2. Critères d'étude

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Pour les conditions de fonctionnement PCC-3 (hors cas particuliers mentionnés du chapitre 15.0.2 du RDS), les critères techniques d'acceptation sont :

- La structure géométrique du cœur ne doit pas être détériorée, afin que le refroidissement du cœur puisse être convenablement assuré.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés.
 - Pour l'état contrôlé :

- Le coeur est sous critique : $keff < 1,0$.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le coeur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3.3. MOYENS DE PROTECTION

Les différentes actions automatiques qui peuvent intervenir en cas de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire sont celles qui sont liées à l'échauffement du circuit primaire ou aux conséquences de cet incident en ce qui concerne le générateur de vapeur.

Les signaux d'Arrêt Automatique du réacteur possibles (classés F1A) sont les suivants :

- pression du pressuriseur $> MAX2p$,
- niveau du GV $< MIN1p$,
- baisse rapide de pression GV $> MAX0p$,
- pression GV $< MIN1p$,
- pression enceinte $> MAX1p$.

Les autres actions automatiques considérées dans l'étude sont les suivantes :

- déclenchement de la turbine :
Sur signal AAR, le déclenchement turbine est activé.
- isolement VIV (F1A) :
Sur « Pression GV $< MIN1p$ » ou « Baisse rapide de pression GV $> MAX1p$ », la fermeture de la VIV est effectuée.
- isolement ARE grand débit (F1A) :
Sur signal d'AAR, toutes les lignes ARE grand débit sont isolées.
Sur « Pression GV $< Min2p$ », les lignes ARE grand débit sont isolées GV par GV.
Sur « Baisse rapide de pression GV $> MAX2p$ », les lignes ARE grand débit de tous les GV sont isolées.
- isolement ARE petit débit (F1A) :
Sur « Pression GV $< MIN2p$ », la ligne ARE petit débit du GV affecté est isolée.
Sur « Baisse rapide de pression GV $> MAX2p$ », les lignes ARE petit débit de tous les GV sont isolées.
- mise en service de l'ASG (F1A) :
Sur « Niveau GV GL $< MIN2p$ », l'alimentation de secours du GV correspondant est mise en service.
- ouverture du VDA (F1A) :
Lorsque la pression du GV atteint le point de consigne VDA « Pression GV $> MAX1p$ », les VDA s'ouvrent et assurent l'évacuation de la puissance avec le contrôle de la pression.
- arrêt des pompes primaires (F1A) :
Sur « Niveau GV $< MIN3p$ » dans au moins 3 GV, les pompes primaires sont déclenchées.
- mise en service du RIS (F1A) :

L'injection de sécurité est mise en service sur signal de « Pression pressuriseur < MIN3p » au dessus du permissif P12 et sur signal de « ΔP_{sat} < MIN1p » après l'activation de P12.

- ouverture des soupapes GV (F1A, ouverture passive) :
Si la pression du GV augmente jusqu'à la pression de tarage des soupapes GV, celles-ci s'ouvrent pour limiter la surpression du secondaire et assurer l'évacuation de la puissance.
- ouverture des soupapes pressuriseur (F1A, ouverture passive) :
Si la pression primaire augmente jusqu'au point de tarage d'une soupape pressuriseur, celle-ci s'ouvre pour limiter la surpression du primaire ; le réfrigérant primaire étant déchargé dans le réservoir de décharge du pressuriseur et dans le bâtiment du réacteur en cas d'éclatement des disques de rupture du RDP.

3.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Au niveau des conséquences sur la dégradation de l'échange au secondaire et donc sur l'échauffement primaire, une petite brèche d'eau alimentaire PCC-3 est plus favorable qu'un accident PCC-4 de type « Rupture de Tuyauterie d'Eau alimentaire » (voir 15.2.4c), dans la mesure où :

- le débit d'eau s'échappant de la brèche est bien moins important pour les petites brèches PCC-3 que pour les grosses brèches PCC-4,
- les grosses brèches PCC-4 sont étudiées en postulant de manière enveloppe que l'intégralité du débit d'eau alimentaire vers les quatre GV est perdue à la brèche, ce qui pénalise l'échauffement primaire.


Au niveau des signaux de protection (classés F1A), la faible vitesse de dépressurisation du secondaire peut conduire à ne pas activer les signaux spécifiques aux accidents rapides PCC-4, en particulier l'AAR et la fermeture des vannes d'isolement vapeur sur signal de « Baisse rapide de pression GV > MAX0p ». Cela n'invalide cependant pas l'aspect enveloppe de l'étude PCC-4, dans la mesure où celle-ci identifie la taille de brèche la plus pénalisante, correspondant à la plus grande taille de brèche qui sollicite l'AAR sur « Bas niveau GV < MIN1p ». Ce cas correspond à une vidange maximale du secondaire, et couvre l'ensemble du spectre des brèches de tuyauteries alimentaires, y compris les petites brèches PCC-3. Il montre que le cœur n'est pas découvert au cours du transitoire. L'étude PCC-4 confirme en outre par calcul explicite qu'une taille de brèche inférieure, qui ne sollicite que les signaux de « Niveau GV < MIN1p » et « Pression GV < MIN1p », est moins pénalisante.

Par conséquent, en cas de petite brèche d'eau alimentaire inférieure à DN50 (20 cm²), l'état contrôlé est atteint sans découverture du cœur.

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé présentés dans le § 3.2.2, étant démontré pour l'étude des RTE de plus grande dimension présentées dans la section 15.2.4c, il en est de même pour l'étude des RTE inférieures à DN50.

Les conditions d'atteinte de l'état contrôlé des incidents PCC-3 sont donc respectées.

3.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

L'objectif est de montrer qu'il est possible de rallier l'état d'arrêt sûr, correspondant aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA (validation du permissif P14, 

- pression en branche chaude < 32 bar abs,
- température en branche chaude < 180 °C.

Les moyens de mesure disponibles dans les locaux concernés permettent la détection de la brèche et celle du GV affecté.

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le premier signal significatif, signal d'AAR ou signal « d'ambiance dégradée dans les locaux concernés ».

Lors du contrôle de l'intégrité des GV non isolés, l'opérateur réalise l'isolement complet du GV non intègre sur un critère de ΔP entre GV > \square bar ou sur détection de conditions d'ambiance dégradée dans le local concerné.

Si aucune protection n'est sollicitée sur le transitoire (brèche compensée par la régulation ARE), l'opérateur réalise une baisse de charge, ce qui conduit à un arrêt \square du réacteur.

Si la brèche est détectée sur l'alarme de température élevée en casemate eau, l'opérateur est orienté en conduite incidentelle. En absence d'AAR ou de demande d'AAR la stratégie de maintien en puissance / baisse de charge est appliquée, sinon l'opérateur applique la stratégie de passage en état de repli (PER) jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA.

Sinon, l'opérateur est orienté en PAF sans IS, une borication est demandée jusqu'à l'atteinte de la CB d'AAF et d'une marge à la saturation satisfaisante, ensuite un refroidissement à 50°C/h est réalisé jusqu'à la validation du permissif P14, avec une marge à la saturation satisfaisante.

Les moyens disponibles et la conduite pour atteindre l'état d'arrêt sûr sont identiques à ceux disponibles pour l'étude de la Rupture de Tuyauterie d'Eau alimentaire (section 15.2.4c) en état A pour laquelle un calcul explicite permet de montrer que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA. Ce calcul tient compte d'une phase de stabilisation pénalisante de 2 heures avant le début du refroidissement dans la stratégie « Passage à l'Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité ».

De plus, l'incident PCC-3 de petite brèche d'eau alimentaire présente des conditions moins sévères vis-à-vis de la consommation d'ASG que l'accident de « Rupture de Tuyauterie d'Eau alimentaire », dans la mesure où le cas pénalisant traité en PCC-4 conduit à la vidange du secondaire la plus importante avant l'AAR.

Par conséquent, en cas de petite brèche d'eau alimentaire, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr.

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr présentés dans le [§ 3.2.2](#), étant démontré pour l'étude des RTE de plus grande dimension dans la section 15.2.4c, il en est de même pour les RTE inférieures à DN 50. L'état d'arrêt sûr peut donc être atteint et maintenu pour une RTE inférieure à DN50.

4. PETITE BRÈCHE D'EAU ALIMENTAIRE [ÉTAT B]

Au niveau des conditions initiales, les principales différences entre une petite brèche d'eau alimentaire en état A et une petite brèche d'eau alimentaire en état B sont :

- le niveau de puissance qui est inférieur en état B,
- l'inventaire en eau des GV qui est supérieur en état B.

Ces différences sont très favorables pour la petite brèche d'eau alimentaire en état B.

Une autre différence en état B, au niveau des signaux et des actions de protection, est la désactivation des signaux d'isolement des VIV et de l'ARE sur Pression GV < MIN1p et MIN2p respectivement, après validation du permissif P12.

Par conséquent, en état B, l'isolement des VIV n'intervient que sur signal de baisse rapide de pression GV > MAX1p. Ainsi, pour des tailles de brèches suffisamment petites, les VIV resteront ouvertes sur une durée plus longue qu'en état A.

L'étude PCC-4 de « Rupture de Tuyauterie d'Eau alimentaire » (voir 15.2.4c) permet de montrer que les conséquences d'une brèche d'eau alimentaire en état B, quelle que soit sa taille, sont couvertes par celles résultant d'une RTE en état A.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3A

PAGE 13/13

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

L'étude présentée dans la section 15.2.4c montre que les critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr listés au [§ 3.2.2](#), sont satisfaits pour les brèches sur une tuyauterie d'eau alimentaire en état B de dimension supérieure à DN50. Puisque les RTE inférieures à DN50 sont couvertes par les brèches plus importantes (section 15.2.4c), les critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr sont satisfaits également pour ces brèches.

Les conditions d'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr des incidents PCC-3 sont donc respectées.

SOMMAIRE

.15.2.3B PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES D'UNE DURÉE SUPÉRIEURE À 2 HEURES (ÉTAT A)	3
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT	3
1.1. DÉFINITION	3
1.2. CAUSES	3
2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	3
2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT	3
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	5
3. MOYENS DE PROTECTION	6
4. ASPECT COURT TERME	6
5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	6
5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	6
5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	7
5.2.1. ÉTAT INITIAL	7
5.2.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	7
5.2.3. HYPOTHÈSES CŒUR	7
5.2.4. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	7
5.2.5. HYPOTHÈSES PROTECTIONS	8
5.2.6. ACTIONS OPÉRATEUR	8
5.3. RÉSULTATS	9
6. CONCLUSION	10

TABLEAUX :

TAB-15.2.3B.1 INCIDENT DE PTAAE > 2H – CONDITIONS INITIALES	11
TAB-15.2.3B.2 INCIDENT DE PTAAE > 2H – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS	12
TAB-15.2.3B.3 INCIDENT DE PTAAE > 2H – PUISSANCE RÉSIDUELLE	13

FIGURES :

FIG-15.2.3B.1 INCIDENT DE PTAAE > 2H – PUISSANCE THERMIQUE CŒUR ET DÉBITS MASSIQUES DU PRIMAIRE	14
FIG-15.2.3B.2 INCIDENT DE PTAAE > 2H – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES	15
FIG-15.2.3B.3 INCIDENT DE PTAAE > 2H – NIVEAU PHYSIQUE PRESSURISEUR ET NIVEAU PRESSURISEUR MESURÉ	16
FIG-15.2.3B.4 INCIDENT DE PTAAE > 2H – ΔTSAT ET ΔPSAT	17
FIG-15.2.3B.5 INCIDENT DE PTAAE > 2H – DÉBITS MASSIQUES INJECTES DANS LE PRIMAIRE PAR LES POMPES ISMP ET DÉBITS MASSIQUES DU RBS INJECTÉS DANS LE PRIMAIRE	18
FIG-15.2.3B.6 INCIDENT DE PTAAE > 2H – NIVEAUX DANS LA CUVE¹ ET DÉBITS MASSIQUES DÉCHARGÉS PAR LES SOUPAPES PRESSURISEUR	19
FIG-15.2.3B.7 INCIDENT DE PTAAE > 2H – PRESSIONS DE SATURATIONS DES GV ET NIVEAUX GAMME LARGE DANS LES GV	20
FIG-15.2.3B.8 INCIDENT DE PTAAE > 2H – MASSE D’ASG INJECTÉE ET DÉBITS MASSIQUES D’ASG	21
FIG-15.2.3B.9 INCIDENT DE PTAAE > 2H – MASSE TOTALE D’ASG INJECTÉE ET PRESSION PRESSURISEUR	22

.15.2.3B PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES D'UNE DURÉE SUPÉRIEURE À 2 HEURES (ÉTAT A)

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT

1.1. DÉFINITION

La perte totale d'alimentation électrique externe (PTAEE) se caractérise par la perte des connexions aux réseaux principal et auxiliaire (y compris la perte des transformateurs) et l'échec de l'ilotage.

On distingue deux types de scénarios selon leur probabilité d'occurrence :

- la PTAEE de courte durée avec une durée de récupération des alimentations externes inférieure à 2 heures qui est un évènement PCC-2,
- la PTAEE de longue durée, avec une durée de récupération des alimentations externes supérieure à 2 heures, qui est un évènement PCC-3.

Le scénario de PTAEE de courte durée est analysé dans la section 15.2.2h du Rapport de Sûreté. La présente section est consacrée à la PTAEE de longue durée.

1.2. CAUSES

En ce qui concerne l'identification des causes, on se rapportera à la description faite pour la PTAEE de courte durée (voir section 15.2.2h).

2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT

Phase automatique :

Le réacteur fonctionne initialement en régime établi, dans le domaine de fonctionnement défini par l'état A.

La description du scénario jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé est fournie dans la section 15.2.2h du Rapport de Sûreté. L'état contrôlé atteint au moyen des actions automatiques est rappelé ci-dessous :

- Les pompes primaires sont arrêtées du fait de l'initiateur.
- Le réacteur est en arrêt à chaud, les grappes ont chuté et le déclenchement de la turbine a eu lieu suite à la sollicitation du signal « basse vitesse des GMPP » (Groupes Moto-Pompes Primaires).
- Les diesels de secours ont démarré et permettent en particulier l'alimentation des systèmes ASG (Alimentation de Secours de Générateurs de vapeur), RCV (Circuit de contrôle Volumétrique et Chimique), RBS (Système de Borication de secours), RIS-RA (Système d'Injection de Sécurité et Système de Refroidissement du réacteur à l'Arrêt), RRI (Système de Réfrigération Intermédiaire de l'ilot nucléaire) et SEC (circuit d'eau brute de secours).
- L'évacuation de la puissance résiduelle du cœur est assurée par la circulation naturelle du fluide primaire dans les boucles et par l'échange avec les générateurs de vapeur.
- Les générateurs de vapeur sont alimentés par les pompes ASG qui ont démarré sur signal « Bas Niveau GV » (seuil Min2p) suite à la perte de l'alimentation normale en eau ARE induite par la perte des alimentations électriques externes (si le signal est atteint durant la phase automatique). La vapeur produite par la puissance échangée est évacuée par les Vannes de Décharge à

l'Atmosphère (VDA) qui contrôlent la pression secondaire à leur pression de consigne, le GTC étant indisponible.

- La température du fluide primaire est stable ou décroît, elle est légèrement supérieure à la température de saturation du fluide secondaire.
- En supposant que les chaufferettes (secourues par les diesels) fonctionnent normalement, la pression dans le pressuriseur est maintenue autour de sa valeur nominale.
- En supposant que le système de régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur par le RCV fonctionne normalement, le niveau d'eau dans le pressuriseur est stabilisé.
- L'ASG débite à plein débit tant que le niveau est inférieur au niveau nominal, puis le débit ASG est régulé pour maintenir le niveau dans les générateurs de vapeur autour de la valeur de consigne de \square % GL.

Conduite opérateur :

Dans l'orientation initiale en CIA, suite à l'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR), on constate l'indisponibilité de toutes les pompes primaires, avec une marge à la saturation satisfaisante, un inventaire en eau primaire non dégradé, des GV non isolés, non radioactifs, caractérisés par un inventaire en eau satisfaisant, et des conditions dans l'enceinte non dégradées. En conséquence, l'opérateur est orienté vers une conduite incidentelle.

Dans cette conduite, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation en conduite incidentelle, dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. A court terme, l'état d'arrêt à chaud ainsi obtenu est un état contrôlé. Deux heures après la perte des alimentations électriques, compte tenu de la durée de l'incident, par application d'une fiche EFS, l'opérateur sort de cette phase de stabilisation, le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé.

Si le seuil « Bas Niveau GV » (Min2p - Gamme Large) n'a pas été atteint automatiquement et que le niveau GV est inférieur à \square % GE (Gamme Étroite), l'opérateur met en fonctionnement les trains ASG. En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG, la surveillance des systèmes de sauvegarde, aura permis d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné, et un opérateur sera chargé d'ouvrir les vannes du barillet aval permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin. Durant la phase de stabilisation en conduite incidentelle, le niveau des GV est stabilisé à la valeur atteinte au moment de l'intervention de l'opérateur ou à la valeur atteinte au moment du relignage.

La stratégie de passage en état de repli conduit au passage en arrêt intermédiaire jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Si besoin une borication du circuit primaire est réalisée, en utilisant le RCV ou le RBS si le RCV est indisponible. Un volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid est injecté. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement est de 50°C/h :

- si deux trains RBS sont en service et si le niveau pressuriseur est supérieur à MIN2 ou
- si aucun train RBS n'est en service, que la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise et que le niveau pressuriseur est supérieur à MIN2.

Le gradient de refroidissement est de 25°C/h :

- si deux trains RBS sont en service et si le niveau pressuriseur est inférieur à MIN2 ou
- si un train RBS est en service ou
- si aucun train RBS n'est en service, que la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise et que le niveau pressuriseur est inférieur à MIN2.

Durant la phase de passage en état de repli, les trains ASG disponibles débitent à plein débit tant que le niveau est inférieur au niveau nominal, puis le débit ASG est régulé pour maintenir le niveau dans les générateurs de vapeur autour de sa valeur nominale.

Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants. Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion auxiliaire et si besoin les chaufferettes ; en cas d'indisponibilité de l'aspersion auxiliaire, l'opérateur peut assurer la dépressurisation par une ouverture contrôlée des soupapes du pressuriseur. Pour le contrôle du niveau d'eau dans le pressuriseur, l'opérateur ajuste les débits de charge et de décharge si les fonctions correspondantes sont disponibles.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square bar abs.

Si le contrôle du niveau d'eau dans le pressuriseur n'est pas efficace, celui-ci peut se vider. La forte dépressurisation primaire qui en résulte peut conduire à une vaporisation dans le dôme, dans les tubes guides, éventuellement aussi dans les parties hautes du downcomer et du plenum supérieur. Cette vaporisation influera sur la vitesse de dépressurisation.

Tant que la marge à la saturation en branche chaude reste suffisamment élevée, la conduite pour le passage en état de repli se poursuit sans autre appoint primaire que le RBS. Si la marge à la saturation en branche chaude devenait trop faible après l'activation de P12, le signal IS sur faible ΔP_{sat} serait émis (seuil Min1p). L'injection d'eau dans le primaire par les pompes IS conduirait à une rapide restauration de la marge à la saturation.

Lorsque la température et la pression dans les branches chaudes atteignent 180°C et 32 bar abs, le permissif P14 est validé. Si le volume total d'eau disponible dans les bâches ASG devient insuffisant, l'opérateur connecte sans attendre le RIS-RA en mode RA, sinon, le refroidissement est poursuivi jusqu'à ce que la température des branches chaudes atteigne 135°C avant de connecter le RIS-RA en mode RA. Une fois connecté, le RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance résiduelle par l'intermédiaire des échangeurs RIS/RRA-RR1, et les générateurs de vapeur ne sont plus nécessaires.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de l'incident PCC-3 de Perte Totale des Alimentations Electriques Externes d'une durée supérieure à 2h en état A sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium (2810°C pour du combustible neuf, décroissant de 7.6°C tous les 1000 MWJ/t). Des critères techniques d'acceptation peuvent être retenus pour certains incidents, par exemple : la valeur restrictive de 590 W/cm est prise dans certains cas, cette valeur permettant de garantir la non fusion au centre de la pastille.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

Outre les F1 réalisées par l'opérateur, les moyens automatiques classés F1A susceptibles d'être sollicités au cours de cet incident sont :

- l'Arrêt Automatique du Réacteur qui se déclenche sur signal Basse Vitesse des Pompes Primaires dans 2 boucles sur 4,
- le signal d'ouverture, GV par GV, des vannes d'isolement du VDA sur Haute Pression Secondaire (seuil MAX1p),
- le signal de démarrage de l'ASG, GV par GV, sur « Bas Niveau GV » (seuil Min2p),
- l'émission du permissif P12 sur seuil de basse pression dans le pressuriseur,
- le signal IS (démarrage de l'injection de sécurité, isolement du circuit primaire) sur « Bas ΔP_{sat} » après activation de P12,
- l'émission du permissif P14 sur seuils de pressions et températures en branches chaudes.

4. ASPECT COURT TERME

L'étude réalisée à court terme pour la perte des alimentations électriques externes inférieure à 2 heures (voir section 15.2.2h) envisage, de façon conservatrice pour cet événement PCC2, un temps de chute des grappes avec séisme (hypothèse qui est également postulée pour la PTAAE supérieure à 2 heures, événement PCC-3) et un aggravant sur une grappe bloquée en position extraite.

De ce fait, l'étude réalisée à court terme dans la section 15.2.2h est enveloppe de la PTAAE de longue durée pour la justification des critères relatif aux dommages sur les assemblages combustibles. Cette étude montre que les critères de RFTC et de puissance linéique, qui doivent être vérifiés pour des événements PCC-2, sont respectés. En conséquence, les critères techniques d'acceptation PCC-3 relatifs aux dommages sur les assemblages combustible (nombre de crayons entrant en crise d'ébullition, température maximale de gaine des crayons combustible et absence de fusion du combustible) sont également respectés pour l'étude de PTAAE supérieure à 2 heures (PCC-3).

L'étude réalisée, ci-dessous, démontre que l'état contrôlé (avec les seuls moyens F1A) puis l'état d'arrêt sûr peuvent être atteints.

5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

On vérifie que la capacité des bâches ASG est suffisante pour rallier l'état d'arrêt sûr par simulation de l'incident, jusqu'à l'atteinte des conditions de validation du permissif P14 permettant la connexion du RIS-RA en mode RA.

5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE

□

5.2.1. État initial

Les incertitudes sont choisies dans le but de majorer l'énergie primaire à évacuer au secondaire et à limiter la capacité du secondaire à évacuer cette énergie. □ :

□

Ces conditions initiales sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.3b.1](#) de la présente section.

5.2.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

□

En conséquence :

- deux trains ASG sont indisponibles ;
- un seul train RBS est disponible pour la conduite opérateur.

5.2.3. Hypothèses cœur

La puissance cœur est supposée constante (102% PN) jusqu'au début de la chute des grappes. □.

5.2.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

La puissance cœur est maintenue constante jusqu'au début de la chute des grappes.

A l'instant initial, où se produit la perte des alimentations électriques, les pompes primaires s'arrêtent, et on suppose que l'alimentation normale des générateurs de vapeur s'annule instantanément.

Pour augmenter l'énergie primaire à évacuer au secondaire, les chaufferettes tout ou rien secourues par les diesels sont prises en compte pendant la phase automatique □ ; les chaufferettes sont mises à l'arrêt si la pression dans le pressuriseur excède □ bar.

Après avoir démarré suite au signal « Bas Niveau GV » GL (Min2p) ou après avoir été mises en route par l'opérateur (niveau GV inférieur à □% GE), les pompes ASG disponibles délivrent un débit d'alimentation maximal de □ m³/h/pompe, à la température maximale de □ °C. Durant la phase de stabilisation en conduite incidentelle, le débit ASG est ajusté de manière à maintenir les niveaux des générateurs de vapeur à leur valeur au moment de l'intervention de l'opérateur ou à leur valeur au moment du relignage. Après la phase de stabilisation incidentelle, l'opérateur fait en sorte que le niveau GV atteigne le niveau de consigne de la régulation par l'ASG □. Ensuite le débit ASG est ajusté pour maintenir les niveaux des générateurs de vapeur autour de leur consigne.

Le volume d'eau utile dans les bâches ASG est supposé minimal, égal à □ m³ au total.

L'aggravant et la maintenance préventive entraînant l'indisponibilité de deux pompes ASG, deux GV sont réalimentés par l'ASG des GV voisins. □.

Concernant les vannes de contrôle du VDA, on considère leur capacité minimale □, et on suppose qu'à l'ouverture des vannes d'isolement, l'état d'ouverture des vannes réglantes est tel qu'il permet immédiatement de maintenir la pression de consigne de □ bar, jusqu'à ce que l'opérateur procède à une ouverture contrôlée de ces vannes pour refroidir le fluide primaire.

Par ailleurs, pendant le refroidissement du fluide primaire, l'opérateur procède à une borication via l'injection par le RBS (le RCV n'étant pas classé F1) d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid. Les caractéristiques retenues pour le RBS sont un débit minimal de □

m³/h/pompe à la température maximale de [] °C. L'injection de bore par le RBS correspond à une concentration minimale [] ppm de bore enrichi []. La masse maximale d'eau injectée par le RBS dans le circuit primaire est égale à [] kg. Cette quantité garantit l'atteinte de la CB requise en arrêt à froid, pour tous les cycles et épuisements. Le cas le plus pénalisant [] est déterminé vis-à-vis de l'écart de concentration en bore entre l'état initial et la CB requise en arrêt à froid (ΔCB_{max}).

Un volume [], permettant d'assurer l'atteinte de la concentration en bore requise en arrêt à froid, est considéré. [].

Aucune autre régulation ou action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur n'est prise en compte.

5.2.5. Hypothèses protections

Arrêt Automatique du Réacteur

L'AAR a lieu sur signal « Basse Vitesse des Pompes Primaires » (classé F1A) [] :

[]

Arrêt de la turbine, ouverture des vannes VDA

Pour le déclenchement de la turbine et l'ouverture du VDA, on retient des hypothèses qui limitent l'évacuation de la puissance résiduelle par le secondaire :

[]

Démarrage automatique de l'ASG

Les pompes ASG démarrent sur signal « Bas Niveau GV » Min2p (classé F1A). Les hypothèses associées à ce signal sont les suivantes, elles visent à limiter l'inventaire en eau secondaire au moment où les pompes ASG commencent à débiter, et à anticiper l'alimentation après l'atteinte du seuil :

[]

Isolement automatique de la purge APG

La purge est isolée sur signal « Bas niveau GV Gamme Etroite » Min1p (classé F1A).

Démarrage de l'injection de sécurité sur Bas ΔP_{sat}

Le cas échéant, l'injection de sécurité démarre sur signal Bas ΔP_{sat} [].

Permissifs P12 et P14

- Le permissif P12 permet, entre autres, d'activer la protection sur signal Bas $\Delta P_{sat} < MIN1p$. [].
- Le permissif P14 permet de connecter le RIS-RA en mode RA. [].

5.2.6. Actions opérateur

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le signal d'AAR. Seuls les moyens F1 sont considérés pour la simulation de la conduite ; en conséquence, la charge, la décharge et l'aspersion auxiliaire ne sont pas utilisées.

On suppose que les opérateurs restent dans la phase de stabilisation pendant les 2 premières heures après le signal d'AAR, en contrôlant la marge à la saturation et le niveau d'eau dans le pressuriseur. Aucune action opérateur n'est effectuée pendant cette phase dans la simulation, en dehors de celle relative à l'alimentation des GV. Une demi-heure après le signal d'AAR l'opérateur met en service les

trains ASG disponibles car le niveau GV est inférieur à 10% GE. Suite au constat de non alimentation de 2 générateurs de vapeur 1, l'opérateur ouvre depuis la salle de commande les vannes permettant de restaurer l'alimentation de ces GV par les trains ASG disponibles. Le débit ASG est ajusté par l'opérateur de manière à maintenir les niveaux des générateurs de vapeur à leur valeur au moment de l'intervention de l'opérateur ou à leur valeur au moment du relignage.

Deux heures après le signal d'AAR, on suppose que les opérateurs engagent la stratégie de repli jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA. Les opérateurs assurent la borication du fluide primaire via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration requise en arrêt à froid, ainsi que l'action de refroidissement du fluide primaire à la vitesse de -25° C/h. Si besoin, en l'absence d'aspersion, l'opérateur utilisera les soupapes du pressuriseur pour dépressuriser de façon contrôlée.

Une fois que tout le volume de bore assurant la concentration en bore requise pour l'arrêt à froid a été injecté, l'opérateur ne modifie pas le gradient de refroidissement de - 25° C/h à - 50° C/h puisque le niveau pressuriseur est inférieur à MIN2 1.

Dans le cadre de cette étude une incertitude de 1 bar (conservatisme) est retranchée à la pression de connexion du RIS-RA en mode RA 1 correspondant à l'obtention du permissif P14. 1.

5.3. RÉSULTATS

Le seuil « Basse Vitesse des Pompes Primaires » est atteint environ 2,3 secondes après la perte totale des alimentations électriques, le signal d'arrêt automatique du réacteur ainsi généré 1 provoque la chute des grappes, suivie du déclenchement de la turbine 1.

Pendant toute la phase automatique les chaufferettes tout ou rien sont secourues par les diesels et permettent de maintenir la pression pressuriseur autour de 1 bar. Un débit de circulation naturelle s'établit permettant l'évacuation de la puissance résiduelle par le secondaire. Du côté secondaire, la pression augmente jusqu'à la pression d'ouverture des vannes d'isolement du VDA, puis se stabilise à cette pression de consigne. La puissance résiduelle fournie au circuit secondaire conduit à une évacuation de vapeur au VDA, alors que les GV ne sont plus alimentés ; en conséquence le niveau d'eau dans les GV diminue progressivement.

En amont de toute action opérateur, l'inventaire en eau du primaire est stable (cf. figures [FIG-15.2.3b.3](#) et [FIG-15.2.3b.6](#)), les températures et pression primaires sont stables (cf. figures [FIG-15.2.3b.2](#) et [FIG-15.2.3b.9](#)) et la puissance résiduelle est évacuée par les GV via l'ouverture des VDA (cf. figure [FIG-15.2.3b.7](#)). Par ailleurs comme démontré dans le [§ 4.](#), les critères relatifs aux assemblages combustibles sont respectés ; les rejets radiologiques restent donc limités. Enfin la chute des grappes assure le respect du critère de sous-criticité.

L'ensemble des critères relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé présenté au [§ 2.2.](#) est respecté. L'état contrôlé est donc atteint.

Une demi-heure après l'arrêt automatique du réacteur, l'opérateur met en service les deux trains ASG disponibles et stabilise le niveau atteint dans ces GV (La purge a été isolée automatiquement sur le seuil de niveau MIN1p GE dans les GV et l'échantillonnage des GV reste ouvert).

Suite au constat de non-alimentation de deux générateurs de vapeur 1 un opérateur ouvre depuis la salle de commande les vannes permettant de restaurer l'alimentation de ces GV par les trains ASG disponibles. Un débit suffisant est injecté dans les GV initialement alimentés afin de maintenir leur niveau tandis que le débit injecté dans les GV initialement non alimentés permet de stabiliser le niveau dans les GV.

Deux heures après le signal d'arrêt automatique du réacteur, l'opérateur engage la procédure de repli afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr (connexion du RIS-RA en mode RA). Pour cela il arrête les chaufferettes puis procède à un refroidissement 1 à -25° C/h via les vannes de décharges à l'atmosphère. En parallèle, l'opérateur commence une borication via le RBS.

Pendant cette phase, la régulation automatique de niveau GV par l'ASG est valorisée 1.

L'injection de bore débute en même temps que le refroidissement pendant 9262 secondes, durée permettant l'injection de bore assurant l'atteinte de la concentration de bore requise en arrêt à froid. Sous l'effet du refroidissement la pression chute et le primaire se contracte induisant une baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur.

Au bout de 20 524 secondes, le volume de bore a été complètement injecté, la concentration de bore requise en arrêt à froid est atteinte. Comme le niveau pressuriseur est inférieur à MIN2 l'opérateur poursuit un refroidissement à -25° C/h. L'arrêt de cette injection de fluide accélère la dépressurisation du primaire ainsi que la baisse de niveau d'eau dans le pressuriseur.

Le permissif P12 est atteint au bout de 22 806 secondes.

Le refroidissement se poursuit jusqu'à l'atteinte des conditions permettant la validation du permissif P14. L'opérateur peut connecter le RIS-RA en mode RA.

La consommation totale d'ASG jusqu'à cet instant est inférieur à la capacité minimum des bâches ASG.

En fin d'incident le niveau d'eau dans les GV est régulé autour de % GL dans chaque GV. La masse d'eau liquide contenue dans les GV est d'environ tonnes.

Par conséquent, l'état d'arrêt sûr est atteint :

- Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm) compte tenu de l'injection de bore dans le circuit primaire par le RBS.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables compte tenu du non découvrément du cœur et du respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux assemblages combustibles.

6. CONCLUSION

À court terme, les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustible (nombre de crayons entrant en crise d'ébullition, température maximale de gaine des crayons combustible et absence de fusion du combustible) sont respectés (voir §4).

A moyen terme, il est vérifié que l'état contrôlé peut être atteint avec les seuls moyens F1A :

- Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$, compte tenu de la chute des grappes.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à moyen terme via les VDA et l'alimentation en eau des GV par les bâches ASG.
- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables compte tenu du non découvrément du cœur et du respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux assemblages combustibles.

Par la suite, l'état d'arrêt sûr est atteint avec les moyens F1A et F1B :

- Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm) compte tenu de l'injection suffisante de bore dans le circuit primaire par le RBS.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables compte tenu du non découvrément du cœur et du respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux assemblages combustibles.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 11/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3B.1 INCIDENT DE PTAAE > 2H – CONDITIONS
INITIALES**

□

**TAB-15.2.3B.2 INCIDENT DE PTAAE > 2H – SÉQUENCE
DES ÉVÈNEMENTS**

Temps (s)	Événement
0,0	Initiateur : perte des alimentations électriques externes
2,3	Atteinte du seuil « basse vitesse des GMPP »
□	Signal AAR sur basse vitesse des pompes primaires
□	Chute des grappes
□	Déclenchement de la turbine
19	Signal haute pression secondaire Max1p
21	Ouverture des VDA
60	Isolement de l'APG sur le signal Bas niveau GV Min1p GE
1 803	Mise en service de l'ASG dans les GV 3 et 4 par l'opérateur Relignage dans les GV 1 et 2
7203	Début du refroidissement □ à -25°C/h
7203	Début de l'injection de bore via le RBS
9 975	Arrêt des chaufferettes secourues
20 524	Arrêt du RBS
22 806	Permissif P12
34 171	Fin du calcul □



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 13/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3B.3 INCIDENT DE PTAEE > 2H – PUISSANCE
RÉSIDUELLE**

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.3B

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE 14/22

**FIG-15.2.3B.1 INCIDENT DE PTAAE > 2H – PUISSANCE
THERMIQUE CŒUR ET DÉBITS MASSIQUES DU PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 15/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3B.2 INCIDENT DE PTAEE > 2H – TEMPÉRATURES
BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES ET
TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 16/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3B.3 INCIDENT DE PTAEE > 2H – NIVEAU PHYSIQUE
PRESSURISEUR ET NIVEAU PRESSURISEUR MESURÉ**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 17/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3B.4 INCIDENT DE PTAEE > 2H - Δ TSAT ET Δ PSAT

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 18/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3B.5 INCIDENT DE PTAEE > 2H – DÉBITS MASSIQUES
INJECTÉS DANS LE PRIMAIRE PAR LES POMPES ISMP ET DÉBITS
MASSIQUES DU RBS INJECTÉS DANS LE PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 19/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3B.6 INCIDENT DE PTAAE > 2H – NIVEAUX DANS LA
CUVE¹ ET DÉBITS MASSIQUES DÉCHARGÉS PAR LES SOUPAPES
PRESSURISEUR**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 20/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3B.7 INCIDENT DE PTAAE > 2H – PRESSIONS DE SATURATIONS DES GV ET NIVEAUX GAMME LARGE DANS LES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 21/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3B.8 INCIDENT DE PTAE > 2H – MASSE D’ASG
INJECTÉE ET DÉBITS MASSIQUES D’ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3B

PAGE 22/22

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3B.9 INCIDENT DE PTAAE > 2H – MASSE TOTALE D’ASG
INJECTÉE ET PRESSION PRESSURISEUR**

□

SOMMAIRE

.15.2.3C OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPEPE DU PRESSURISEUR (ÉTAT A).	3
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT	3
1.1. DÉFINITION	3
1.2. CAUSES	3
2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	3
2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT	3
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	6
3. MOYENS DE PROTECTION	7
4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ	7
5. ÉTUDE COURT TERME	7
5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	7
5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	8
5.2.1. PRISE EN COMPTE DU MANQUE DE TENSION EXTERNE (MDTE)	8
5.2.2. ÉTAT INITIAL	8
5.2.3. BTGV	8
5.2.4. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE	8
5.2.5. HYPOTHÈSES CŒUR	8
5.2.6. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	9
5.2.7. HYPOTHÈSES PROTECTIONS	9
5.3. RÉSULTATS	10
6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	10

TABLEAUX :

TAB-15.2.3C.1 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME– CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	12
TAB-15.2.3C.2 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME– SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	13

FIGURES :

FIG-15.2.3C.1 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – TEMPÉRATURES MAXIMALES À L'INTÉRIEUR DE LA GAINÉ ET AU CENTRE DE LA PASTILLE.....	14
FIG-15.2.3C.2 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – COURBE DE FUEL CENSUS SPÉCIFIQUE AU CAS ÉTUDIÉ POUR LE CALCUL DU NCE	15
FIG-15.2.3C.3 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCE NUCLÉAIRE, PUISSANCE THERMIQUE CŒUR ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES	16
FIG-15.2.3C.4 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES.....	17
FIG-15.2.3C.5 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	18
FIG-15.2.3C.6 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS PRIMAIRES VOLUMIQUES EN ENTRÉE CŒUR	19

.15.2.3C OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR (ÉTAT A)

L'incident étudié dans ce chapitre correspond à une ouverture intempestive d'une soupape du pressuriseur alors que le réacteur est dans le domaine de fonctionnement défini par l'État A (de l'arrêt à chaud au fonctionnement à pleine puissance).

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT

1.1. DÉFINITION

On étudie l'ouverture intempestive d'une soupape du pressuriseur, alors que le réacteur est dans les conditions de fonctionnement définies par l'État A.

1.2. CAUSES

L'ouverture intempestive d'une soupape du pressuriseur peut être due à :

- une fuite au niveau des pilotes solénoïdes de la soupape concernée, ou
- une fuite au niveau du pilote à ressort de la soupape concernée, ou
- une erreur de l'opérateur.

Remarque : Une mesure de température située sur la ligne de décharge commune des pilotes permet de signaler en salle de commande la fuite d'un pilote par une alarme non valorisée dans cette étude.

2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT

De l'initiateur à l'état contrôlé

L'ouverture intempestive d'une soupape pressuriseur provoque un relâchement de vapeur au pressuriseur qui entraîne une dépressurisation du circuit primaire.

Dans le cœur, si le réacteur est en puissance, la baisse de pression primaire provoque une diminution de la densité du modérateur, donc de la puissance ; la contre-réaction par effet Doppler et l'extraction des grappes de contrôle contrebalancent l'effet modérateur en insérant de la réactivité. En conséquence, la puissance dans le cœur reste stable alors que la pression primaire diminue ; il existe donc un risque vis-à-vis de la crise d'ébullition. La limitation « Bas RFTC » peut être atteinte et provoquer un signal d'arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge à la turbine.

Si la limitation « Bas RFTC » n'est pas activée, l'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est provoqué :

- par le signal « Bas RFTC »,
- ou par le signal « Haute qualité en sortie de canal chaud »,
- ou par le signal « Basse Pression Pressuriseur » (seuil MIN2p).

Côté secondaire, l'AAR provoque le déclenchement de la turbine, et concernant le système d'eau alimentaire normale (ARE), la fermeture des vannes réglantes et d'isolement de la ligne à grand débit. La montée en pression dans les Générateurs de Vapeur (GV) après le déclenchement de la turbine conduit à l'ouverture des vannes du Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur (GCT), ou à l'ouverture (seuil MAX1p), GV par GV, des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA), si le GCT est indisponible. Si la régulation du niveau d'eau dans les GV par les vannes réglantes de petit débit

ARE ne fonctionne pas normalement, le petit débit ARE après la chute des grappes peut être excessif et conduire à l'isolement de l'ARE, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (MAX0p). Après cet isolement, ou bien si la régulation de petit débit ARE n'assure pas un débit suffisant après la chute des grappes, le signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (MIN2p) peut être activé et démarrer, GV par GV, les pompes d'Alimentation de Secours des Générateurs de vapeur (ASG).

Après AAR, la pression primaire continue à décroître ce qui conduit au démarrage automatique du RBS sur signal de « Basse Pression Pressuriseur » (MIN4p). Le plein débit du RBS est atteint 61 secondes après l'émission du signal. Par la suite, le signal d'Injection de Sécurité (signal IS) est activé sur « Basse Pression Pressuriseur » (seuil MIN3p). Il provoque en particulier le démarrage des 4 trains IS de Moyenne Pression (ISMP) et Basse Pression (ISBP), l'isolement du circuit primaire principal (conduisant en particulier à l'isolement de la décharge) et l'isolement de l'enceinte phase 1. Sur compte-rendu de signal IS, un refroidissement partiel du fluide primaire est amorcé : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA (et du GCT s'il est disponible) sont abaissés □ pour assurer un refroidissement du fluide primaire à la vitesse de 250°C/h.

Si les pompes primaires sont toujours en fonctionnement (alimentation électrique externe disponible), elles peuvent être arrêtées sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (seuil MIN1p). La baisse de pression primaire pendant le refroidissement partiel facilite les conditions d'injection des pompes ISMP dans les branches froides. Mais tant que le débit ISMP est insuffisant pour compenser le débit à la soupape du pressuriseur, l'inventaire en eau du circuit primaire continue à diminuer. Un risque vis-à-vis du découverture du cœur existe alors pouvant entraîner une dégradation de la gaine du combustible. L'inventaire en eau du circuit primaire cesse de diminuer quand les débits injectés par les pompes ISMP, et éventuellement par les accumulateurs et les pompes ISBP, permettent de compenser le débit relâché à la soupape du pressuriseur. L'état contrôlé est atteint : le cœur est sous-critique, l'inventaire en eau du circuit primaire est stabilisé ou augmente, la puissance résiduelle est évacuée (via la soupape du pressuriseur ouverte et les GV si nécessaire).

Nota : Une soupape du pressuriseur pleine ouverte est couverte par une brèche primaire de 40 cm² et appartient donc à la catégorie des brèches intermédiaires.

De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

À l'état contrôlé, la stabilisation de l'inventaire en eau du circuit primaire est assurée par le système IS (RIS), et l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par la soupape du pressuriseur ouverte et si nécessaire par les GV.

Compte tenu de la capacité limitée de la bêche ASG et de la montée en pression et en température de l'enceinte, le passage à l'état d'arrêt sûr est alors requis.

Si le débit IS injecté suffit à maintenir un inventaire en eau dans le circuit primaire permettant le fonctionnement du RIS en mode RA (RIS-RA), alors cet état est atteint lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- Le cœur est sous-critique, même après épuisement du xénon.
- L'inventaire en eau est stable ; le débit à la soupape du pressuriseur ouverte est compensé par le débit d'IS.
- La puissance résiduelle est évacuée durablement :
 - par le débit à la soupape ouverte du pressuriseur, et
 - par le RIS-RA, si les conditions de connexion au RIS-RA sont atteintes, avec au moins 1 ISBP fonctionnant en mode RA.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état d'arrêt sûr, la procédure de conduite post-accidentelle « PAF avec IS en service » impose alors la borication du circuit primaire en parallèle du refroidissement et de la dépressurisation du Circuit Primaire (RCP).

La borication du RCP est assurée par le système de borication de sécurité (RBS). Le système RBS est conçu de sorte que la borication par le RBS compense l'introduction de réactivité liée au refroidissement du circuit primaire. Le refroidissement du RCP par le secondaire est initié en abaissant le point de consigne des vannes du GCT si disponibles, ou celui des VDA.

Pour entamer la dépressurisation du circuit primaire et ainsi rapprocher le circuit primaire des conditions de connexion au RIS-RA en mode RA, les lignes à grand débit minimum des pompes ISMP sont progressivement ouvertes en fonction de la température primaire en sortie cœur et de la marge à la saturation du circuit primaire. Ces critères garantissent la sous-saturation du fluide primaire. Les GMPP sont arrêtés lorsque la pression primaire devient inférieure à 32 bar.

La connexion des trains ISBP en mode RA est alors possible, dès que les trois conditions suivantes sont réunies au RCP :

- pression dans au moins deux branches chaudes du RCP inférieure à 32 bar,
- température dans au moins deux branches chaudes du RCP inférieure à 180 °C,
- ΔT_{sat} et niveau boucle compatibles avec l'aspiration en branche chaude de l'ISBP en mode RA.

Si le débit IS injecté ne suffit pas à maintenir un inventaire en eau dans le circuit primaire permettant le fonctionnement du RIS-RA, alors l'état d'arrêt sûr correspond aux conditions suivantes :

- Le cœur est sous-critique, même après la décroissance du xénon.
- L'inventaire en eau est stable ; le débit à la soupape du pressuriseur ouverte est compensé par le débit IS.
- La puissance résiduelle est évacuée durablement :
 - par le fluide rejeté à la soupape du pressuriseur ouverte (Ce fluide est à une température inférieure à la température de saturation limite de l'enceinte, définie par la limite de qualification des équipements) et,
 - par la chaîne de refroidissement ISBP / circuit de Réfrigération Intermédiaire (RRI) / Eau Brute de Secours (SEC) conformément aux conditions de conception de l'enceinte, IRWST et RIS.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Le basculement de l'injection ISBP en branche froide vers l'injection ISBP en branche chaude doit être réalisé pour rallier l'état d'arrêt sûr en suivant la procédure « Restauration de l'Inventaire en Eau », 1 h 30 min après le signal IS. Cette action limite l'augmentation de la pression de l'enceinte à long terme. Il est à noter que la problématique de l'augmentation de la pression et de la température dans l'enceinte en cas d'Accident par Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) n'est pas traitée dans ce chapitre. Elle est étudiée dans la section 6.2.1 du Rapport De Sécurité.

Après basculement, l'injection ISBP dans les branches chaudes annule le débit vapeur à la sortie du cœur. Cette nouvelle répartition des débits ISMP en branche froide et ISBP en branche chaude permet d'évacuer la puissance résiduelle du cœur. De plus, le basculement de l'injection ISBP de la branche froide vers la branche chaude permet de limiter la production de vapeur dans le cœur, et donc de limiter la dilution de l'IRWST et le risque de précipitation du bore dans le cœur.

ouvrir les vannes situées sur les lignes d'injection ISBP branche chaude et à fermer les vannes situées sur les lignes d'injection branche froide. L'ISMP continue à injecter dans les branches froides.

L'état d'arrêt sûr est atteint après le basculement de l'ISBP en branche chaude.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les incidents PCC-3 et sont présentés dans la section 15.0.2.

Pour l'aspect court terme de cet incident, les critères techniques d'acceptation suivants sont vérifiés :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10%.
 - L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium (2810°C pour du combustible neuf, décroissant de 7.6°C tous les 1000 MWJ/t). Des critères techniques d'acceptation peuvent être retenus pour certains incidents, par exemple : la valeur restrictive de 590 W/cm est prise dans certains cas, cette valeur permettant de garantir la non fusion au centre de la pastille.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents à dynamique rapide n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.

Pour les aspects moyen terme et long terme de cet incident, les critères techniques d'acceptation sont ceux de l'APRP :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La température maximale de gaine doit rester inférieure à 1200°C.
 - L'oxydation maximale de la gaine doit rester inférieure à 17% de l'épaisseur de gaine.
- La génération maximale d'hydrogène doit rester inférieure à 1 % de la quantité qui serait générée si la totalité du zirconium des gaines en regard de la hauteur active s'était oxydée.
En pratique et dans un objectif de simplification, le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux assemblages combustible et à la génération maximale d'hydrogène est démontré dans ce chapitre par la vérification du non découverture du cœur.
- le refroidissement à long terme du cœur doit être assuré en garantissant l'absence de cristallisation du bore dans le cœur et en tenant compte du phénomène de dilution hétérogène inhérente.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au § 2.1., les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (seuil MIN2p), ou sur signal « Bas RFTC », ou sur signal « Haute qualité en sortie de canal chaud »,
- fermeture des vannes des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur compte-rendu d'AAR,
- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression secondaire » (seuil MAX1p) GV par GV,
- isolement des lignes à petit débit de l'ARE, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (seuil MAX0p),
- signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur » (seuil MIN3p) qui provoque en particulier le démarrage des 4 trains ISMP et ISBP, isole la décharge et provoque un isolement de l'enceinte phase 1,
- refroidissement partiel du circuit primaire sur signal IS par ouverture des vannes d'isolement et régulation de l'ouverture des vannes de contrôle du VDA,
- déclenchement des Groupes MotoPompes Primaires (GMPP) sur « Signal IS + Bas DP aux bornes des pompes »,
- démarrage des pompes ASG, GV par GV, sur signal « Bas Niveau GV » (seuil MIN2p) si l'alimentation en eau des GV n'est pas correctement assurée après AAR,
- démarrage automatique du RBS sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (MIN4p).

4. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ

On étudie l'incident d'une ouverture intempestive d'une des soupapes du pressuriseur sans refermeture possible.

□

5. ÉTUDE COURT TERME

5.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL

L'incident retenu est simulé avec le code □ présenté dans l'Annexe 15A, en utilisant un modèle neutronique □. La simulation est arrêtée quelques secondes après la chute des grappes, avant la sollicitation du signal IS.

Le calcul du RFTC minimal, ainsi que le calcul du pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition (NCE), sont réalisés à l'aide du code □ (voir Annexe 15A), avec les conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) issues du calcul réalisé □ à l'instant pénalisant du scénario.

□

En cas d'entrée en crise d'ébullition, les calculs de la température maximale de la gaine et du combustible sont réalisés avec le code □ :

□

5.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

5.2.1. Prise en compte du Manque De Tension Externe (MDTE)

La diminution du débit primaire qui résulte d'un cumul MDTE est pénalisante en matière de RFTC. La surchauffe du fluide primaire qu'elle provoque accentue le risque d'ébullition critique dans le cœur. En effet, cette surchauffe n'impacte pas la puissance cœur compte tenu de la prise en compte d'un coefficient modérateur nul (voir § 5.2.5.). Le cumul MDTE est donc pris en compte.

Il est postulé à l'instant le plus défavorable entre :

- l'instant initial,
- l'instant d'AAR,
- l'instant du signal IS.

□

□.

5.2.2. État initial

On suppose le réacteur initialement à puissance maximale, en cycle naturel. Le tableau [TAB-15.2.3c.1](#) présente les conditions initiales retenues.

A pleine puissance, le fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par l'incident réalisé en cycle naturel car il est initié à une température primaire inférieure (pour un même niveau de puissance et une pression primaire identique), ce qui est favorable vis-à-vis du RFTC.

Dans les conditions de fonctionnement en prolongation de cycle avec abaissement de la température moyenne primaire et de la puissance, l'effet favorable vis-à-vis du RFTC de la diminution de puissance et de température est prépondérant par rapport à l'effet pénalisant de la diminution de pression.

Un coefficient d'échange thermique combustible-réfrigérant minimal est considéré pour l'étude de cet incident. □.

5.2.3. BTGV

Un Bouchage des Tubes des Générateurs de Vapeur (BTGV) non nul est considéré. En effet, un BTGV implique une masse primaire réduite, ce qui diminue l'inertie thermique du fluide primaire. A l'instant de la perte des pompes primaires due au MDTE, la température moyenne du fluide primaire augmente alors plus rapidement, ce qui pénalise le RFTC minimum.

5.2.4. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

On suppose que la grappe la plus anti-réactive reste bloquée hors du cœur lors de la chute des grappes.

Aucune maintenance préventive pénalisant cet incident n'est identifiée.

5.2.5. Hypothèses cœur

□.

Par ailleurs, pour maintenir une puissance cœur maximale avant le début de la chute des grappes, on retient un coefficient de densité du modérateur minimal. La valeur minimale enveloppe est nulle. En conséquence, la puissance cœur est constante jusqu'au début de la chute des grappes.

On retient par ailleurs les hypothèses qui limitent la baisse de puissance, donc l'augmentation du RFTC, lors de la chute des grappes :

- coefficients Doppler Puissance et Doppler Température maximaux en valeur absolue,
- temps de chute des grappes maximal avec séisme,
-

5.2.6. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Soupape pressuriseur défailante :

.

On suppose l'ouverture de la soupape défailante du pressuriseur immédiate à l'instant initial.

Groupe Motopompes Primaires :

L'inertie des pompes primaires est considérée minimale pour une décroissance du débit primaire plus rapide après cumul MDTE, ce qui est défavorable vis-à-vis de la crise d'ébullition dans le cœur.

GCT :

Ce système n'étant pas classé, il est supposé indisponible puisqu'il favorise l'évacuation de la puissance résiduelle.

VDA :

Par conservatisme, les vannes de contrôle du VDA sont considérées fermées à l'ouverture des vannes d'isolement pour limiter l'évacuation de puissance au secondaire. Le temps considéré pour l'ouverture et la fermeture de ces vannes est de 40 s. Cette hypothèse n'a pas d'impact sur le calcul du RFTC minimum qui intervient avant l'ouverture des vannes d'isolement du VDA.

ARE :

On suppose un débit ARE constant jusqu'au cumul MDTE, puis nul après.

Régulations :

L'ouverture intempestive d'une soupape du pressuriseur conduisant à la dépressurisation du circuit primaire, la régulation de pression pressuriseur est en principe sollicitée. Cependant, les chaufferettes du pressuriseur ne sont pas prises en compte afin de maximiser la vitesse de dépressurisation du circuit primaire, ce qui est pénalisant pour le RFTC.

L'incident conduisant également à la diminution du niveau pressuriseur, la régulation du niveau pressuriseur est en principe sollicitée. Cependant, le système de charge et de décharge n'est pas pris en compte afin de maximiser la vitesse de dépressurisation du circuit primaire, ce qui est pénalisant pour le RFTC.

De façon générale, la régulation de la température par les grappes est sollicitée et conduit au maintien en puissance du réacteur. Cependant, l'étude est réalisée en supposant un effet modérateur nul (début de vie). La diminution de la densité du modérateur n'entraîne donc pas de diminution de puissance. Cette hypothèse est pénalisante vis-à-vis du RFTC. Dans ces conditions, la régulation par les grappes n'intervient pas et n'est donc pas modélisée.

5.2.7. Hypothèses protections

Les trois signaux d'AAR modélisés sont :

Le signal « Bas RFTC » (classé F1A) :

Le signal « Haute qualité en sortie de canal chaud » (classé F1A) :

Le signal « Basse Pression Pressuriseur » (classé F1A) :

5.3. RÉSULTATS

Le tableau [TAB-15.2.3c.2](#) présente la séquence des événements pour l'incident pénalisant avec cumul du MDTE. L'évolution des principaux paramètres de l'incident est présentée sur les figures [FIG-15.2.3c.3](#) à [FIG-15.2.3c.6](#).

Compte tenu des hypothèses retenues, le MDTE est postulé à 19,3s, à l'instant du franchissement du seuil d'AAR par « Bas RFTC ». Le débit primaire décroît alors et les pompes ARE ne sont plus alimentées. Le cumul du MDTE provoque un échauffement du fluide primaire, une augmentation du niveau d'eau dans le pressuriseur et une montée en pression du circuit primaire.

Le RFTC minimum est atteint à 23,8 s et des crayons entrent en crise d'ébullition (NCE) au cours de l'incident, ce qui est inférieur au critère technique d'acceptation relatif au nombre de crayons entrant en crise d'ébullition pour les incidents PCC-3 (NCE inférieur à 10%).

La température maximale de la gaine atteinte au cours de l'incident est de °C et la température maximale au centre de la pastille est de (du combustible fondu). L'évolution de ces températures est présentée sur la figure [FIG-15.2.3c.1](#).

L'ensemble des critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles présentés au [§ 2.2](#) est donc respecté.

6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

À court terme, l'analyse présentée au [§ 5.3](#) démontre que pour l'incident d'ouverture intempestive d'une soupape du pressuriseur, les critères d'études PCC-3 liés aux dommages sur les assemblages combustibles présentés au [§ 2.2](#) (NCE, température dans la pastille au point chaud et température maximale de gaine) sont respectés.

À moyen terme et à long terme, vis-à-vis des critères APRP présentés au [§ 2.2](#) (dommages limités sur les assemblages combustibles, absence de cristallisation et de dilution hétérogène), cet incident est couvert par les sections 15.2.3e1 et 15.2.4f1 du RDS qui envisagent l'ensemble des brèches primaires en état A (tailles et positions) et pour lesquelles ces critères sont respectés. En effet, l'ouverture d'une soupape du pressuriseur qui s'apparente à une brèche de 40 cm² au pressuriseur est couverte par une brèche en branche froide de même taille.

L'état contrôlé est atteint comme décrit au [§ 2.1](#) : le cœur est sous-critique du fait de l'insertion des grappes et de l'injection de bore par l'IS et le RBS, l'inventaire en eau du circuit primaire est stabilisé ou augmente suite au démarrage de l'IS, la puissance résiduelle est évacuée (via la soupape du pressuriseur ouverte et les GV si nécessaire) et enfin, les rejets radiologiques sont tolérables puisque les dommages subis par les assemblages combustibles restent limités, comme démontré au [§ 5.3](#). L'état contrôlé est donc atteint.

A plus long terme l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est également garantie puisque :

- La sous-criticité du cœur est assurée par la chute des grappes et l'injection de bore par l'IS et le RBS.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée durablement par la connexion du RIS-RA en mode RA et/ou par la chaîne de refroidissement ISBP/RRI/SEC des pompes ISBP fonctionnant en mode IS.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3C

PAGE 11/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

- Les rejets radiologiques restent tolérables puisque les critères relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles sont respectés et que le cœur reste couvert.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2.](#) est donc respecté.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3C

PAGE 12/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3C.1 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE
SOUPAPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT
TERME– CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES
D'ÉTUDES**

□

TAB-15.2.3C.2 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPAPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

Temps (s)	Événement
0,0	Ouverture intempestive d'une soupape du pressuriseur
19,3	Atteinte du seuil d'AAR « Bas RFTC »
19,3	Cumul du MDTE
20,3	signal d'AAR par « Bas RFTC »
□	Début de la chute des grappes
22,8	Déclenchement de la turbine
23,8	RFTC minimum atteint □
34,3	Ouverture des VDA sur signal « Haute Pression secondaire »
50,0	Fin de l'incident

**FIG-15.2.3C.1 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPAPE DU
PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – TEMPÉRATURES
MAXIMALES À L'INTÉRIEUR DE LA GAINÉ ET AU CENTRE DE LA
PASTILLE**

□

□

FIG-15.2.3C.2 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – COURBE DE FUEL CENSUS SPÉCIFIQUE AU CAS ÉTUDIÉ POUR LE CALCUL DU NCE

□

FIG-15.2.3C.3 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCE NUCLÉAIRE, PUISSANCE THERMIQUE CŒUR ET TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES

□

FIG-15.2.3C.4 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3C

PAGE 18/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3C.5 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION ET NIVEAU PRESSURISEUR

□

FIG-15.2.3C.6 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPEPE DU PRESSURISEUR – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS PRIMAIRES VOLUMIQUES EN ENTRÉE CŒUR

□

SOMMAIRE

.15.2.3D OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHÈRE OU D'UNE SOUPE GV (ÉTAT A)	6
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT	6
1.1. DÉFINITION	6
1.2. CAUSES	6
2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	6
2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT	6
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	8
3. MOYENS DE PROTECTION	9
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	10
5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	11
5.1. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT DU VDA OU D'UNE SOUPE SECONDAIRE INITIÉE EN PUISSANCE	11
5.2. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT DU VDA OU D'UNE SOUPE SECONDAIRE INITIÉE À PUISSANCE NULLE	11
5.2.1. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS	11
5.2.2. DÉMARCHE D'ÉTUDE	12
5.2.3. HYPOTHÈSES D'ETUDE	13
5.2.4. RÉSULTATS	18
5.3. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	21
6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	21
6.1. CONDUITE ACCIDENTELLE	21
6.2. CONDUITE INCIDENTELLE	23
6.3. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	24
6.4. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	25
7. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE	26
8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	26
9. CONCLUSION	27

TABLEAUX :

TAB-15.2.3D.1	OUVERTURE D'UN VDA OU D'UNE SOUPEPE GV – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	28
TAB-15.2.3D.2	OUVERTURE D'UN VDA – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE NULLE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	31
TAB-15.2.3D.3	SURDÉBITS ARE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE	33
TAB-15.2.3D.4	DONNÉES NEUTRONIQUES – INCERTITUDES ET PÉNALITÉS POUR LA PARTIE PUISSANCE NULLE.....	34
TAB-15.2.3D.5	OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	35
TAB-15.2.3D.6	OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	36
TAB-15.2.3D.7	OUVERTURE D'UNE SOUPEPE GV À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	37
TAB-15.2.3D.8	CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET DISTRIBUTION DE PUISSANCE A L'INSTANT PENALISANT DE L'INCIDENT D'OUVERTURE INTEMPESTIVE DU VDA POUR LA PARTIE A PUISSANCE NULLE – CALCUL DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN	38
TAB-15.2.3D.9	CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET DISTRIBUTION DE PUISSANCE À L'INSTANT PÉNALISANT DEL'INCIDENT D'OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPEPE SECONDAIRE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE – CALCUL DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN	39

FIGURES :

FIG–15.2.3D.1 ABAQUE (FΔHI, MA) ET CONFIGURATIONS CONSIDÉRÉES POUR L’OUVERTURE D’UN VDA ET L’OUVERTURE D’UNE SOUPAPE SECONDAIRE À PUISSANCE NULLE	40
FIG–15.2.3D.2 NAPPE DE TEMPÉRATURES CORRESPONDANT À LA BOUCLE ROMPUE N°3	41
FIG–15.2.3D.3 NAPPE DE TEMPÉRATURES CORRESPONDANT À LA BOUCLE ROMPUE N°4	42
FIG–15.2.3D.4 NAPPE DE TEMPÉRATURES SPÉCIALE CENTRÉE SUR LA GRAPPE B08	43
FIG–15.2.3D.5 NAPPE DE TEMPÉRATURES SPÉCIALE CENTRÉE SUR LA GRAPPE F02.....	44
FIG–15.2.3D.6 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/ SECONDAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	45
FIG–15.2.3D.7 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	46
FIG–15.2.3D.8 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	47
FIG–15.2.3D.9 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – DÉBITS IS ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	48
FIG–15.2.3D.10 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	49
FIG–15.2.3D.11 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D’ALIMENTATION DES GV (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	50
FIG–15.2.3D.12 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	51

FIG–15.2.3D.13 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – RÉACTIVITE ET CONCENTRATION EN BORE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	52
FIG–15.2.3D.14 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/ SECONDAIRE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	53
FIG–15.2.3D.15 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)	54
FIG–15.2.3D.16 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	55
FIG–15.2.3D.17 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – DÉBITS IS ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	56
FIG–15.2.3D.18 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	57
FIG–15.2.3D.19 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D’ALIMENTATION DES GV (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)	58
FIG–15.2.3D.20 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	59
FIG–15.2.3D.21 OUVERTURE D’UN VDA À PUISSANCE NULLE – RÉACTIVITE ET CONCENTRATION EN BORE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	60
FIG–15.2.3D.22 OUVERTURE D’UNE SOUPE GV À PUISSANCE NULLE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/ SECONDAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	61
FIG–15.2.3D.23 OUVERTURE D’UNE SOUPE GV À PUISSANCE NULLE – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	62

FIG–15.2.3D.24 OUVERTURE D’UNE SOUPE GV À PUISSANCE NULLE – PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	63
FIG–15.2.3D.25 OUVERTURE D’UNE SOUPE GV À PUISSANCE NULLE – DÉBITS IS ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	64
FIG–15.2.3D.26 OUVERTURE D’UNE SOUPE GV À PUISSANCE NULLE – NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	65
FIG–15.2.3D.27 OUVERTURE D’UNE SOUPE GV À PUISSANCE NULLE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D’ALIMENTATION DES GV (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE).....	66
FIG–15.2.3D.28 OUVERTURE D’UNE SOUPE GV À PUISSANCE NULLE – NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR (CYCLE NATUREL / DÉBUTX DE PROLONGATION DE CYCLE).....	67
FIG–15.2.3D.29 OUVERTURE D’UNE SOUPE GV À PUISSANCE NULLE – RÉACTIVITE ET CONCENTRATION EN BORE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	68

.15.2.3D OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHÈRE OU D'UNE SOUPAPE GV (ÉTAT A)

L'étude a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée en se basant sur un jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B). Puis l'analyse des modifications introduites ultérieurement permet de justifier l'absence d'impact sur le respect des critères de sûreté.

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT

1.1. DÉFINITION

Les conditions les plus sévères vis-à-vis du cœur en cas de dépressurisation secondaire due à une ouverture intempestive d'un dispositif d'évacuation de vapeur secondaire résultent de :

- l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA, ou de
- l'ouverture intempestive d'une soupape de sûreté sur une ligne vapeur.

Ces incidents sont classés PCC-3.

Le rejet de vapeur résultant de l'ouverture d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape de sûreté sur une ligne vapeur conduit à une augmentation du débit vapeur extrait des GV ; ce débit diminue au fur et à mesure que la pression décroît dans les lignes vapeur. Les surdébits vapeur extraits des GV conduisent à une augmentation de la puissance échangée, et en conséquence provoquent une diminution des températures dans les branches froides et de la pression du circuit primaire. Avec un coefficient de température du modérateur négatif, le refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur provoque une insertion de réactivité ; il en résulte une augmentation de la puissance dans le cœur si le réacteur était initialement en puissance, ou un risque de retour à la criticité avec une possible excursion de puissance si le cœur était initialement en arrêt à chaud.

1.2. CAUSES

- 1) Ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA
Le système de Vannes de Décharge à l'Atmosphère est dimensionné pour évacuer \square du débit vapeur nominal. Il est constitué, sur chaque ligne vapeur, d'une vanne de contrôle à ouverture variable et d'une vanne d'isolement tout ou rien. Lors de l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement d'un VDA, initialement en position fermée, une augmentation du débit vapeur dans tous les GV est observée, la vanne de contrôle étant totalement ouverte si le réacteur est initialement en puissance, ou partiellement si le réacteur est initialement à puissance nulle. L'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement d'un VDA est un incident classé PCC-3.
- 2) Ouverture intempestive d'une soupape de sûreté sur une ligne vapeur
Les soupapes de sûreté sur les lignes vapeur sont des soupapes à ressort conçues pour évacuer \square du débit vapeur nominal. L'ouverture intempestive d'une soupape provoque une augmentation du débit vapeur dans tous les GV. L'ouverture intempestive d'une soupape secondaire est classée comme un incident PCC-3.

2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT

de l'initiateur à l'état contrôlé :

Lorsque le réacteur est en puissance, l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape secondaire conduit à une augmentation du débit vapeur dans tous les GV, qui décroît au cours de l'incident au fur et à mesure que la pression secondaire diminue. Ces surdébits vapeur conduisent à une augmentation de la puissance extraite du circuit primaire, qui provoque une

diminution des températures dans les branches froides et une diminution de la pression du circuit primaire. Avec un coefficient de température du modérateur négatif, le refroidissement à l'entrée du cœur provoque une insertion de réactivité et en conséquence une augmentation de la puissance du cœur.

L'étude des brèches secondaires PCC-4 présentée dans la section 15.2.4b (« rupture de tuyauterie vapeur - états A, B ») précise de manière détaillée la séquence des événements pour différentes tailles de brèches, y compris pour des brèches de tailles équivalentes d'une part à l'ouverture d'une vanne d'isolement du VDA (avec une pleine ouverture de la vanne réglante du train VDA correspondant), d'autre part à l'ouverture d'une soupape secondaire.

Pour une taille de brèche moyenne équivalente à l'ouverture d'une vanne d'isolement du VDA (avec la vanne réglante correspondante pleine ouverte), l'AAR intervient sur signal bas RFTC, prévenant ainsi tout risque d'endommagement du combustible (et notamment l'entrée en crise d'ébullition) avant la chute des grappes.

Dans le cas des petites brèches, aucun signal d'AAR n'est sollicité et le réacteur se stabilise à un niveau de puissance augmenté, sans risque vis-à-vis de la crise d'ébullition, jusqu'à l'intervention de l'opérateur.

Si les incidents sont initiés en arrêt à chaud ou après l'arrêt du réacteur, le refroidissement excessif du cœur se poursuit tant que la dépressurisation du circuit secondaire n'est pas interrompue, avec un retour potentiel à la criticité du cœur. La gravité de l'événement dépend de cet éventuel retour à la criticité.

Dans le cas de l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA (avec la vanne réglante correspondante supposée pleine ouverte), les quatre GV se dépressurisent jusqu'à l'isolement des lignes vapeur sur signal basse pression secondaire MIN1p ou sur signal baisse rapide de pression secondaire MAX1p. Ensuite, seul le GV affecté continue de se dépressuriser jusqu'à l'activation du signal d'isolement du VDA sur signal basse pression secondaire MIN3p. Cet isolement met fin au refroidissement du fluide primaire, et à l'insertion de réactivité dans le cœur. Si un retour à la criticité a été observé, le réchauffement des boucles primaires permet ensuite au cœur de redevenir sous-critique.

Dans le cas de l'ouverture intempestive d'une soupape secondaire, la chute de pression, identique dans les quatre GV avant l'isolement des lignes vapeur (sur signal de basse pression secondaire MIN1p ou sur signal baisse rapide de pression secondaire MAX1p), se poursuit ensuite dans le GV affecté. L'isolement de l'ARE se produit sur haut niveau GV MAX0p (si l'alimentation était excessive), ou sur basse pression secondaire MIN2p, ou sur baisse rapide de pression secondaire MAX2p ; après cet isolement, le niveau dans le GV affecté diminue et atteint le signal de bas niveau GV gamme large qui démarre l'Alimentation de Secours des Générateurs de vapeur (ASG). Côté primaire, en partant d'une marge d'anti-réactivité réduite par le blocage d'une grappe hors du cœur, le cœur peut redevenir critique et une excursion de puissance peut être observée. La dépressurisation primaire peut être ralentie par le débit de charge ; lorsque le signal basse pression pressuriseur MIN3p est sollicité, il provoque le démarrage des pompes d'injection de sécurité ; si la pression primaire décroît suffisamment, les pompes d'injection à moyenne pression pourront apporter du bore dans le circuit primaire, afin de réduire la réactivité et diminuer la puissance dans le cœur. Si la pression primaire ne décroît pas suffisamment, le cœur reste critique, la vaporisation du débit ASG du GV affecté entretient un échange avec ce GV, et la puissance dans le cœur se stabilise. Les premières actions demandées à l'opérateur consistent à isoler le GV affecté (en particulier en interrompant l'alimentation de secours vers ce GV) et à démarrer le RBS (si celui-ci n'a pas déjà démarré automatiquement) pour apporter du bore dans le cœur et permettre au cœur de redevenir sous-critique.

L'état contrôlé est alors atteint avec :

- le cœur sous-critique,
- la puissance du cœur évacuée par les GV sains, via l'ASG (ou ARE si disponible) et les VDA (ou le GCT si les VIV n'ont pas été fermées automatiquement, dans le cas des brèches plus petites par exemple, et s'il est disponible),

- un inventaire en eau du circuit primaire stable.

de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr :

Pour rejoindre l'état d'arrêt sûr, il est nécessaire que les générateurs de vapeur puissent amener le circuit primaire aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Lors de l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA ou de l'ouverture intempestive d'une soupape secondaire, à l'issue de la phase automatique, l'opérateur peut être orienté vers les conduites suivantes :

- Si la puissance nucléaire n'est pas nulle lors de l'entrée en conduite, l'opérateur est orienté vers la séquence de « Stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire » sur un critère de flux \square . Dans cette séquence, suite à une demande de borication du circuit primaire, l'opérateur démarre les pompes RBS. Le contrôle de la température primaire demande de stabiliser la température primaire en stabilisant la pression GV à la valeur atteinte par réglage de la vanne de contrôle du VDA. Cependant, la TRIC diminue toujours. Ensuite, lorsque la CB atteint la CB d'arrêt à froid, l'opérateur est réorienté en « Passage à l'arrêt à froid avec injection de sécurité » ou « Passage à l'arrêt à froid sans injection de sécurité » sur un critère de conduite accidentelle en cours. Un refroidissement à 50°C/h est réalisé jusqu'à la validation du permissif P14, l'opérateur peut alors connecter le RIS-RA en mode RA.
- Si au moins un GV est déclaré inutilisable ou si l'écart de pression entre GV non isolés est supérieur à \square , l'opérateur est orienté vers les stratégies de « Passage à l'arrêt à froid avec injection de sécurité » ou « Passage à l'arrêt à froid sans injection de sécurité ». Ces stratégies demandent une borication immédiate du fluide primaire pour atteindre la concentration en bore de l'arrêt à froid, et en parallèle elles demandent de refroidir le fluide primaire par le secondaire à 25 °C/h si 1 train RBS est en service ou 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la concentration en bore d'arrêt à froid est atteinte. Si un ou plusieurs trains RIS sont en service, l'abaissement de la pression de refoulement des trains ISMP par l'ouverture de la grande ligne à débit minimum permet d'entamer une dépressurisation afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr. Quand le permissif P14 est validé (température et pression dans les branches chaudes inférieures à 180°C et 32 bar abs respectivement) avec une marge à la saturation satisfaisante, l'opérateur peut connecter le RIS-RA en mode RA.
- A défaut, l'opérateur est orienté en « Conduite Incidentelle » suite à l'émission d'un signal d'AAR. Dans un premier temps, une « Stabilisation en conduite incidentelle » est demandée tant que le critère de niveau d'eau dans les bâches ASG est respecté. Au plus tard, quand le niveau d'eau dans les bâches ASG devient inférieur au seuil MIN, un « Passage en état de repli en conduite incidentelle » est demandé. L'opérateur procède à une borication du fluide primaire via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise, et effectue en parallèle un refroidissement du fluide primaire par une ouverture contrôlée des vannes VDA ; la vitesse de refroidissement est de 25°C/h ou de 50°C/h selon le nombre de trains RBS en service et le niveau d'eau dans le pressuriseur. Un refroidissement à 50°C/h est également possible si la concentration en bore requise est atteinte. Le circuit primaire est dépressurisé à l'aide de l'aspersion normale ou d'ouvertures contrôlées des soupapes pressuriseur. Le refroidissement est maintenu jusqu'à l'atteinte d'une température de 135°C et 32 bar abs en branche chaude avant de connecter le RIS-RA en mode RA.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation PCC-3 sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium (2810°C pour du combustible neuf, décroissant de 7,6°C tous les 10 000

MWJ/t). Des critères techniques d'acceptation peuvent être retenus pour certains incidents, par exemple : la valeur restrictive de 590 W/cm est prise dans certains cas, cette valeur permettant de garantir la non fusion au centre de la pastille.

- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.

En pratique, pour l'étude initiée à puissance nulle, les critères relatifs aux dommages sur les assemblages sont vérifiés par :

- l'absence de crise d'ébullition: La corrélation utilisée λ donne les valeurs limites λ de RFTC à respecter en fonction de la vitesse massique G, λ :
 λ
- l'absence de fusion à cœur du combustible: La puissance linéique maximale doit rester inférieure à 590 W/cm, ou en cas de dépassement de cette valeur, elle doit rester inférieure à la puissance linéique à fusion dimensionnée dans la section Rupture de Tuyauterie Vapeur 15.2.4b.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

Les fonctions de protection F1A pouvant intervenir lors de l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape secondaire sont les suivantes :

- signal d'Arrêt Automatique du Réacteur sur :
 - puissance thermique élevée,
 - bas RFTC,
 - puissance linéique élevée,
 - pression pressuriseur $< MIN2p$,
 - baisse rapide de pression secondaire $> MAX0p$,
 - pression secondaire $< MIN1p$,
 - niveau GV $< MIN1p$.
- isolement de toutes les lignes à grand débit de l'ARE sur :
 - compte-rendu d'AAR.

- isolement de la ligne à petit débit ARE dans tous les GV, sur :
 - baisse rapide de pression secondaire > MAX2p.
- isolement de la ligne à petit débit ARE, GV par GV, sur :
 - pression secondaire < MIN2p,
 - niveau GV > MAX0p, [] après émission du compte-rendu d'AAR pour l'activation de ce seuil.
- signal d'Injection de Sécurité sur :
 - pression pressuriseur < MIN3p.
- démarrage du refroidissement partiel sur :
 - signal IS,
 - niveau GV > MAX2p.
- fermeture de toutes les Vannes d'Isolement Vapeur (VIV) sur :
 - baisse rapide de pression secondaire > MAX1p,
 - pression secondaire < MIN1p.
- démarrage de l'ASG, GV par GV, sur :
 - niveau GV GL < MIN2p.
- démarrage de l'ASG, dans tous les GV, sur :
 - signal IS + MDTE.
- isolement de l'ASG, GV par GV, sur :
 - niveau GV > MAX1p,
 - [].
- isolement de la charge sur :
 - signal IS,
 - haut niveau pressuriseur > MAX1p,
 - baisse rapide de pression secondaire > MAX2p.
- isolement VDA, GV par GV, sur :
 - pression secondaire < MIN3p.
- démarrage du RBS sur :
 - pression secondaire < MIN5p,
 - [].

Les actions opérateur sont considérées 30 minutes après l'instant du premier signal significatif en salle de commande.

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Deux initiateurs sont étudiés :

- l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA en état A, et
- l'ouverture intempestive d'une soupape de sûreté secondaire en état A.

Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), en PCC-3, suivant le critère technique d'acceptation étudié, le cas le plus pénalisant ou les deux cas avec et sans cumul du MDTE sont présentés dans le rapport de sûreté.

Pour les scénarios étudiés alors que le réacteur est initialement en puissance, le MDTE est appliqué à l'instant le plus pénalisant entre l'instant initial, l'instant du signal d'AAR et l'instant du signal IS. Le MDTE provoque l'arrêt des pompes primaires, la perte du débit primaire pénalise le RFTC avant la chute des grappes.

Pour l'étude à puissance nulle, la réduction du débit primaire induite par le MDTE limite le refroidissement du fluide primaire et a donc un impact favorable sur l'évolution de la réactivité. En conséquence, le MDTE n'est pas pris en compte.

5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Ce paragraphe présente l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire.

5.1. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT DU VDA OU D'UNE SOUPE SECONDAIRE INITIÉE EN PUISSANCE

A court terme, l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape secondaire en état A est couverte par l'étude du spectre de brèches réalisée dans la section 15.2.4b (« rupture de tuyauterie vapeur - états A, B »).

En effet :

- Le spectre de brèches étudié dans la section 15.2.4b comprend les tailles de brèches allant \square à la rupture guillotine (2A). Les capacités maximales du train VDA et d'une soupape secondaire sont respectivement de \square , les tailles de brèches équivalentes sont comprises dans la gamme du spectre de tailles de brèche étudié dans la section 15.2.4b.
- Pour le cas sans MDTE, l'étude du spectre de brèches présenté dans le chapitre 15.2.4b démontre l'absence d'endommagement de la gaine du combustible. Les critères techniques d'acceptation PCC-3 sont donc respectés.
- Pour le cas avec MDTE, les critères techniques d'acceptation à vérifier pour les présents scénarios sont ceux vérifiés dans l'étude de la section 15.2.4b. Puisque les critères techniques d'acceptation PCC-4 sont vérifiés pour l'étude de RTV avec cumul du MDTE présentée dans le chapitre 15.2.4b, ils le sont également pour l'étude d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape de sûreté avec cumul du MDTE.

5.2. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT DU VDA OU D'UNE SOUPE SECONDAIRE INITIÉE À PUISSANCE NULLE

5.2.1. Méthodes et codes de calculs


\square

\square

5.2.2. Démarche d'étude


5.2.2.1. Abaque ($F\Delta Hi$, MA) et sélection des configurations (cycle, grappe bloquée) pour les calculs thermohydrauliques chaudière





Dans le cadre de la section 15.2.4b (Rupture de Tuyauterie Vapeur), les configurations (cycle de gestion, grappe bloquée) sont analysées pour les cycles de la première gestion du réacteur EPR FA3, afin d'identifier leurs caractéristiques en termes de marge d'arrêt (MA) et de facteur d'élévation d'enthalpie ($F\Delta Hi$). Ces caractéristiques sont ensuite positionnées, pour chacune des configurations étudiées, dans un abaque ($F\Delta Hi$, MA). Cet abaque est découpé en différentes plages de $F\Delta Hi$ (zones de l'abaque). Par la suite, ces plages de $F\Delta Hi$ sont étudiées de manière distincte.

Le calcul thermohydraulique d'ouverture intempestive d'une soupape secondaire est réalisé sur la même zone de l'abaque ($F\Delta Hi$, MA) et la même configuration (cycle ; grappe bloquée ; nappe de températures et CB) que celles pénalisantes pour la brèche d'interface  de la section 15.2.4b, à savoir la zone 2a. En effet, les comportements de ces deux scénarios sont similaires.

Le calcul thermohydraulique d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement VDA est présenté sur la zone la plus pénalisante de l'abaque ($F\Delta Hi$, MA) pour ce scénario.

5.2.2.2. Vérification du critère en RFTC

Le calcul du minimum de RFTC est effectué avec  L'approche découplée utilisée pour les initiateurs de la section 15.2.4b étudiés en TGI-1 est reconduite. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- La distribution de puissance est issue d'un calcul  réalisé en prenant en compte les hypothèses suivantes :
 - la configuration (cycle ; grappe bloquée ; nappe de températures et CB) pénalisante pour le calcul de RFTC pour chacun des initiateurs respectivement,
 - La distribution Xénon est obtenue lors du calcul de marge d'arrêt relatif aux configurations (cycle ; grappe bloquée) considérées.
 - Le modèle de cœur considéré est non pénalisé : les données neutroniques (coefficient de densité modérateur, coefficient Doppler, efficacité différentielle du bore) sont des valeurs BE.
 - Les conditions aux limites (température entrée cœur des différentes zones, débit, puissance thermique, concentration en bore, pression¹) sont issues des calculs thermohydrauliques d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape secondaire. Ces conditions sont obtenues à l'instant du minimum de RFTC.
- Les conditions thermohydrauliques prises en compte dans le calcul de RFTC  sont les suivantes :
 - la nappe de températures et CB entrée cœur considérée pour établir la distribution de puissance,
 - Les autres conditions aux limites (débit, puissance thermique, pression) sont issues des calculs thermohydrauliques d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape secondaire et sont prises à l'instant du minimum de RFTC.
 - Une sous-alimentation du débit  est prise en compte à l'entrée de l'assemblage chaud.
- Le $F\Delta H$  est majoré des incertitudes, des pénalités données et d'une provision (hors aléas de gestion) dans le tableau [TAB-15.2.3d.4](#).



1. La pression atteinte lors du calcul thermohydraulique est suffisamment importante pour qu'il n'y ait pas de taux de vide susceptible d'entraîner une redistribution de puissance et une diminution du FQ. Il n'est donc pas nécessaire d'imposer une pression de découplage.

5.2.2.3. Vérification du critère en Plin

Le calcul du maximum de puissance linéique \bar{P} .

\bar{P} permet d'accéder au facteur de point chaud (FQ) sur chaque assemblage du cœur. \bar{P} :

\bar{P}

La puissance linéique maximale obtenue est directement déduite de ces calculs.

L'approche découplée utilisée pour les initiateurs de la section 15.2.4b étudiés en TGI-1 est reconduite. Les hypothèses prises en compte dans le calcul \bar{P} sont les suivantes :

- la configuration (cycle ; grappe bloquée ; nappe de températures et CB) pénalisante pour le calcul de puissance linéique pour chacun des initiateurs respectivement,
- La distribution Xénon est obtenue lors du calcul de marge d'arrêt relatif aux configurations (cycle ; grappe bloquée) considérées.
- Le modèle de cœur considéré est non pénalisé : les données neutroniques (coefficient de densité modérateur, coefficient Doppler, efficacité différentielle du bore) sont des valeurs BE.
- Les conditions aux limites (température entrée cœur des différentes zones, débit, puissance thermique, concentration en bore, pression) sont issues des calculs thermohydrauliques d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape secondaire. Ces conditions sont obtenues à l'instant du maximum de puissance linéique.
- Le FQ issu du calcul \bar{P} est majoré des incertitudes, des pénalités et d'une provision (hors aléas de gestion) données dans le tableau [TAB-15.2.3d.4](#).

5.2.3. HYPOTHÈSES D'ETUDE

Les cas étudiés distinguent le fonctionnement en cycle naturel et le fonctionnement en prolongation de cycle ; cette distinction concerne les points de fonctionnement initiaux (voir [§ 5.2.3.1.](#)) et les seuils de protection (voir [§ 5.2.3.5.](#)) ; les données neutroniques enveloppes utilisées (voir [§ 5.2.3.3.](#)) sont les mêmes dans les calculs en cycle naturel et les calculs en prolongation de cycle.

5.2.3.1. État initial

Les conditions initiales des principaux paramètres sont listées dans le tableau [TAB-15.2.3d.1](#) en cycle naturel et dans le tableau [TAB-15.2.3d.2](#) en milieu de prolongation de cycle. Cet état est enveloppe des états consécutifs à l'arrêt automatique du réacteur et d'arrêt à chaud. Les hypothèses considérées visent à majorer le refroidissement du circuit primaire par les GV dans les conditions les plus défavorables vis-à-vis des critères de sûreté.

La température moyenne primaire initiale est celle de l'état A à puissance nulle, sans incertitude. L'incertitude sur la température est prise en compte dans le calcul de la marge d'arrêt.

Le niveau d'eau dans le pressuriseur est maximal afin de ralentir la dépressurisation primaire, et en conséquence retarder l'obtention du signal IS et l'injection de bore par les pompes IS.

La concentration en bore du primaire est initialement nulle.

Le débit primaire initial est pris minimal (débit thermohydraulique), hypothèse pénalisante pour le RFTC minimal et pour la puissance linéique maximale lors du retour en puissance. Les tubes des GV sont considérés propres et sans bouchage afin de majorer l'échange entre les circuits primaire et secondaire et donc le refroidissement du primaire.

Dans le cas de l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA, le niveau GV initial est minimal afin d'accélérer la dynamique de dépressurisation du GV, de retarder l'isolement de l'ARE sur haut niveau GV et de favoriser le démarrage de l'ASG sur bas niveau GV.

Pour le cas de l'ouverture intempestive d'une soupape GV, le niveau GV initial est maximal afin de retarder la vidange du GV affecté.

Pour chacun des initiateurs, un calcul en cycle naturel est réalisé. Pour l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA, l'état en prolongation de cycle est traité par calcul. Pour l'ouverture intempestive de la soupape GV, ce cas est traité par argumentaire. Afin de tenir compte de l'abaissement des seuils des signaux d'isolement des lignes vapeur, des petits débits ARE et du VDA en prolongation de cycle, un calcul en milieu de prolongation de cycle est réalisé avec les seuils abaissés pour l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA. Le point de fonctionnement retenu est celui qui présente l'écart maximal entre la pression secondaire initiale et les seuils de pression secondaire abaissés afin de favoriser le refroidissement du primaire. Un abaissement de la pression primaire initiale et de la température primaire initiale est considéré conformément au fonctionnement en prolongation de cycle.

5.2.3.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Les critères à respecter sont l'absence de crise d'ébullition et la non fusion du combustible. L'aggravant le plus pénalisant vis-à-vis de ces aspects est la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur.

Une maintenance préventive est prise sur la pompe d'ISMP de la boucle associée au GV affecté, afin de limiter l'apport de bore dans le cœur.

5.2.3.3. Hypothèses cœur

Les hypothèses concernant le cœur sont prises en compte de sorte à accentuer l'insertion de réactivité et favoriser le retour en puissance :

- Les paramètres cinétiques (fraction de neutrons retardés, temps de vie des neutrons prompts) et le coefficient Doppler sont pris BE.
- Le coefficient de densité modérateur est pénalisé \square (voir tableau [TAB-15.2.3d.4](#)).
- L'efficacité différentielle du bore est pénalisée \square (voir tableau [TAB-15.2.3d.4](#)).
- La sous-criticité initiale retenue pour chaque initiateur correspond à la valeur minimale enveloppe relative à la zone de l'abaque (FΔHi, MA) à laquelle appartient la configuration (cycle, grappe bloquée) considérée pour le calcul thermohydraulique.

Pour l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA, l'analyse de calcul thermohydraulique montre que la zone 3 (voir figure [FIG-15.2.3d.1](#)) est pénalisante vis-à-vis de la puissance linéique et du RFTC. En effet, l'augmentation de la puissance cœur est arrêtée rapidement après le retour en puissance, en raison du caractère isolable de la brèche (isolement VDA sur basse pression secondaire). Pour pénaliser le calcul, le retour en puissance doit être le plus rapide possible afin de maximiser le délai entre le retour en puissance et l'instant de puissance maximale caractérisé par l'isolement VDA. Les cas présentant des marges d'arrêt faibles sont donc analysés. Ces caractéristiques liées à la cinétique de l'incident sont cohérentes avec celles de l'initiateur RTV-2A présenté dans la section 15.2.4b. Le modèle de cœur retenu correspond donc à celui qui a été défini comme pénalisant pour cette étude \square . La nappe de températures en entrée cœur est la nappe de température issue des essais \square centrée sur la boucle 4 (voir figure [FIG-15.2.3d.3](#)).

Pour l'ouverture intempestive d'une soupape GV, le modèle de cœur retenu correspond \square . La nappe de température en entrée cœur est la nappe spéciale centrée sur l'assemblage \square (voir figure [FIG-15.2.3d.4](#)).

L'abaque indiquant les configurations (cycle, grappe bloquée) considérées lors du calcul thermohydraulique, ainsi que pour les calculs de puissance linéique maximale et de RFTC minimal, est donné sur la figure [FIG-15.2.3d.1](#).

La puissance initiale dans le cœur considérée est de 10^{-9} PN. La puissance résiduelle n'est pas considérée de manière à accentuer le refroidissement du fluide primaire.

5.2.3.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

RCV

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur est supposée fonctionner afin de limiter la dépressurisation primaire induite par le refroidissement du fluide primaire. Sa prise en compte retarde la baisse du niveau et tend à différer voire empêcher l'émission du signal IS et donc l'injection de bore. Si le niveau du pressuriseur devient inférieur à la valeur de la consigne diminuée [], la 2ème pompe de charge est automatiquement mise en service. La ligne de décharge est automatiquement isolée lorsque le niveau pressuriseur devient inférieur au seuil min2.

La charge injecte dès le début de l'incident à une température minimale [] afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire.

aspersion normale et chaufferettes

La régulation de la pression du pressuriseur est supposée fonctionner correctement afin de limiter la chute pression primaire et donc retarder l'émission du signal IS. Les chaufferettes sont arrêtées lorsque le niveau du pressuriseur devient inférieur au seuil min3. La prise en compte d'un seuil minimal a pour effet de retarder l'arrêt des chaufferettes afin de ralentir la chute de pression primaire.

VDA

La capacité maximale de chaque vanne de contrôle du VDA est de [].

Le pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA (fonction du niveau de puissance dans le cœur) est pris en compte.

Dans le cadre de l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA, la vanne de contrôle du VDA affecté est supposée pleine ouverte à l'instant initial et reste dans sa position initiale jusqu'à l'ordre de l'isolement.

soupape GV

Dans le cas de l'ouverture intempestive de la soupape secondaire, le débit de la soupape est pris maximum [] afin de favoriser le refroidissement du primaire.

ARE

L'incident est initié alors que [] les vannes d'isolement des lignes à grand débit de tous les GV sont fermées. Les GV alors sont alimentés par leurs lignes à petit débit.

Pour l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA, on suppose que le débit ARE est maintenu à sa valeur cohérente avec le point de fonctionnement initial ; cette hypothèse, qui minimise le débit ARE, conduit à retarder l'obtention des signaux d'isolement des lignes vapeur et d'isolement du VDA sur des seuils de basse pression secondaire.

Pour l'ouverture intempestive d'une soupape secondaire, on suppose, par conservatisme, que les 3 pompes d'eau alimentaire sont en service (en arrêt à chaud une seule pompe est en service) et que les vannes de contrôle des lignes à petit débit sont pleines ouvertes (régulation de niveau GV non opérationnelle). Cette hypothèse s'avère pénalisante car elle accentue sensiblement le refroidissement primaire au début de l'incident ; de plus, elle conduit à un isolement précoce des lignes vapeur, ce qui conduit à une dissymétrie des températures à l'entrée du cœur, seule la branche froide du GV affecté continuant de se refroidir après l'isolement des lignes vapeur.

Le tableau [TAB-15.2.3d.3](#) donne les évolutions de débit d'eau alimentaire en fonction de la pression GV, pour le scénario d'ouverture intempestive d'une soupape secondaire.

La température de l'eau alimentaire considérée est prise minimale [].

débit ASG

Un débit d'ASG maximal est considéré avec une température minimale [] .

autres hypothèses

Les coefficients de mélange dans la cuve sont issus des essais [] . On retient les hypothèses qui limitent le mélange des boucles dans la cuve, afin d'obtenir une zone la plus froide possible à l'entrée du cœur. Les hypothèses correspondantes sont celles décrites dans la section 15.2.4b.

5.2.3.5. Hypothèses protections**5.2.3.5.1. Pour les calculs en cycle naturel**

Le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur (qui permet la détermination de l'instant des premières actions réalisées par l'opérateur) a lieu sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A) [] :

[]

- le signal de « Bas niveau GV » (classé F1A) [] :

[]

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur :

- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A) [] :

[]

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A) [] :

[]

L'isolement de l'eau alimentaire normale (qui conduit dans ces scénarios à l'isolement des lignes à petit débit de l'ARE) est effectué par l'un des signaux suivants :

- ordre d'isolement des lignes ARE à grand débit dans tous les GV et à petit débit GV par GV par le signal « Haut niveau GV » (classé F1A) [] :

[]

- ordre d'isolement des lignes ARE à grand débit dans tous les GV et à petit débit GV par GV par le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A) [] :

[]

- ordre d'isolement complet de l'ARE dans tous les GV par le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A) [] :

[]

L'injection de sécurité est activée sur :

- Le signal IS par « Basse pression pressuriseur » (classé F1A) [] :

[]

Le démarrage de l'ASG est activé sur :

- le signal « Bas niveau GV» (classé F1A) GV par GV :

L'isolement de l'ASG est activé GV par GV sur :

- le signal « Haut niveau GV » (classé F1A) :

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur :

- le signal « IS » (classé F1A) :

- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A) :

- le signal « Haut niveau pressuriseur » :

Dans la situation d'ouverture intempestive du VDA, l'isolement du VDA est réalisé sur :

- le signal « Basse pression secondaire » :

Le démarrage du RBS est réalisé sur :

- le signal « Basse pression secondaire » :

30 minutes après la première alarme significative ayant orienté l'opérateur dans le diagnostic automatique :

- la mise en service du système de borication de sécurité (RBS),
- l'isolement du train ASG associé au GV affecté, réalisé par la fermeture des vannes d'isolement et de régulation.

5.2.3.5.2. Pour les calculs en prolongation de cycle

Le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur sur :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A) :

L'isolement de l'eau alimentaire sur :

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A) GV par GV, :

L'isolement vapeur sur :

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A) :

Dans la situation d'ouverture intempestive du VDA, l'isolement du VDA est réalisé sur :

- Le signal « Basse pression secondaire » :

Le démarrage du RBS est réalisé sur :

- le signal « Basse pression secondaire » :

5.2.4. Résultats

5.2.4.1. Étude en cycle naturel et début de prolongation de cycle

5.2.4.1.1. Ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA

Comme expliqué au [§ 5.2.3.3.](#), les résultats du calcul sont présentés pour la zone 3 de l'abaque (FΔHi ; MA), identifiée comme pénalisante. .

L'évolution des principaux paramètres du calcul est représentée dans les figures [FIG-15.2.3d.6](#) à [FIG-15.2.3d.13](#). Le tableau [TAB-15.2.3d.5](#) présente la séquence des événements.

L'ouverture intempestive de la vanne d'isolement du VDA, associée au GV 1, entraîne une augmentation du débit vapeur extrait de tous les GV. Ce débit diminue ensuite au fur et à mesure que la pression secondaire diminue. La production de cette vapeur conduit à une augmentation de l'énergie extraite du circuit primaire.

L'excès d'énergie extraite du circuit primaire entraîne une baisse de la température dans les branches froides, et la contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une diminution de la pression primaire. L'action des chaufferettes limite la dépressurisation primaire. La baisse du niveau dans le pressuriseur conduit à une réduction du débit de décharge et une augmentation du débit de charge, ce qui limite sa dépressurisation.

Le premier signal de protection sollicité est le signal d'arrêt automatique du réacteur sur « Bas niveau GV » MIN1p. Il est sans effet sur les grappes puisque celles-ci sont déjà insérées.

Le refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur entraîne une réduction de la sous-criticité initiale par effet modérateur.

Côté secondaire, la dépressurisation des GV conduit à la sollicitation du signal d'isolement des lignes vapeur sur « Basse pression secondaire » MIN1p. Après l'isolement effectif de ces lignes, la pression dans les GV sains cesse de diminuer, alors que la dépressurisation du GV affecté est accélérée, ainsi que le refroidissement de la branche froide correspondante. L'incident devient dissymétrique, et une zone plus froide apparaît à l'entrée du cœur.

Compte-tenu d'un mauvais mélange des boucles dans la cuve, une zone plus froide apparaît dans la nappe de températures à l'entrée du cœur. La grappe bloquée est localisée dans cette zone froide, ce qui favorise l'insertion de réactivité. Un retour en puissance est observé.

Compte-tenu du fonctionnement des régulations de pression et de niveau primaires, qui limitent la dépressurisation primaire, le signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur MIN3p » n'est pas sollicité.

Les signaux d'isolement de l'ARE et du VDA sur « Basse pression secondaire » MIN2p et MIN3p sont activés dans le GV affecté. La ligne à petit débit ARE est isolée plus tard et la vanne de contrôle du VDA du GV affecté se ferme . Cette fermeture met fin au refroidissement du fluide primaire.

Le RFTC minimum est atteint à 533 secondes pour la configuration retenue (voir [TAB-15.2.3d.8](#)). La puissance linéique maximale est atteinte à 533 secondes pour la même configuration (voir [TAB-15.2.3d.8](#))². Les critères d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont respectés.

Le réchauffement du fluide primaire conduit à une diminution de la réactivité et à une baisse de la puissance dans le cœur. Les paramètres thermohydrauliques du primaire se stabilisent, et les GV se rééquilibrent à la même pression. Par effet modérateur, la puissance du cœur décroît pour finalement s'annuler. Le cœur redevient sous-critique, l'état contrôlé est atteint. La charge étant toujours en fonctionnement, elle est isolée lors de l'émission du signal de protection sur haut niveau dans le pressuriseur seuil MAX1p. Ce cas est enveloppe de tous les cycles naturels et début de prolongation de cycle.

5.2.4.1.2. Ouverture intempestive d'une soupape GV

Les résultats du calcul sont présentés pour la zone de l'abaque ($F\Delta H_i$; MA) pénalisante du spectre de brèches à l'intérieur de l'enclume en termes de puissance linéique maximale et de RFTC minimal, à savoir la zone 2a. Le calcul est réalisé sur la configuration pénalisante pour la brèche .

L'évolution des principaux paramètres du calcul est représentée dans les figures [FIG-15.2.3d.22](#) à [FIG-15.2.3d.29](#). Le tableau [TAB-15.2.3d.7](#) présente la séquence des événements.

L'ouverture intempestive d'une soupape de sûreté secondaire associée au GV 1 entraîne une augmentation du débit vapeur extrait de tous les GV, ce débit diminue ensuite au fur et à mesure que la pression secondaire diminue. La production de cette vapeur conduit à une augmentation de l'énergie extraite du circuit primaire.

L'excès d'énergie extraite du circuit primaire entraîne une baisse de la température dans les branches froides, et la contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une diminution de la pression primaire. La mise en service des chaufferettes limite la dépressurisation primaire. La baisse du niveau dans le pressuriseur conduit à une réduction du débit de décharge et une augmentation du débit de charge.

Le premier signal de protection sollicité est le signal d'arrêt automatique du réacteur sur « basse pression dans le pressuriseur » MIN2p. Il est sans effet sur les grappes puisque celles-ci sont déjà insérées.

Le refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur entraîne une réduction de la sous-criticité initiale par effet modérateur.

Côté secondaire, compte tenu du sur débit ARE, la pression secondaire diminue rapidement et l'isolement des lignes vapeur a lieu sur signal de baisse rapide de pression secondaire. Compte-tenu de l'alimentation excessive des générateurs de vapeur, l'ordre de fermeture des vannes d'isolement des lignes à petit débit ARE est activé sur signal de haut niveau GV dans chaque GV.

2. Ces valeurs sont issues d'une approche découplée. Elles ont été calculées avec la configuration portant le FQ et / ou le $F\Delta H$ maximal dans les conditions finales du calcul de VRT de l'initiateur RTV-2A présenté dans la section 15.2.4b et non sur la configuration support au calcul thermohydraulique

Après l'isolement des lignes vapeur, la pression dans les GV sains se stabilise, alors que la dépressurisation du GV affecté, qui continue d'alimenter la brèche, se poursuit. Le refroidissement des boucles primaires devient en conséquence dissymétrique.

Compte-tenu d'un mauvais mélange des boucles dans la cuve, une zone plus froide apparaît dans la nappe de températures à l'entrée du cœur. Cette zone plus froide contient la grappe bloquée, ce qui favorise l'insertion de réactivité. Le cœur redevient critique ; un retour en puissance est observé.

Le fonctionnement des régulations de pression et de niveau primaires limitent la dépressurisation du circuit primaire de sorte que le signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur MIN3p » n'est pas atteint.

La puissance générée est alors évacuée par le GV affecté. L'effet Doppler compense l'insertion de réactivité par effet modérateur. Le GV affecté n'étant plus alimenté, son niveau diminue progressivement et le signal « Bas niveau GV MIN2p » est généré, il provoque le démarrage de l'ASG vers le GV affecté. L'ASG entraîne un refroidissement supplémentaire qui, par effet modérateur, conduit à une augmentation de la puissance du cœur. Le RFTC minimum est atteint à 2125 secondes [] pour la configuration [] retenue (voir tableau [TAB-15.2.3d.9](#)). [] La puissance linéique maximale est atteinte à 2175 secondes [] pour la même configuration (voir tableau [TAB-15.2.3d.9](#))³. Les critères d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont respectés. Les paramètres thermohydrauliques du circuit primaire se stabilisent. Le débit vapeur s'évacuant du GV affecté est équilibré avec le débit d'ASG, permettant ainsi l'évacuation de la puissance du cœur.

30 minutes après l'émission du premier signal d'arrêt automatique du réacteur émis sur basse pression pressuriseur dans ce calcul, [] intervient : il est orienté en conduite accidentelle vers la stratégie de « Stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire » qui demande un démarrage [] du RBS et un arrêt [] de l'ASG dans le GV affecté. Ces actions [] F1A ont pour conséquence d'apporter du bore dans le cœur et d'arrêter le refroidissement du fluide primaire. La puissance nucléaire s'annule et la température dans les boucles primaires remonte. Le cœur redevient sous-critique, l'état contrôlé est atteint. Ce calcul est enveloppe de tous les cycles naturels et début de prolongation de cycle.

5.2.4.2. Étude en prolongation de cycle

Du fait de l'abaissement des seuils de protection en prolongation de cycle, le calcul d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA est réalisé pour un état en milieu de prolongation de cycle qui présente l'écart maximal entre la pression secondaire initiale et les seuils de pression secondaire abaissés afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire. Les données neutroniques et marges d'arrêt enveloppes ([§ 5.2.3.3.](#)) sont inchangées. L'ouverture intempestive d'une soupape GV est traitée par argumentaire.

5.2.4.2.1. Ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA

L'évolution des principaux paramètres du calcul est représentée sur les figures [FIG-15.2.3d.14](#) à [FIG-15.2.3d.21](#). La séquence des événements est présentée dans le [TAB-15.2.3d.6](#).

Comparativement au cas initié en cycle naturel, les signaux d'isolement des lignes vapeur, d'isolement du VDA et d'isolement ARE sont atteints plus tard au cours du calcul en raison de l'abaissement des seuils et d'un débit déchargé au VDA plus faible (compte-tenu de la pression secondaire abaissée). La température minimale atteinte est plus basse que pour le cas en cycle naturel, cependant les effets de réactivité étant plus faibles pour des température et pression primaires plus basses (effet modérateur principalement), aucun retour en puissance ne se produit, ce qui permet d'écarter tout risque de dépassement des critères en RFTC et puissance linéique.

5.2.4.2.2. Ouverture intempestive d'une soupape GV

L'incident d'ouverture intempestive de soupape GV peut être considéré comme une taille spécifique du spectre de brèches secondaires à puissance nulle réalisé dans le cadre de la section 15.2.4b – Rupture de Tuyauterie Vapeur. Ce spectre est couvert par la Rupture de Tuyauterie Vapeur []. Par

3. Ces valeurs sont issues d'une approche découplée. Elles ont été calculées avec la configuration [] portant le FQ et / ou le FAH maximal dans les conditions finales du calcul de VRT de la brèche [] présenté dans la section 15.2.4b et non sur la configuration support au calcul thermohydraulique.

conséquent, l'incident d'ouverture intempestive de soupape GV en milieu de prolongation de cycle est couvert par la Rupture de Tuyauterie Vapeur [] traitée en milieu de prolongation de cycle dans la section 15.2.4b.

5.3. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Pour les incidents d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement VDA et d'une soupape secondaire, les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages limités sur les assemblages définis au § 2.2. sont respectés.

Par ailleurs, l'étude de RTV présentée dans la section 15.2.4b de « Rupture de Tuyauterie vapeur » initiée en état A3 montre que le cœur reste sous-critique dans des conditions enveloppes des incidents d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement VDA et d'une soupape secondaire initiées en arrêt à chaud. Ceci permet de garantir que le cœur reste sous-critique pour ces initiateurs.

Il est vérifié que l'état contrôlé peut être atteint :

- Le cœur est sous-critique.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme via les VDA par les GV non affectés par la défaillance du VDA.
- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables compte tenu des dommages limités sur les assemblages.

6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Lors de l'entrée en Conduite Incidentelle Accidentelle, l'état du réacteur est rappelé ci-dessous :

- Les pompes primaires sont en fonctionnement.
- Le réacteur est en arrêt à chaud, les grappes de contrôle et d'arrêt sont insérées dans le cœur et le déclenchement de la turbine a eu lieu.
- L'évacuation de la puissance du cœur est assurée par les GV.
- Si l'eau alimentaire normale a été isolée automatiquement, suite à la sollicitation des signaux de haut niveau GV, de baisse rapide de pression secondaire ou de basse pression secondaire, les GV ne sont plus alimentés ou sont alimentés par l'ASG. En effet, l'ASG peut avoir démarré automatiquement, GV par GV, si le niveau d'eau a atteint le seuil MIN2p après isolement de l'ARE.
- La vapeur produite par la puissance échangée est évacuée par les VDA (ou par le GCT s'il est disponible, dans le cas où aucun signal d'isolement des lignes vapeur n'a été préalablement émis) ou par la brèche. La pression secondaire suit à terme la pression de consigne des VDA.
- La température du fluide primaire est légèrement supérieure à la température de saturation du fluide secondaire.

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent la première information significative, soit l'AAR.

L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle est consécutive au signal d'AAR sur bas niveau GV, basse pression primaire ou secondaire ou sur baisse rapide de pression secondaire.

La Conduite Incidentelle/Accidentelle peut orienter l'opérateur vers des conduites différentes, selon l'état du réacteur.

6.1. CONDUITE ACCIDENTELLE

Si la tranche présente des fonctions d'état dégradées :

- GV déclaré inutilisable,
- écart de pression entre GV supérieur à \square ,
- puissance nucléaire non nulle,

alors l'opérateur est orienté vers une conduite accidentelle

stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire

Si la puissance du cœur est non nulle lors de l'entrée en Conduite Accidentelle/Incidentelle, l'opérateur est orienté dans le diagnostic automatique en conduite accidentelle vers la séquence de « Stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire » sur un critère de flux \square .

Une borication du circuit primaire est réalisée par le RBS.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains supérieur à 10 bar. L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture \square des vannes d'isolement et de régulation.

Le module « contrôle de la température primaire » demande une stabilisation de la pression GV à la pression atteinte par la vanne de contrôle du VDA sur les GV utilisables. Cette action s'avère inefficace et la TRIC continue de chuter malgré l'ordre de fermeture des VDA, la conduite demande alors un isolement des lignes vapeur.

La sortie de la stratégie Stabilisation Contrôle de la puissance nucléaire est faite lorsque la CB est supérieure à la CB d'arrêt à froid.

L'opérateur est alors réorienté vers les stratégies « Passage en Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » ou « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » sur un critère de conduite accidentelle en cours.

passage en arrêt à froid sans IS

Si aucun train IS n'est en service, la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » est demandée.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains supérieur à 10 bar. L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture \square des vannes d'isolement et de régulation.

L'objectif de la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » est de refroidir et dépressuriser la tranche afin de rejoindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

La borication du circuit primaire est réalisée par le RBS tant que le volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid n'a pas été complètement injecté.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si la concentration en bore est inférieure à la concentration en bore d'arrêt à froid et si les 2 trains RBS ne sont pas en service,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore d'arrêt à froid ou si 2 trains RBS sont en service.

Une dépressurisation du circuit primaire est initiée tant que la pression primaire est supérieure \square . Les accumulateurs sont isolés au cours de la dépressurisation, \square .

Le refroidissement contrôlé est effectué par l'opérateur tant que les critères d'activation du permissif P14 (pression en branches chaudes < 32 bar abs. et température en branches chaudes < 180°C) ne sont pas atteints. Dès lors que les conditions d'activation du permissif P14 sont remplies, l'opérateur connecte les trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

passage en arrêt à froid avec IS

Si au moins un train IS est en service, la procédure « Passage à l'Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » est demandée.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains supérieur à 10 bar. L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture des vannes d'isolement et de régulation.

L'objectif de la procédure « Passage en Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » est d'abaisser la pression de refoulement des trains ISMP en service par l'ouverture de la grande ligne à débit minimum pour pouvoir dépressuriser et ainsi rejoindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

La borication du circuit primaire est réalisée par le RBS tant que le volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid n'a pas été complètement injecté.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si la concentration en bore est inférieure à la concentration en bore d'arrêt à froid et si les 2 trains RBS ne sont pas en service,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore d'arrêt à froid ou si 2 trains RBS sont en service.

Pendant le refroidissement, pour permettre la dépressurisation du circuit primaire, les pompes ISMP sont basculées séquentiellement sur leurs grandes lignes à débit minimum tout en respectant un critère de marge à la saturation qui garantit la sous-saturation du fluide primaire après le basculement.

La pression primaire étant stable, les GMPP ne sont pas arrêtés avant le basculement de la dernière pompe ISMP sur sa grande ligne à débit nul. La dernière pompe ISMP est basculée sur un critère de température en sortie cœur garantissant une bonne marge à la saturation après le basculement.

La dépressurisation du circuit primaire est réalisée par l'aspersion normale au moyen de la commande TOR (classée F1B).

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous bar abs. Lorsque la température et la pression primaire atteignent 180°C et 32 bar abs, l'opérateur valide le permissif P14.

Ensuite, en fonction du nombre de trains RIS-RA en service en mode IS et de la marge à la saturation, l'opérateur peut demander le basculement d'un train RIS-RA non requis en mode IS en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

6.2. CONDUITE INCIDENTELLE

Si aucun des critères d'entrée en Conduite Accidentelle n'est atteint, l'opérateur est orienté en Conduite Incidentelle vers stratégie « Stabilisation en Conduite Incidentelle », dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Parallèlement, le module « Contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte par l'ARE ou l'ASG. Si l'augmentation de la réactivité est suffisante pour activer une alarme de haut flux (CNS), l'opérateur est orienté vers une stratégie de « Borication en conduite incidentelle » dont l'objectif est d'atteindre la CB requise. L'incident ne

dégradant pas la concentration en bore initiale du circuit du primaire, l'opérateur reste dans la stratégie « Stabilisation en Conduite Incidentelle ».

L'état d'arrêt à chaud ainsi obtenu est un état stabilisé. L'opérateur reste dans cette phase de stabilisation jusqu'à ce que le critère « somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN » soit atteint (on suppose que les bâches ASG ne peuvent pas être réalimentées), l'opérateur arrête alors trois GMPP sur quatre avant d'être orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle ».

Dès lors, l'opérateur effectue une borication du circuit primaire via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles, du niveau pressuriseur et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si un seul train RBS est en service ou si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

Le niveau d'eau dans les GV est maintenu à la valeur nominale grâce à l'ASG. En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG, et dans la mesure où le GV associé est toujours utilisable, la surveillance de l'efficacité de l'ASG, aura permis d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné. L'opérateur sera chargé de commander les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

Une fois que le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été injecté, la borication est arrêtée. Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants.

Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale, ou les soupapes du pressuriseur si les moyens d'aspersion ne sont pas disponibles.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square .

Lorsque la température et la pression dans les branches chaudes atteignent 135°C et 32 bar abs, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée. L'état d'arrêt sûr est atteint.

6.3. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant le plus pénalisant parmi l'instant initial, l'instant de l'AAR et l'instant du signal d'IS.

Vis-à-vis de la conduite, le cumul du MDTE rend indisponibles les pompes ARE, les pompes de charge, les pompes primaires et donc l'aspersion normale. Les soupapes du pressuriseur sont alors sollicitées pour dépressuriser le circuit primaire et atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

En conduite incidentelle, la conduite reste similaire au cas sans cumul du MDTE hormis les spécificités liées au MDTE. Par ailleurs, deux heures après la perte des alimentations électriques externes, et si le bas niveau bache ASG n'a pas été atteint avant, par application d'une fiche EFS, l'opérateur sortira de la phase de stabilisation, et le passage en état de repli en conduite incidentelle sera demandé.

En conduite accidentelle, la conduite reste similaire au cas sans cumul du MDTE, hormis la dépressurisation du circuit primaire qui est réalisée par l'ouverture des soupapes du pressuriseur (classées F1A), l'aspersion normale n'étant plus disponible (GMPP arrêtées).

6.4. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

dans la situation d'une conduite incidentelle :

La conduite incidentelle la plus pénalisante vis-à-vis de la consommation d'eau ASG est celle qui nécessite d'atteindre le seuil de bas niveau des bâches ASG avant d'engager le refroidissement. En conduite incidentelle, les moyens disponibles pour atteindre l'état d'arrêt sûr sont identiques à ceux de l'étude de la Perte de l'Eau Alimentaire Normale (voir section 15.2.2i) pour laquelle un calcul explicite permet de montrer que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

La consommation d'eau ASG calculée dans l'étude de Rupture de Tuyauterie Vapeur (section 15.2.4b) couvre les incidents d'ouverture intempestive de vanne d'isolement VDA et soupape GV du fait d'un retour en puissance plus élevé. Elle est elle-même couverte par letransitoire de Perte de l'Eau Alimentaire Normale (section 15.2.2i).

Par conséquent, malgré le retour en puissance et l'ASG consommé, il est toujours possible d'entrer en conduite incidentelle et de suivre une conduite similaire à la Perte de l'Eau Alimentaire Normale. Cette conduite permet d'atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, garantissant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

dans la situation d'une conduite accidentelle :

La conduite accidentelle la plus pénalisante vis à vis de la consommation d'eau ASG est la conduite de « Stabilisation – Contrôle de la puissance nucléaire » qui nécessite une phase de stabilisation avant d'entamer le refroidissement.

Comme pour l'accident de Rupture de Tuyauterie d'Eau Alimentaire 15.2.4c (RTE), il est nécessaire d'évaluer le temps requis pour l'injection du volume de bore par le RBS permettant d'atteindre la concentration en bore de l'arrêt à froid durant la phase de « Stabilisation de la puissance nucléaire ». Cette durée dépend du nombre de trains RBS disponibles et est évaluée [] avec un train RBS. Cette durée est supérieure à la phase de stabilisation [], cependant, en RTE le refroidissement est démarré à une température primaire d'environ []. Avec un gradient de -25°C/h , il faudra [] pour atteindre [], condition au-dessus de laquelle un retour en puissance avec une grappe bloquée ne peut pas avoir lieu (condition del'incident étudié dans ce paragraphe puisqu'il y a eu un retour en puissance). Par conséquent, la RTE met [] pour rejoindre les mêmes conditions que celles del'incident étudié dans ce paragraphe. La RTE enveloppe donc le temps [] nécessaire pour rejoindre la concentration en bore de l'arrêt à froid.

Vis-à-vis de la quantité d'eau ASG consommée, le retour en puissance ne peut pas avoir lieu si la température primaire est supérieure à la température critique avec une grappe bloquée calculée dans le cadre de la section 15.2.2d. Lorsque le retour en puissance intervient, la température est ainsi inférieure à cette température critique et la pression secondaire inférieure à la pression de saturation associée. La pression secondaire est alors inférieure au seuil d'isolement des vannes d'isolement vapeur []. A l'instant du retour en puissance, les GV sains sont donc isolés, ils ne peuvent pas participer à l'évacuation de la puissance. Seul le GV affecté évacue la puissance générée. On considère que le GV affecté est isolé []. L'évacuation de la puissance consomme alors au maximum []. Cette consommation est enveloppée par l'hypothèse de la RTE au cours de laquelle l'isolement du GV affecté est réalisé [].

Les moyens disponibles pour atteindre l'état d'arrêt sûr (VDA, ASG, RBS, aspersion normale, soupapes de sûreté du pressuriseur, pour ne citer que les moyens F1) sont identiques à ceux disponibles pour l'étude de la RTE en état A, pour laquelle un calcul explicite permet de montrer que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

dans la situation du cumul du MDTE :

Pour des situations avec cumul du MDTE, l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est couverte par l'incident de Perte des Alimentations Externes (PTAEE) d'une durée supérieure \square (voir section 15.2.3b) vis-à-vis de la consommation d'ASG.

La situation la plus pénalisante vis-à-vis de la consommation d'ASG est obtenue lorsque la conduite est réalisée dans le domaine incidentel. En effet, dans ce cas, l'opérateur est orienté dans une phase de stabilisation jusqu'à l'application d'une fiche EFS ou d'un bas niveau bâche ASG qui demande le passage en état de repli.

L'incident d'ouverture intempestive d'un VDA ou d'une soupape GV présente une légère pénalité par rapport à l'incident de PTAEE en raison du potentiel retour à la criticité. Cette pénalité est couverte par la démonstration d'atteinte de l'état d'arrêt sûr avec MDTE faite dans l'étude de Rupture de Tuyauterie Vapeur (section 15.2.4b) du fait d'un retour en puissance plus élevé.

Ainsi, la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

conclusion

Pour toutes les situations présentées dans le § 6., la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, ce qui permet l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, l'utilisation des moyens de borication (RBS et IS) disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$) et les rejets radiologiques restent tolérables. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 2.2. est donc respecté.

7. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

L'analyse menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire, montre que pour l'étude initiée à puissance nulle, l'absence de dommages sur les assemblages est respectée et que l'état contrôlé est atteint avec les moyens classés F1A uniquement.

Par ailleurs, l'analyse de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire, montre que l'état d'arrêt sûr est atteint avec les moyens classés F1.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § 2.2. est donc respecté.

8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

Les modifications introduites dans le jeu d'hypothèses entre son état intermédiaire (Annexe 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15.1) sont listées ci-dessous.

Les modifications suivantes sont identifiées comme ayant un impact favorable sur les incidents traités dans cette section :

- abaissement du seuil de haut niveau GV GE Max0p :
 \square
L'abaissement du seuil a un impact favorable, puisqu'il conduit à un isolement de l'ARE anticipé lors d'une montée de niveau dans le GV.
- ajout d'un signal F1A de démarrage du RBS sur basse pression pressuriseur seuil Min4p :
L'ajout du signal de démarrage automatique du RBS sur basse pression pressuriseur a un impact favorable puisqu'il entraîne un démarrage du RBS pour certains cas présentés dans cette section. Les calculs thermohydrauliques présentés sont donc enveloppes de l'état final de conception (sous-chapitre 15.1).
- modification des insertions limites :

Le relèvement des insertions limites des grappes permet une augmentation des marges d'anti-réactivité initiales.

Les calculs thermohydrauliques présentés dans cette section sont donc enveloppes de l'état final de conception. Cette modification a un impact favorable pour tous les cas présentés dans cette section.

- modifications des températures ARE :
Les scénarios présentés dans cette section considèrent une température ARE \square enveloppe de la valeur \square mise à jour avec l'état final de conception.

Les modifications suivantes sont identifiées comme ayant un impact négligeable sur les incidents traités dans cette section.

- modification du seuil d'isolement ASG sur haut niveau GV GL :
L'abaissement du seuil d'isolement de l'ASG \square a pour conséquence un isolement de l'ASG plus précoce lors d'une montée de niveau GV GL.
Le seuil \square est cité au [§ 5.2.3.5.1.](#), cependant l'ASG n'est pas sollicité pour les calculs d'ouverture intempesive d'un VDA ou d'une soupape GV car le niveau GV GL n'augmente pas après le démarrage de l'ASG dans le GV affecté.
L'abaissement du seuil d'isolement ASG est donc sans impact sur les études présentées dans cette section.
- ajout d'un signal F1A d'isolement de la décharge sur bas niveau pressuriseur seuil Min1p validé par un compte rendu d'AAR :
La valeur du seuil Min1p étant identique au seuil de la fonction d'aide à l'opérateur bas niveau pressuriseur min2, la modification est donc sans impact sur les calculs.

En conclusion, ces modifications ont un impact nul ou favorable sur les résultats présentés dans cette section.

9. CONCLUSION

L'étude montre que :

- Les critères relatifs aux dommages limités sur les assemblages présentés au [§ 2.2.](#) sont respectés ;
- L'état contrôlé est atteint :
 - le cœur sous-critique,
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée par les GV et l'ARE ou ASG.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables puisque les critères relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles sont respectés.
- L'état d'arrêt sûr est atteint :
 - La capacité des bâches ASG est suffisante pour rallier les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, permettant d'évacuer durablement la puissance résiduelle.
 - L'utilisation des moyens de borication (IS et RBS) disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2.](#) est donc respecté.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 28/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3D.1 OUVERTURE D'UN VDA OU D'UNE
SOUPAPE GV – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 29/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 30/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 31/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3D.2 OUVERTURE D'UN VDA – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A À PUISSANCE
NULLE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 32/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 33/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3D.3 SURDÉBITS ARE POUR LA PARTIE À
PUISSANCE NULLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 34/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3D.4 DONNÉES NEUTRONIQUES –
INCERTITUDES ET PÉNALITÉS POUR LA PARTIE
PUISSANCE NULLE**

□

TAB-15.2.3D.5 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

<i>Temps (s)</i>	<i>Évènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Ouverture de la vanne d'isolement du VDA sur le GV 1
361	Signal d'AAR sur bas niveau GV < MIN1p
432	Signal d'isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p
□	Fermeture des vannes d'isolement vapeur
488	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV affecté sur basse pression secondaire < MIN2p
488	Signal d'isolement du VDA sur basse pression secondaire < MIN3p
□	Fermeture des vannes petit débit ARE dans le GV 1
□	Fermeture de la vanne de contrôle du VDA sur le GV 1
533	Plin maximale RFTC minimal □ □ □
534	Pic de puissance nucléaire et thermique
1914	Signal d'isolement de la charge ur haut niveau dans le pressuriseur > MAX1p

**TAB-15.2.3D.6 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE
NULLE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS (MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

<i>Temps (s)</i>	<i>Évènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Ouverture de la vanne d'isolement du VDA sur le GV 1
339	Signal d'AAR sur bas niveau GV < MIN1p
468	Signal d'isolement vapeur sur basse pression secondaire < MIN1p
□	Fermeture des vannes d'isolement vapeur
567	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV affecté sur basse pression secondaire < MIN2p
567	Signal d'isolement du VDA sur basse pression secondaire < MIN3p
□	Fermeture des vannes petit débit ARE dans le GV 1
□	Fermeture de la vanne de contrôle du VDA sur le GV 1
1925	Signal d'isolement de la charge sur haut niveau dans le pressuriseur > MAX1p

**TAB-15.2.3D.7 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À
 PUISSANCE NULLE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
 L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS
 (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE
 CYCLE)**

<i>Temps (s)</i>	<i>Évènement</i>
0,0	Conditions initiales
0,1	Ouverture de la soupape sur le GV 1
113	Signal d'AAR sur basse pression dans le pressuriseur < MIN2p
163	Signal d'isolement du petit débit ARE dans les GV 1, 2, 3 et 4 sur haut niveau GV > MAX0p
□	Fermeture des vannes petit débit ARE dans les GV 1, 2, 3 et 4
457	Signal d'isolement vapeur sur basse de pression secondaire < MIN1p
□	Fermeture des vannes d'isolement vapeur
1644	Signal de démarrage de l'ASG dans le GV 1 sur bas niveau GV < MIN2p Mise en service de l'ASG dans le GV affecté
2125	RFTC minimal □ □ □
2175	Plin maximale
2176	Pic de puissance nucléaire et thermique



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 38/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3D.8 CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET
DISTRIBUTION DE PUISSANCE A L'INSTANT PENALISANT
DE L'INCIDENT D'OUVERTURE INTEMPESTIVE DU VDA
POUR LA PARTIE A PUISSANCE NULLE – CALCUL DE
PLIN MAX ET DE RFTC MIN**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 39/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3D.9 CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET
DISTRIBUTION DE PUISSANCE À L'INSTANT PÉNALISANT
DEL'INCIDENT D'OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE
SOUPAPE SECONDAIRE POUR LA PARTIE À PUISSANCE
NULLE – CALCUL DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN**

□

FIG-15.2.3D.1 ABAQUE (F Δ HI, MA) ET CONFIGURATIONS CONSIDÉRÉES POUR L'OUVERTURE D'UN VDA ET L'OUVERTURE D'UNE SOUPAPE SECONDAIRE À PUISSANCE NULLE

□

**FIG-15.2.3D.2 NAPPE DE TEMPÉRATURES CORRESPONDANT À
LA BOUCLE ROMPUE N°3**



**FIG-15.2.3D.3 NAPPE DE TEMPÉRATURES CORRESPONDANT À
LA BOUCLE ROMPUE N°4**



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 43/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3D.4 NAPPE DE TEMPÉRATURES SPÉCIALE CENTRÉE
SUR LA GRAPPE B08**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 44/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3D.5 NAPPE DE TEMPÉRATURES SPÉCIALE CENTRÉE
SUR LA GRAPPE F02**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 45/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3D.6 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
PUISSANCES COEUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/
SECONDAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE
CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.7 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES
(CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 47/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3D.8 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR (CYCLE
NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.9 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
DÉBITS IS ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE (CYCLE NATUREL /
DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.10 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.11 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV
(CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 51/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3D.12 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR (CYCLE NATUREL / DÉBUT
DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.13 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
RÉACTIVITE ET CONCENTRATION EN BORE (CYCLE NATUREL /
DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.14 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
PUISSANCES COEUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/
SECONDAIRE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 54/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3D.15 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES
(MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.16 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR (MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 56/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3D.17 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
DÉBITS IS ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE (MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.18 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG (MILIEU DE PROLONGATION DE
CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.19 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV
(MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.20 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR (MILIEU DE PROLONGATION
DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.3D.21 OUVERTURE D'UN VDA À PUISSANCE NULLE –
RÉACTIVITE ET CONCENTRATION EN BORE (MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 61/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3D.22 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À PUISSANCE NULLE – PUISSANCES COEUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

FIG-15.2.3D.23 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À PUISSANCE NULLE – TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 63/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3D.24 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À PUISSANCE
NULLE – PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR
(CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

FIG-15.2.3D.25 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À PUISSANCE NULLE – DÉBITS IS ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 65/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3D.26 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À PUISSANCE NULLE -NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 66/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3D.27 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À PUISSANCE NULLE – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 67/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3D.28 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À PUISSANCE NULLE – NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR (CYCLE NATUREL / DÉBUTX DE PROLONGATION DE CYCLE)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3D

PAGE 68/68

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3D.29 OUVERTURE D'UNE SOUPAPE GV À PUISSANCE NULLE – RÉACTIVITÉ ET CONCENTRATION EN BORE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

SOMMAIRE

.15.2.3E1 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A (PCC-3)	23
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT	23
2. CRITÈRES D'ÉTUDE	24
3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	24
3.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS	24
3.2. MOYENS DE PROTECTION	26
3.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	26
3.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS	27
3.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	27
3.5.1. ÉTAT INITIAL	27
3.5.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	27
3.5.3. HYPOTHÈSES CŒUR	27
3.5.4. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	27
3.5.5. HYPOTHÈSES PROTECTIONS	28
3.6. RÉSULTATS	28
3.7. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	29
3.8. CONCLUSION	29
4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	30
4.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS	30
4.2. MOYENS DE PROTECTION ET ACTIONS	30
4.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	31
4.3.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	31
4.3.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	31
4.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS	31
4.4.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	31
4.4.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	31
4.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	32
4.5.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	32
4.5.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	35

4.6. RÉSULTATS	37
4.6.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	37
4.6.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	38
4.7. CONCLUSION	40
5. ASPECT DILUTION HÉTÉROGENE INHÉRENTE	40
5.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	40
5.1.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT	40
5.1.2. DESCRIPTION DES PHASES CARACTÉRISTIQUES DE L'INCIDENT D'APRP VIS-À-VIS DU PHÉNOMÈNE DE DILUTION	42
5.2. MOYENS DE PROTECTION	43
5.3. DÉFINITIONS DES CAS ÉTUDIÉS	43
5.3.1. ANALYSE SYSTÈME	43
5.3.2. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE LOCALE ET ANALYSE NEUTRONIQUE	44
5.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS	44
5.5. ANALYSE SYSTÈME	44
5.5.1. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	44
5.5.2. RÉSULTATS DE L'ANALYSE SYSTÈME	50
5.6. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	54
5.6.1. DESCRIPTION DE L'IMPACT DE L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	54
5.6.2. ANALYSE SYSTÈME	55
5.6.3. RÉSULTATS DE L'ANALYSE SYSTÈME	56
5.7. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE LOCALE ET ANALYSE NEUTRONIQUE	59
5.7.1. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	59
5.7.2. RÉSULTATS DE L'ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE LOCALE	63
5.7.3. CONCLUSION	64
6. CONCLUSION	65
LISTE DES RÉFÉRENCES.	66

TABLEAUX :

TAB-15.2.3E1.1	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – CONDITIONS INITIALES	67
TAB-15.2.3E1.2	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS – ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	68
TAB-15.2.3E1.3	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR.....	69
TAB-15.2.3E1.4	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS INITIALES.....	71
TAB-15.2.3E1.5	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 1 – (BRÈCHE Ø1,2)	72
TAB-15.2.3E1.6	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS PENDANT LE RÉGIME CALODUC	74
TAB-15.2.3E1.7	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 2 – (BRÈCHE Ø1,2)	75
TAB-15.2.3E1.8	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS PENDANT LE RÉGIME CALODUC	77
TAB-15.2.3E1.9	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 3 – (BRÈCHE Ø1,2)	78
TAB-15.2.3E1.10	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS PENDANT LE RÉGIME CALODUC	80

TAB-15.2.3E1.11	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS INITIALES	81
TAB-15.2.3E1.12	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 1 – (BRÈCHE Ø1,2)	82
TAB-15.2.3E1.13	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS PENDANT LE RÉGIME CALODUC	84
TAB-15.2.3E1.14	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 2 – (BRÈCHE Ø1,2)	85
TAB-15.2.3E1.15	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS PENDANT LE RÉGIME CALODUC	87
TAB-15.2.3E1.16	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 3 – (BRÈCHE Ø1,2)	88
TAB-15.2.3E1.17	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS PENDANT LE RÉGIME CALODUC	90
TAB-15.2.3E1.18	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CARACTÉRISTIQUES DE L'ESPACE ANNULAIRE DE LA CUVE AVANT LA REPRISSE DES DÉBITS INTERMITTENTS	91
TAB-15.2.3E1.19	APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS AUX LIMITES – CAS 1	92

TAB-15.2.3E1.20 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS AUX LIMITES – CAS 2	93
TAB-15.2.3E1.21 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS AUX LIMITES – CAS 3	94

FIGURES :

FIG-15.2.3E1.1 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – DISTRIBUTION AXIALE DE PUISSANCE DU CRAYON MOYEN DU CŒUR	95
FIG-15.2.3E1.2 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	96
FIG-15.2.3E1.3 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	97
FIG-15.2.3E1.4 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON MOYEN DU CŒUR	98
FIG-15.2.3E1.5 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – NIVEAU GV GAMME ÉTROITE – NIVEAU GV GAMME LARGE	99
FIG-15.2.3E1.6 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – PUISSANCE CŒUR – ÉCHANGE PRIMAIRE/ SECONDAIRE	100
FIG-15.2.3E1.7 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – TEMPÉRATURES LIQUIDE PRIMAIRE	101

**FIG-15.2.3E1.8 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – NIVEAU LIQUIDE DANS LA CUVE – NIVEAU GONFLÉ DU
CŒUR..... 102**

**FIG-15.2.3E1.9 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – INVENTAIRE EN EAU DU PRIMAIRE ET DU SECONDAIRE –
DÉBIT MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS
+ACCUMULATEURS..... 103**

**FIG-15.2.3E1.10 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – DÉBIT ISMP/ISBP EN BRANCHE FROIDE – DÉBIT
ACCUMULATEUR EN BRANCHE FROIDE 104**

**FIG-15.2.3E1.11 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – NIVEAU GV GAMME LARGE – DÉBIT ASG 105**

**FIG-15.2.3E1.12 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – CONSOMMATION DES RÉSERVOIRS RBS – CONSOMMATION
DE LA BÂCHE ASG 106**

**FIG-15.2.3E1.13 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – MARGE À LA SATURATION DPSAT – MARGE À LA
SATURATION DTSAT 107**

**FIG-15.2.3E1.14 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – NIVEAU PRESSURISEUR – DÉBITS DANS LE CŒUR 108**

**FIG-15.2.3E1.15 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – TEMPÉRATURES
LIQUIDE PRIMAIRE (24H APRÈS L'AAR) 109**

**FIG-15.2.3E1.16 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – INVENTAIRE EN EAU DU PRIMAIRE ET DU SECONDAIRE –**

DÉBIT MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+ACCUMULATEURS (24H APRÈS L'AAR).....	110
FIG-15.2.3E1.17 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONSOMMATION DES RÉSERVOIRS RBS – CONSOMMATION DE LA BÂCHE ASG (24H APRÈS L'AAR)	111
FIG-15.2.3E1.18 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – MARGE À LA SATURATION DPSAT – MARGE À LA SATURATION DTSAT (24H APRÈS L'AAR)	112
FIG-15.2.3E1.19 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE DU CONTRÔLE DE LA REACTIVITE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – PRESSIONS PRIMAIRES ET SECONDAIRES – TEMPÉRATURES LIQUIDE PRIMAIRE	113
FIG-15.2.3E1.20 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE DU CONTRÔLE DE LA REACTIVITE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – INVENTRAIRE EN EAU DU PRIMAIRE ET DÉBIT MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+RBS +ACCUMULATEURS.....	114
FIG-15.2.3E1.21 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE DU CONTRÔLE DE LA REACTIVITE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – MASSE PERDUE À LA BRECHE ET MASSE IS+RBS +ACCUMULATEURS INJECTÉE	115
FIG-15.2.3E1.22 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE – DÉBITS LIQUIDE ET VAPEUR BRÈCHE – TAUX DE VIDE BRÈCHE.....	116
FIG-15.2.3E1.23 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE – MASSE TOTALE PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	117
FIG-15.2.3E1.24 PRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE	

INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS BRANCHES FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR	118
FIG–15.2.3E1.25 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS ISMP – DÉBITS ISBP	119
FIG–15.2.3E1.26 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS	120
FIG–15.2.3E1.27 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS IS+RBS +ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES	121
FIG–15.2.3E1.28 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TEMPÉRATURE SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE	122
FIG–15.2.3E1.29 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1	123
FIG–15.2.3E1.30 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2	124
FIG–15.2.3E1.31 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3	125
FIG–15.2.3E1.32 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE	

INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R	126
FIG–15.2.3E1.33 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET - SORTIE TUBES GV BOUCLE 1	127
FIG–15.2.3E1.34 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET - SORTIE TUBES GV BOUCLE 2	128
FIG–15.2.3E1.35 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET - SORTIE TUBES GV BOUCLE 3	129
FIG–15.2.3E1.36 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET - SORTIE TUBES GV BOUCLE R.....	130
FIG–15.2.3E1.37 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE L’ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN BORE MINIMALE DE L’ESPACE ANNULAIRE	131
FIG–15.2.3E1.38 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS LIQUIDE ET VAPEUR BRÈCHE - TAUX DE VIDE BRÈCHE.....	132
FIG–15.2.3E1.39 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE	

INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – MASSE TOTALE PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	133
FIG–15.2.3E1.40 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS BRANCHES FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR	134
FIG–15.2.3E1.41 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ISMP – DÉBITS ISBP	135
FIG–15.2.3E1.42 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS	136
FIG–15.2.3E1.43 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS IS+RBS +ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES	137
FIG–15.2.3E1.44 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE	138
FIG–15.2.3E1.45 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1	139
FIG–15.2.3E1.46 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2	140
FIG–15.2.3E1.47 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3	141

FIG-15.2.3E1.48 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R	142
FIG-15.2.3E1.49 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 1	143
FIG-15.2.3E1.50 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 2	144
FIG-15.2.3E1.51 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 3	145
FIG-15.2.3E1.52 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE R.....	146
FIG-15.2.3E1.53 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE	147
FIG-15.2.3E1.54 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS LIQUIDE ET VAPEUR BRÈCHE - TAUX DE VIDE BRÈCHE.....	148

**FIG–15.2.3E1.55 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – MASSE TOTALE
 PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE 149**

**FIG–15.2.3E1.56 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS BRANCHES
 FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR 150**

**FIG–15.2.3E1.57 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ISMP – DÉBITS
 ISBP 151**

**FIG–15.2.3E1.58 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS
 ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS 152**

**FIG–15.2.3E1.59 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS IS+RBS
 +ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU
 BOUCLES 153**

**FIG–15.2.3E1.60 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE SORTIE
 CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE 154**

**FIG–15.2.3E1.61 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES
 GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1 155**

**FIG–15.2.3E1.62 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES
 GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2 156**

**FIG–15.2.3E1.63 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES
 GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3 157**

**FIG–15.2.3E1.64 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES
 GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R 158**

**FIG–15.2.3E1.65 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES
 GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 – INTÉGRALE
 DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 1 159**

**FIG–15.2.3E1.66 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES
 GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 – INTÉGRALE
 DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 2 160**

**FIG–15.2.3E1.67 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES
 GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 – INTÉGRALE
 DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 3 161**

**FIG–15.2.3E1.68 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES
 GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R – INTÉGRALE
 DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE R 162**

**FIG–15.2.3E1.69 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE
 MAXIMALE DE L’ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN BORE
 MINIMALE DE L’ESPACE ANNULAIRE 163**

**FIG–15.2.3E1.70 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS LIQUIDE ET
 VAPEUR BRÈCHE – TAUX DE VIDE BRÈCHE..... 164**

**FIG–15.2.3E1.71 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – MASSE TOTALE
 PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE 165**

**FIG–15.2.3E1.72 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS BRANCHES
 FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR 166**

**FIG–15.2.3E1.73 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ISMP – DÉBITS
 ISBP 167**

**FIG–15.2.3E1.74 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS
 ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS 168**

**FIG–15.2.3E1.75 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS IS+RBS
 +ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU
 BOUCLES 169**

**FIG–15.2.3E1.76 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE SORTIE
 CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE 170**

**FIG–15.2.3E1.77 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
 CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
 INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES
 GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1 171**

**FIG–15.2.3E1.78 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES
GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2 172**

**FIG–15.2.3E1.79 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES
GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3 173**

**FIG–15.2.3E1.80 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES
GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R 174**

**FIG–15.2.3E1.81 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE TUBES
GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 – INTÉGRALE
DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 1 175**

**FIG–15.2.3E1.82 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE TUBES
GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 – INTÉGRALE
DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 2 176**

**FIG–15.2.3E1.83 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE TUBES
GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 – INTÉGRALE
DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 3 177**

**FIG–15.2.3E1.84 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE TUBES
GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R – INTÉGRALE
DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE R 178**

**FIG–15.2.3E1.85 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE**

INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE	179
FIG–15.2.3E1.86 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS LIQUIDE ET VAPEUR BRÈCHE - TAUX DE VIDE BRÈCHE.....	180
FIG–15.2.3E1.87 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – MASSE TOTALE PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	181
FIG–15.2.3E1.88 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS BRANCHES FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR.....	182
FIG–15.2.3E1.89 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ISMP – DÉBITS ISBP	183
FIG–15.2.3E1.90 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS.....	184
FIG–15.2.3E1.91 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS IS+RBS +ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES	185
FIG–15.2.3E1.92 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE	186
FIG–15.2.3E1.93 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE	

INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1	187
FIG–15.2.3E1.94 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2	188
FIG–15.2.3E1.95 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3	189
FIG–15.2.3E1.96 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R	190
FIG–15.2.3E1.97 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 1	191
FIG–15.2.3E1.98 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 2	192
FIG–15.2.3E1.99 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 3	193
FIG–15.2.3E1.100 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE R.....	194

FIG-15.2.3E1.101 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE 195

FIG-15.2.3E1.102 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS LIQUIDE ET VAPEUR BRÈCHE – TAUX DE VIDE BRÈCHE..... 196

FIG-15.2.3E1.103 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – MASSE TOTALE PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE 197

FIG-15.2.3E1.104 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS BRANCHES FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR 198

FIG-15.2.3E1.105 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ISMP – DÉBITS ISBP 199

FIG-15.2.3E1.106 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS..... 200

FIG-15.2.3E1.107 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS IS+RBS +ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES 201

FIG-15.2.3E1.108 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE 202

FIG-15.2.3E1.109 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1	203
FIG-15.2.3E1.110 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2	204
FIG-15.2.3E1.111 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3	205
FIG-15.2.3E1.112 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R	206
FIG-15.2.3E1.113 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 1	207
FIG-15.2.3E1.114 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 2	208
FIG-15.2.3E1.115 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE 3	209
FIG-15.2.3E1.116 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – DÉBIT LIQUIDE TUBES	

GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R – INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE R.....	210
FIG–15.2.3E1.117 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE L’ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN BORE MINIMALE DE L’ESPACE ANNULAIRE	211
FIG–15.2.3E1.118 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – DÉBIT DE RCN DANS UNE BOUCLE	212
FIG–15.2.3E1.119 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – DOMAINE CFD MAILLÉ	213
FIG–15.2.3E1.120 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – ÉVOLUTION DE LA DENSITÉ ET DE LA CAPACITÉ THERMIQUE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE	214
FIG–15.2.3E1.121 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ ET DE LA VISCOSITÉ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE	215
FIG–15.2.3E1.122 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – ÉVOLUTION DE LA DIFFUSIVITÉ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE	216
FIG–15.2.3E1.123 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 1 – CONCENTRATION EN BORE DANS L’ESPACE ANNULAIRE	217
FIG–15.2.3E1.124 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 1 – TEMPERATURE DANS L’ESPACE ANNULAIRE	218

FIG-15.2.3E1.125 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 1 – CONCENTRATION EN BORE ET TEMPÉRATURE EN ENTRÉE CŒUR À L'INSTANT D'ATTEINTE DU MINIMUM DE CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE	219
FIG-15.2.3E1.126 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 1 – CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE MINIMALE ET CONCENTRATION EN BORE MOYENNE EN ENTRÉE CŒUR	220
FIG-15.2.3E1.127 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 2 – CONCENTRATION EN BORE DANS L'ESPACE ANNULAIRE	221
FIG-15.2.3E1.128 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 2 – TEMPÉRATURE DANS L'ESPACE ANNULAIRE	222
FIG-15.2.3E1.129 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 2 – CONCENTRATION EN BORE ET TEMPERATURE EN ENTRÉE CŒUR À L'INSTANT D'ATTEINTE DU MINIMUM DE CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE	223
FIG-15.2.3E1.130 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 2 – CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE MINIMALE ET CONCENTRATION EN BORE MOYENNE EN ENTRÉE CŒUR	224
FIG-15.2.3E1.131 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 3 – CONCENTRATION EN BORE DANS L'ESPACE ANNULAIRE	225

FIG–15.2.3E1.132 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 3 – TEMPÉRATURE DANS L’ESPACE ANNULAIRE	226
FIG–15.2.3E1.133 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 3 – CONCENTRATION EN BORE ET TEMPERATURE EN ENTRÉE COEUR À L’INSTANT D’ATTEINTE DU MINIMUM DE CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE	227
FIG–15.2.3E1.134 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CAS 3 – CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE MINIMALE ET CONCENTRATION EN BORE MOYENNE EN ENTRÉE CŒUR	228

.15.2.3E1 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A (PCC-3)

Le présent chapitre traite des Accidents de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) pour des petites brèches en état A vis-à-vis des aspects suivants :

- atteinte de l'état contrôlé – voir [§ 3.](#),
- atteinte de l'état d'arrêt sûr – voir [§ 4.](#),
- dilution hétérogène inhérente – voir [§ 5.](#) Cette étude (aspect dilution inhérente hétérogène) a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée sur la base d'un jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B). Puis, l'analyse des modifications introduites ultérieurement a conduit à reprendre une partie de cette étude.

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT

Un Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) résulte d'une brèche sur les tuyauteries primaires ou sur les lignes connectées aux boucles primaires, en aval du premier organe d'isolement.

Un APRP est classé comme évènement PCC-3 ou PCC-4 en fonction de la taille de brèche et de l'état initial du réacteur. Cette section traite des APRP petites brèches en état A, qui sont classés comme des incidents PCC-3 (voir section 15.0.1).

Les petites brèches sont des brèches de diamètre équivalent inférieur ou égal à 50 mm (section équivalente inférieure ou égale à 20 cm²), et de taille supérieure à celle compensable par le Système de Régulation Chimique et Volumétrique (RCV).

Les tuyauteries primaires de l'EPR FA3 répondant aux exigences d'exclusion de rupture, les ruptures de ces tuyauteries ne sont pas envisagées dans les analyses de dimensionnement, donc dans le chapitre 15 du Rapport de Sûreté ; seules les brèches ou ruptures sur les lignes connectées aux boucles primaires sont à considérer.

Les petites brèches suivantes ne sont pas étudiées dans cette section :

- les ruptures de tubes de Générateur de Vapeur (GV), dont les phénomènes sont différents : ces initiateurs sont traités dans les sections traitant de la "Rupture de tubes du générateur de vapeur (1 tube, État A)" (voir section 15.2.3f) et des "Ruptures de tubes de générateur de vapeur (2 tubes dans un même GV, État A)" (voir section 15.2.4k) ;
- les fuites sur le circuit primaire compensées par le RCV.

Un APRP a les conséquences suivantes :

- à court terme, il conduit à des chargements mécaniques sur les internes de la cuve du réacteur, sur les composants du circuit primaire, et sur les supports associés (aspects traités dans le sous-chapitre 3.6),
- il induit une dépressurisation du circuit primaire et une perte d'inventaire en eau primaire, pouvant conduire à moyen terme à un dénoyage du cœur tant que l'apport d'eau par le système d'injection de sécurité est insuffisant et, en conséquence, à un endommagement des gaines des crayons combustible,
- pendant la phase de refroidissement par le secondaire en conduite post-accidentelle, l'incident peut conduire à la formation et à l'accumulation de bouchons d'eau claire (bouchons à faible concentration en bore) liées à la condensation de vapeur sur les tubes des Générateurs de Vapeur (GV), puis à leur mise en circulation vers la cuve du réacteur, ce qui constitue un risque de retour en criticité du cœur (phénomène du dilution hétérogène inhérente en APRP),
- la masse et l'énergie du fluide primaire déchargées dans l'enceinte conduit d'une part à une surpression et à un échauffement dans l'enceinte (aspects traités dans la section 6.2.1), et d'autre part à la dispersion de substances radioactives dans l'enceinte (conséquences radiologiques traitées dans le sous-chapitre 15.3).

2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis des études d'APRP sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La température maximale de gaine doit rester inférieure à 1200 °C.
 - L'oxydation maximale de la gaine doit rester inférieure à 17 % de l'épaisseur de gaine.
- La génération maximale d'hydrogène doit rester inférieure à 1 % de la quantité qui serait générée si la totalité du zirconium des gaines en regard de la hauteur active s'était oxydée.
En pratique et dans un objectif de simplification, le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux assemblages combustible et à la génération maximale d'hydrogène est démontré dans ce chapitre par la vérification du non découverture du cœur.
- Le refroidissement à long terme du cœur doit être assuré en garantissant l'absence de cristallisation du bore dans le cœur et en tenant compte du phénomène de dilution hétérogène inhérente.
L'absence de dilution hétérogène inhérente est vérifiée dans le § 5. Dans ce paragraphe, il est vérifié que l'envoi d'un bouchon d'eau claire ne remet pas en cause la sous-criticité du cœur.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

3.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS

La brèche provoque la perte d'une partie du réfrigérant primaire qui ne peut être compensée par le RCV. Cette perte de réfrigérant primaire conduit à une diminution de la pression du circuit primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur.

Dans le cœur, si le réacteur est en puissance, la baisse de pression primaire provoque une légère diminution de la densité du modérateur, donc de la réactivité ; la contre-réaction par effet Doppler et l'extraction des grappes de contrôle compensent l'effet du modérateur en insérant de la réactivité ; en conséquence, la puissance dans le cœur reste constante, alors que la pression primaire diminue ; la marge vis-à-vis de la crise d'ébullition diminue. La limitation « Bas Rapport de Flux Thermique Critique (RFTC) » peut donc être atteinte et provoquer un signal d'arrêt partiel du réacteur (Partial Trip) et une réduction de la charge à la turbine.

L'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est activé :

- par le signal « Bas RFTC » si la limitation « Bas RFTC » n'est pas activée plus tôt,
- ou par le signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p).

Côté secondaire, l'AAR provoque le déclenchement de la turbine, et concernant le système d'eau alimentaire normale des GV (ARE), la fermeture des vannes d'isolement de la ligne à grand débit. La montée en pression dans les générateurs de vapeur après le déclenchement de la turbine conduit à l'ouverture des vannes du Groupe de Contournement de la Turbine au Condenseur (GCT), ou à l'ouverture des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA) sur le signal « Haute Pression GV » (Max1p), si le GCT est indisponible. Si la régulation du niveau d'eau dans les GV par les vannes réglantes de petit débit ARE ne fonctionne pas normalement, le petit débit ARE après la chute des grappes peut être excessif et conduire à l'isolement de l'ARE, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p). Après cet isolement, ou bien si la régulation du petit débit ARE n'assure pas un débit suffisant après la chute des grappes, le signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) peut être généré et démarrer, GV par GV, les pompes d'Alimentation et de Secours des Générateurs de Vapeur (ASG). Si l'ASG est en excès dans un GV (régulation inopérante), il est arrêté automatiquement par le signal « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p) avant intervention de l'opérateur.

La pression primaire continue à décroître, et le signal d'Injection de Sécurité (IS) « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) est activé, ainsi que le signal de démarrage automatique du système de boratation de secours (RBS) sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p). Le signal IS provoque en particulier le démarrage des 4 trains du Système d'Injection de Sécurité (RIS), c'est-à-dire le démarrage des pompes IS de Moyenne Pression (ISMP) et des pompes IS de Basse Pression (ISBP), l'isolement du circuit primaire principal et l'isolement « niveau 1 » de l'enceinte. En cas de Manque De Tension Externe (MDTE), le signal IS provoque également le démarrage temporisé des pompes ASG.

On notera que l'Arrêt Automatique du Réacteur et l'isolement « niveau 1 » de l'enceinte peuvent aussi être générés par le signal « Haute Pression Enceinte » (Max1p).

Sur compte-rendu de signal IS, un refroidissement partiel du fluide primaire par le secondaire est amorcé : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA (et du GCT s'il est disponible) sont abaissés □ pour assurer un refroidissement à un gradient de □°C/h.

Si les pompes primaires sont toujours en fonctionnement (alimentation électrique externe disponible), elles peuvent être arrêtées sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p). Si le signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p) est atteint, il peut également provoquer l'isolement de la charge, de l'injection et du retour des joints des pompes primaires, et l'arrêt des pompes primaires.

La baisse de pression primaire pendant le refroidissement partiel permet d'atteindre les conditions d'injection des pompes ISMP dans les branches froides. Mais tant que le débit ISMP est insuffisant pour compenser le débit à la brèche, l'inventaire en eau du circuit primaire continue à diminuer.

Pour les petites brèches en branche froide, tant que le débit à la brèche est encore monophasique liquide, il ne permet pas d'évacuer un débit volumique dépassant celui correspondant à la production de vapeur par la puissance résiduelle du cœur ; la pression se stabilise, à la fin du refroidissement, au-dessus de la pression de saturation dans les générateurs de vapeur, qui participent à l'évacuation de la puissance résiduelle. À mesure que le taux de vide dans la branche rompue augmente, le débit à la brèche devient diphasique et diminue ; la pression primaire reste légèrement supérieure à la pression secondaire tant que la décharge à la brèche est insuffisante et qu'une condensation dans les tubes GV est encore nécessaire pour évacuer la production de vapeur dans le cœur, ou tant que le secondaire reste à saturation (état qu'il peut quitter notamment grâce au refroidissement continu de l'ASG) ; ensuite la pression primaire se découple de la pression secondaire.

L'inventaire en eau du circuit primaire cesse de diminuer quand les débits injectés par les pompes ISMP et éventuellement les accumulateurs permettent de compenser le débit à la brèche. Pour ces petites brèches, la dépressurisation primaire est suffisamment limitée pour ne pas conduire à l'injection d'eau par les pompes ISBP.

L'état contrôlé est atteint lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

- Le cœur est sous-critique (un retour en criticité de courte durée avant les actions de l'opérateur conduisant seulement à une puissance neutronique faible pourrait être accepté au cas par cas pour quelques événements).
- L'évacuation de la puissance résiduelle du cœur est assurée à court terme, par exemple par les générateurs de vapeur (et/ou la brèche). ;
- L'inventaire en eau du cœur est stable. ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

3.2. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au § 3.1., les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p), ou sur signal « Bas RFTC », ou sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max1p),
- fermeture des vannes d'isolement des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur compte-rendu d'AAR,
- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression GV » (Max1p), GV par GV,
- signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) qui provoque en particulier le démarrage des 4 trains RIS, isole la décharge et provoque un isolement « niveau 1 » de l'enceinte,
- signal de démarrage automatique du RBS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p) qui provoque le démarrage des deux pompes RBS,
- isolement enceinte « niveau 1 » sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max1p) et isolement enceinte « niveau 2 » sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p),
- refroidissement partiel du circuit primaire sur compte-rendu du signal IS, par ouverture des vannes d'isolement et régulation de l'ouverture des vannes de contrôle du VDA,
- alimentation de secours des GV :
 - démarrage sur « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) ou sur « Signal IS + MDTE » temporisé,
 - isolement sur « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p),
- déclenchement des Groupes MotoPompes Primaires (GMPP) sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p), ou sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p).

3.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

La plus grosse des petites brèches, de section équivalente égale à 20 cm², est étudiée.

De façon pénalisante et découplée, on suppose que la brèche est localisée en branche froide, verticale en fond de tuyauterie primaire. Pour limiter l'inventaire en eau dans la cuve, la brèche est située entre le point d'injection de sécurité (ISMP et accumulateur) dans la branche froide rompue et l'ajutage d'entrée de la cuve du réacteur. Le débit d'injection de sécurité dans la branche rompue est pris en compte dans les calculs.

On suppose que :

- l'ouverture de la brèche se produit de façon instantanée,
- la contre-pression dans l'enceinte est constante pendant l'incident, égale à 1 bar abs.

3.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS



La simulation est poursuivie jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé.

3.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

3.5.1. État initial

On suppose le réacteur initialement en puissance. Le tableau [TAB-15.2.3e1.1](#) présente les conditions initiales retenues. Les incertitudes sont choisies dans le but de minimiser l'inventaire en eau primaire au cours de l'incident. Pour atteindre cet objectif, on retient les conditions qui favorisent l'échauffement du fluide primaire et qui retardent l'atteinte des seuils déclenchant les signaux d'AAR et IS.

L'incident initié en prolongation de cycle est couvert par celui initié à pleine puissance en cycle naturel car il est :

- soit initié à un même niveau de puissance, mais à une température primaire inférieure pour une pression primaire identique,
- soit initié à plus faible puissance, pour une température primaire et une pression primaire inférieures (l'évolution des seuils de protection, sur mesures de pression dans le pressuriseur, qui accompagne la baisse de la pression primaire est telle qu'elle assure l'obtention des signaux d'AAR et IS dans des délais plus courts).

3.5.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Deux scénarios sont envisagés, l'un avec MDTE à l'AAR et l'autre sans MDTE.



Cas avec MDTE

Dans ce cas, les pompes primaires sont arrêtées à l'AAR et l'ASG démarre soit sur « Signal IS + MDTE » temporisé dans tous les GV, soit sur signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) dans le GV concerné. Le choix du MDTE à l'AAR est identique à l'hypothèse retenue dans les études de brèche intermédiaire (voir section 15.2.4f1).



Cas sans MDTE

Dans ce cas, les pompes primaires restent en fonctionnement jusqu'à leur arrêt sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p), et l'ASG démarre sur signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) dans le GV concerné.



3.5.3. Hypothèses cœur



3.5.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Le débit vapeur à la turbine est maintenu constant jusqu'à l'isolement de la turbine.

Le débit d'eau alimentaire des générateurs de vapeur est maintenu constant jusqu'à l'isolement des lignes à grand débit sur compte-rendu d'AAR. De façon conservatrice, il est annulé après cet

isolement. L'ensemble motopompe Alimentaire de Démarrage et d'Arrêt (AAD) n'est pas pris en compte.

Après démarrage de l'ASG (voir [§ 3.5.5.](#)), la régulation du niveau d'eau dans les GV par l'ASG n'est pas considérée. □.

Le GCT est supposé indisponible. Après le déclenchement de la turbine, la vapeur est alors évacuée par les VDA. À l'ouverture des vannes d'isolement, on suppose que les vannes de contrôle sont suffisamment fermées pour maintenir instantanément la pression de consigne, si le signal de refroidissement partiel n'est pas encore atteint. □.

Pour retarder les temps d'arrivée des signaux d'AAR et IS, les chaufferettes sont prises en compte. □.

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur n'est pas considérée : la décharge serait isolée rapidement sur fonction d'aide à l'opérateur « Bas Niveau Pressuriseur » (Min2) (non classé F1) ou sur signal « Bas Niveau Pressuriseur » (Min1p) plus compte rendu d'AAR (classé F1A) ou sur signal IS, la charge serait isolée également sur signal IS; globalement la non prise en compte de cette régulation limite l'inventaire en eau du circuit primaire. D'autre part, la continuité de fonctionnement du RCV n'étant pas assurée (non classé F1), l'injection aux joints doit être considérée comme inopérante et une fuite aux joints des GMPP doit être considérée □. Celle-ci est prise en compte de manière explicite dans les calculs thermohydrauliques, dès l'instant initial de l'incident.

Après démarrage de l'injection de sécurité sur signal IS (voir [§ 3.5.5.](#)), chaque ISMP disponible injecte effectivement en branche froide dès que la pression dans le circuit primaire le permet. □.

Le démarrage automatique des pompes RBS sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p) n'est pas pris en compte dans les calculs thermohydrauliques de manière conservative. L'absence de démarrage automatique du RBS permet en effet de limiter l'appoint en eau du circuit primaire durant l'incident.

Aucune action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur et aucune limitation n'est prise en compte.

3.5.5. Hypothèses protections

□

□

Autres hypothèses

La simulation jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé est réalisée avec les seuls moyens F1A, sans intervention de l'opérateur, même si l'état contrôlé est atteint au-delà des 30 minutes qui suivent l'AAR.

3.6. RÉSULTATS

Le cas présenté est celui qui aboutit au minimum d'inventaire en eau du circuit primaire au cours du transitoire. Il s'agit du cas sans MDTE et sans diminution du volume primaire par BTGV. □.

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.2.](#)

Après ouverture de la brèche, la pression primaire décroît rapidement et le signal d'AAR est émis à 132,4 s après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p). Par découplage, l'ARE est isolé □.

Le déclenchement de la turbine qui suit a pour effet d'augmenter brusquement la pression secondaire jusqu'au seuil d'ouverture des VDA □.

L'évolution des pressions primaire et secondaire est présentée en figure [FIG-15.2.3e1.2.](#)

Le signal IS est émis à 194 s après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p). Il provoque le refroidissement partiel avec un gradient de \square °C/h. Celui-ci se termine lorsque la pression secondaire atteint \square bar.

L'ASG est démarré entre 1016 s et 1144 s, successivement dans les 4 GV, après atteinte du seuil « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) (voir figure [FIG-15.2.3e1.5](#)).

Le débit à la brèche est en partie sous forme vapeur à partir de 2200 s (voir figure [FIG-15.2.3e1.3](#)) ; en conséquence, la pression du primaire décroît plus rapidement. Ensuite, la pression primaire se découple de la pression secondaire vers 2555 s, lorsque le secondaire devient sous-saturé sous l'effet de l'ASG.

Côté injection de sécurité, la baisse de pression primaire a pour conséquence une forte augmentation du débit injecté par les pompes ISMP. Le seuil d'injection des accumulateurs de \square bar par contre n'est pas atteint.

L'ASG est arrêté entre 2704 s et 2998 s successivement dans les 4 GV après l'atteinte du seuil « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p).

L'inventaire en eau du primaire se stabilise \square vers 2500 s (voir figure [FIG-15.2.3e1.2](#)), lorsque le débit IS compense le débit relâché à la brèche (voir figure [FIG-15.2.3e1.3](#)).

La puissance résiduelle est alors évacuée par la brèche et par les 4 GV.

À aucun moment de l'incident, le cœur n'est découvert (voir figure [FIG-15.2.3e1.4](#)).

3.7. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLEMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION

Prise en compte de l'échauffement des colonnes de référence

L'échauffement des colonnes de référence consécutif à des conditions d'ambiance accidentelle implique l'apparition d'un biais sur la mesure, non pris en compte dans le remontage d'incertitudes des mesures de niveau. L'ajout de ce poste supplémentaire peut conduire à un dépassement du requis en ambiance dégradée pris en compte dans cette étude.

Une analyse d'impact a été menée \square et a démontré l'absence d'impact sûreté de cette modification. La prise en compte de l'échauffement des colonnes de référence ne remet donc pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#)

3.8. CONCLUSION

Les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles (température et oxydation maximale des gaines de combustible - voir [§ 2.](#)) ainsi que celui sur la quantité maximale d'hydrogène générée sont respectés puisqu'aucun dénoyage du cœur n'est observé au cours du scénario. L'ISMP assure le maintien d'un inventaire en eau stable. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Par ailleurs, la chute des grappes et l'apport de bore par l'ISMP permettent d'assurer la sous-criticité du cœur.

Enfin la puissance résiduelle est évacuée par les GV via l'ASG et les VDA.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présenté au [§ 2.](#) est donc respecté et l'état contrôlé est atteint.

4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

4.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS

À l'atteinte de l'état contrôlé, le refroidissement du cœur est assuré par l'alimentation en eau du RCP via le système RIS, et l'évacuation de la puissance du RCP est assurée par la brèche et si nécessaire par les GV. L'état d'arrêt sûr est atteint (voir § 2.) lorsque :

- Le cœur est sous-critique ($k_{eff} < 0,99$).
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée durablement par la mise en service du RIS-RA en mode RA avant épuisement de la réserve d'eau ASG.
- Les rejets radioactifs restent tolérables.

Pour atteindre l'état d'arrêt sûr, la procédure de conduite post-accidentelle demande la borication du circuit primaire en parallèle du refroidissement et de la dépressurisation du RCP.

Le RCP doit recevoir suffisamment de bore pour garantir la sous-criticité. Pour les petites tailles de brèches pour lesquelles la borication par l'ISMP est insuffisante en raison d'une pression d'équilibre trop élevée, la borication du RCP est assurée par le système de borication de sécurité (RBS) en complément de l'injection de bore par l'ISMP. Le RBS est conçu de façon à compenser l'introduction de réactivité liée au refroidissement du circuit primaire. Le refroidissement du RCP par le secondaire est initié □ en abaissant le point de consigne des vannes du GCT si disponibles, ou celui des VDA. La vitesse de refroidissement du RCP est de -25 °C/h si un train RBS est en fonctionnement et que la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est supérieure à ϵ et que la concentration en bore d'arrêt à froid n'est pas atteinte, de -50 °C/h sinon.

La dépressurisation du RCP est possible par l'ouverture des lignes à grand débit minimum des pompes ISMP à une température primaire en sortie cœur inférieure à 180 °C , si les pompes ISBP sont déjà en marche et que l'inventaire en eau du RCP est suffisant.

Le basculement des trains RIS-RA du mode IS au mode RA est alors possible, si les trois conditions suivantes sont réunies au RCP :

- pression dans au moins deux branches chaudes du RCP inférieure à 32 bar,
- température dans au moins deux branches chaudes du RCP inférieure à 180 °C ,
- ΔT_{sat} et niveau boucle compatibles avec l'aspiration en branche chaude du RIS-RA en mode RA.

4.2. MOYENS DE PROTECTION ET ACTIONS □

Les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les mêmes que ceux décrits au § 3.2. relatif à l'atteinte de l'état contrôlé.

Aux moyens de protection automatiques F1A, s'ajoutent les actions □ F1B suivantes, réalisées 30 minutes après l'arrêt automatique du réacteur :

- contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés par l'ASG,
- mise en service □ du RBS,
- mise en œuvre d'un refroidissement contrôlé du circuit primaire par ouverture □ des VDA des GV utilisables, avec un gradient de 25 °C/h ou 50 °C/h , en fonction de la configuration RBS, de la marge à la saturation en température ΔT_{sat} et de la concentration en bore du circuit primaire,
- isolement □ des accumulateurs,
- ouverture progressive des lignes à grand débit minimum des trains ISMP par l'opérateur, en fonction de l'inventaire en eau et de la marge à la saturation du circuit primaire.

4.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

L'analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr se compose de deux parties :

- une analyse thermohydraulique,
- une analyse du contrôle de la réactivité.

4.3.1. Analyse thermohydraulique

Comme pour l'atteinte de l'état contrôlé, la plus grosse des petites brèches, de section équivalente égale à 20 cm² (voir § 3.3.), est étudiée.

La simulation \square est poursuivie jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Ce calcul vise à démontrer que les critères techniques d'acceptation liés à l'état d'arrêt sûr (voir § 2.) sont satisfaits, grâce aux fonctions F1A et F1B. Les actions opérateurs sont modélisées.

4.3.2. Contrôle de la réactivité

Une évaluation de la sous-criticité du cœur est effectuée jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Elle s'appuie notamment sur l'étude de la plus petite brèche non compensée par le RCV \square .

4.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS

4.4.1. Analyse thermohydraulique

\square

L'objectif de ce calcul consiste à montrer que le refroidissement du cœur à long terme est assuré, à savoir que la température du cœur est maintenue à une valeur basse acceptable, et que la puissance résiduelle est évacuée.

4.4.2. Contrôle de la réactivité

La seconde partie de l'étude a pour objectif de démontrer le maintien de la sous-criticité du cœur jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

Pour les plus petites brèches n'occasionnant qu'un débit d'injection de sécurité trop faible pour assurer la borication voulue, l'apport de bore par l'ISMP et par le RBS (classé F1A) est nécessaire. Ce cas particulier, qui est le plus pénalisant, est traité sans utilisation d'un code de calcul, et s'appuie sur une estimation enveloppe de l'évolution de la concentration moyenne de bore dans le RCP au cours du temps.

L'évolution dans le temps de la concentration moyenne en bore dans le RCP est donnée par l'équation suivante :

\square

Sa résolution s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- le débit sortant est supposé nul, ce qui ralentit l'augmentation de la concentration en bore du circuit primaire puisque sa masse augmente au cours de la borication. Cette hypothèse est plus pénalisante que celle consistant à considérer un débit sortant non nul, dans la mesure où la concentration en bore du débit sortant, égale à celle du primaire, serait inférieure à celle du débit entrant,
- le débit entrant et la concentration en bore du débit entrant sont supposés constants.

L'évolution de la concentration en bore dans le circuit primaire est donc donnée par l'équation suivante, pour le cas d'un débit constant :

□

Plus généralement (pour plusieurs sources de bore) :

□

Ces équations servent à calculer les paramètres suivants :

Sous-criticité assurée par l'ISMP seule

Cette partie de l'étude sert à déterminer la taille de la plus petite brèche pour laquelle le seul débit d'ISMP est suffisant pour atteindre la concentration critique en bore à l'état d'arrêt sûr.

Le système d'équations ci-dessus est donc résolu pour déterminer le débit d'équilibre de l'ISMP $Q_{ISMP} = Q_{e,RCP}$, permettant d'atteindre la concentration en bore requise à l'état d'arrêt sûr.

De ce débit est ensuite déduite la taille de brèche en dessous de laquelle l'ISMP seule ne peut plus assurer la borication, et pour laquelle le RBS est donc requis.

L'objectif est de démontrer qu'en raison de sa très petite taille relativement à la section de la ligne IS, cette brèche ne perturbe pas l'équilibre des contre-pressions vues par le train RBS qui injecte dans la ligne IS intacte et la ligne IS affectée.

Sous-criticité assurée par le RBS et l'ISMP

1) **Concentration minimale de bore à l'état d'arrêt sûr**

Cette partie de l'étude sert à déterminer le volume minimal d'eau borée à injecter dans le RCP suite à un très petit APRP (taille de brèche inférieure à celle déterminée précédemment) permettant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr (CB primaire atteinte supérieure à la CB requise). L'aggravant et la maintenance préventive les plus pénalisants sont pris en compte. L'objectif est de vérifier que les systèmes RIS et RBS sont suffisants pour apporter ce volume minimal requis.

2) **Evolution de la concentration de bore en fonction de la température**

Cette partie de l'étude vise à vérifier que l'injection du RBS permet un appoint en bore suffisant pour rester sous-critique tout au long de la phase de refroidissement □, c'est-à-dire à différents niveaux de température entre la fin du refroidissement partiel et l'état d'arrêt sûr.

4.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

4.5.1. Analyse thermohydraulique

4.5.1.1. État initial

Cette étude est réalisée avec les mêmes hypothèses conservatives que celles pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.), dans le but de minimiser l'inventaire en eau primaire au cours de l'incident, en favorisant l'échauffement du fluide primaire.

Comme pour l'atteinte de l'état contrôlé, le fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par l'état initial à pleine puissance en cycle naturel.

4.5.1.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Le scénario avec cumul du MDTE est plus pénalisant que le scénario sans cumul du MDTE. En effet, la configuration de maintenance préventive et d'aggravant retenue pour ce cas limite le nombre de systèmes permettant d'évacuer la puissance résiduelle.



Ce scénario vise ainsi à pénaliser à la fois l'inventaire en eau dans le circuit primaire et le refroidissement à long terme du cœur.


4.5.1.3. Hypothèses cœur

Les hypothèses relatives au cœur sont les mêmes que celles considérées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.3.).

4.5.1.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Les hypothèses relatives aux systèmes fluides et régulations sont les mêmes que celles considérées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.4.), excepté les modifications suivantes :

Hypothèses concernant le secondaire

 Le débit par pompe disponible est le même que dans l'étude jusqu'à l'arrêt contrôlé. Dès que l'opérateur entre dans la procédure de conduite, le niveau GV est contrôlé afin d'éviter une alimentation excessive des GV.

Hypothèses concernant le système RIS



Les caractéristiques des pompes ISMP et ISBP sont minimisées avec la ligne ISMP à grand débit minimum fermée, et considérées pour les études long terme (durée supérieure à 7 h) : débit ISMP injectant seul en branche froide jusqu'à la pression de refoulement de l'ISBP, puis débit ISMP et ISBP injectant ensemble (voir sous-chapitre 15.1).



4.5.1.5. Hypothèses protections

Les hypothèses relatives aux protections sont les mêmes que celles considérées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.5.), exceptée la modification suivante :



4.5.1.6. Conduite opérateur

L'opérateur est supposé réaliser la première action 30 minutes après l'AAR.

Diagnostic primaire fermé

L'opérateur doit rejoindre l'état d'arrêt sûr en suivant les règles de Conduite Incidentelle/Accidentelle (CIA) afférentes au Moyen de Conduite Principal (MCP) ou de Secours (MCS) et définies par l'Approche Par États (APE).

Pour une petite brèche avec MDTE, lorsque le diagnostic automatique est effectué, les GMPP sont hors service, au moins une file ISMP est en service, la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est comprise entre $-\varepsilon$ et \square °C, le niveau cuve est au-dessus du bas des branches chaudes, les 4 GV sont

utilisables et la pression primaire est inférieure ou égale à \square bar. De ce fait, l'opérateur est conduit vers la procédure de « Passage en Arrêt à Froid avec IS ».

Contrôle de l'inventaire en eau des GV

Afin d'éviter une alimentation excessive des GV, l'opérateur réalise le contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés par l'ASG autour du niveau GV nominal, mesuré en Gamme Large (GL) \square :

\square

Activation du permissif P12

Le refroidissement partiel étant terminé, l'opérateur active le permissif P12.

Le permissif P12 caractérise le passage de l'arrêt à chaud vers l'arrêt à froid. Il autorise l'inhibition des protections déclenchées sur des seuils de basse pression primaire ou basse pression secondaire. Ces inhibitions sont nécessaires pour assurer le refroidissement du primaire par les VDA jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, sans démarrage systématique de l'IS.

Par conséquent, le permissif P12 permet de programmer le signal IS sur bas ΔP_{sat} après inhibition du signal IS sur basse pression pressuriseur.

Démarrage manuel de la borication de sécurité

L'opérateur entreprend la borication par le RBS, qui est classée F1B. Une seule des deux files RBS est mise en service (à cause du choix de l'aggravant et de la maintenance préventive).

Refroidissement manuel

À la fin du refroidissement partiel automatique, la pression dans les GV est égale à \square , ce qui permet à l'ISMP d'injecter dans le circuit primaire.

Le gradient de refroidissement requis dépend de la marge à la saturation en température, de la concentration en bore du circuit primaire et des moyens de borication en service, l'injection de bore devant compenser l'apport de réactivité introduite par le refroidissement :

- Un gradient de refroidissement de -50 °C/h est demandé si les deux files RBS sont en service.
- Un gradient de refroidissement de -50 °C/h est demandé si la marge à la saturation en température est inférieure à ϵ (un refroidissement accéléré est nécessaire afin de récupérer la marge à la saturation pour pouvoir arrêter les pompes ISMP et connecter le RIS-RA en mode RA), ou si la concentration en bore du RCP est supérieure à la concentration en bore requise à l'arrêt à froid.
- Un gradient de refroidissement limité à -25 °C/h est demandé si la marge à la saturation est supérieure à ϵ , si la concentration en bore du circuit primaire est inférieure à la concentration en bore requise à l'arrêt à froid et si seulement une file RBS est en service.

Activation du permissif P15

Les GMPP étant hors service, l'opérateur active le permissif P15 avant d'ouvrir progressivement les grandes lignes à débit minimum des pompes ISMP.

L'activation de P15, avant l'ouverture des grandes lignes à débit minimum, permet de basculer la protection IS RPR de bas ΔP_{SAT} à bas niveau boucle.

Une fois toutes les pompes ISMP basculées sur leur grande ligne à débit minimum, l'ensemble des pompes ISMP est mis à l'arrêt si les conditions d'apparition du permissif P14 ne sont pas atteintes et la pression primaire ne diminue pas.

Isolement des accumulateurs

Le permissif P12 ayant été validé par l'opérateur, et au moins une pompe ISBP étant en service, les accumulateurs RIS sont isolés sous [] lorsque la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est supérieure à ε (le critère de sous-saturation garantissant la non dégradation de l'état thermohydraulique du circuit primaire) ; ou lorsque la pression primaire est inférieure à [], afin d'éviter tout risque de décharge en azote dans le circuit primaire.

Arrêt du RBS

Le seul train RBS disponible est actionné [] par l'opérateur, au début de son intervention, en même temps que le refroidissement par les VDA.

[]

Arrêt de l'ISMP

L'ouverture des lignes à grand débit minimum des pompes ISMP permet d'entamer une dépressurisation afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr. Cette action est progressive et fonction de l'inventaire en eau et de la marge à la saturation du circuit primaire. [] :

[]

Activation du permissif P14

Dès que la pression primaire est inférieure à [] et que la température dans au moins deux branches chaudes a atteint [], le permissif P14 est alors validé.

Basculement du RIS-RA en mode RA

Le basculement des trains RIS-RA du mode IS au mode RA nécessite un niveau dans les boucles supérieur ou égal à 100 % et est progressif et fonction de la marge à la saturation du circuit primaire []

[]

L'arrêt du dernier train RIS-RA en mode IS n'est pas envisagé immédiatement afin de garder un appoint d'eau au primaire.

Activation du permissif P16

La présence du permissif P16 est nécessaire pour basculer l'ISBP en branche chaude, en cas de perte significative de l'inventaire en eau primaire, et de décharge importante de vapeur dans l'enceinte. [] :

[]

4.5.2. Contrôle de la réactivité

En cas de petite brèche en APRP, deux systèmes de borication classés F1A sont disponibles pour assurer la sous-criticité du cœur après le déclenchement du réacteur, l'ISMP et le RBS :

- Pour les brèches de dimension suffisante, l'ISMP est capable à lui seul d'assurer la borication nécessaire.
- Pour les plus petites brèches, le débit injecté par l'ISMP dans le RCP devient trop faible pour assurer à lui seul la borication voulue, et la contribution du RBS est nécessaire.
- Si la rupture n'est pas située dans une ligne d'injection IS en branche froide, au moins un train RBS est totalement disponible pour la borication (en considérant l'aggravant et la maintenance

préventive les plus pénalisants). Ce train RBS est plus efficace que strictement nécessaire, puisque destiné à faire face à un cas plus grave (dilution homogène en arrêt à chaud).

- Si la rupture est située dans une ligne d'injection IS en branche froide, le train RBS correspondant n'est pas complètement disponible pour la borication, une partie de son débit étant directement perdue à la brèche et n'atteignant pas le RCP (chaque pompe RBS refoule dans deux lignes IS en branche froide via un barillet RBS).

Ce paragraphe traite de ce dernier cas particulier, et vise à démontrer que les débits RBS et ISMP injectés dans le RCP sont suffisants pour assurer la sous-criticité du cœur après arrêt du réacteur, et ce jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. La borication par le RCV, non classée F1, n'est pas prise en compte.

Période allant de l'AAR à la fin du refroidissement partiel

La chute des grappes consécutive à l'AAR conduit à la sous-criticité du cœur. L'anti-réactivité des grappes est conçue pour maintenir cette sous-criticité jusqu'à la fin du refroidissement partiel.

Par conséquent, la borication du RCP n'est pas nécessaire jusqu'à la fin du refroidissement partiel.

Période allant de la fin du refroidissement partiel à l'état d'arrêt sûr

Pendant le passage de la fin du refroidissement partiel à l'état d'arrêt sûr (à une température primaire compatible avec la connexion du RIS-RA en mode RA), la borication du RCP est nécessaire pour maintenir la sous-criticité du cœur, l'anti-réactivité des grappes ne suffisant pas à elle seule. Comme dans toute situation PCC (à l'exception des grosses brèches APRP qui sont directement orientées vers la stratégie « Restauration de l'Inventaire en Eau »), les consignes post-accidentelles exigent de l'opérateur qu'il active le RBS en parallèle du refroidissement.

En préalable à la détermination de la concentration minimale de bore dans la configuration pénalisante mentionnée ci-avant (qui fait l'objet du [§ 4.6.2.2.](#)), la taille de brèche maximale en dessous de laquelle l'ISMP ne peut assurer seule une borication suffisante est évaluée (voir [§ 4.6.2.1.](#)), pour conclure qu'en raison du très grand rapport entre la taille de la petite brèche et la section de la ligne IS, la ligne intacte et la ligne IS affectée rencontrent la même contre pression, égale à celle de la branche froide du RCP. Pour maximiser cette taille de brèche, l'aggravant est postulé sur la grappe la plus antiréactive, supposée bloquée hors du cœur.

La concentration critique de bore dans le RCP se définit comme la limite de concentration assurant la sous-criticité aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA (une concentration inférieure conduirait à la criticité du cœur). Pour effectuer les calculs du contrôle de la réactivité, décrits au [§ 4.4.2.](#), on postule l'ensemble des hypothèses conservatives suivantes .

4.5.2.1.

4.5.2.2.

4.6. RÉSULTATS

4.6.1. Analyse thermohydraulique

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.3](#).

Les figures [FIG-15.2.3e1.6](#) à [FIG-15.2.3e1.14](#) représentent l'évolution des principaux paramètres jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Le calcul est poursuivi 24 heures après l'AAR (sans connecter le RIS-RA en mode RA) : les courbes associées sont représentées sur les figures [FIG-15.2.3e1.15](#) à [FIG-15.2.3e1.18](#).

Après ouverture de la brèche (dans la boucle 4), la pression primaire décroît rapidement, et le signal d'AAR est émis à 133 s, après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p) (figure [FIG-15.2.3e1.7](#)).

Par hypothèse de découplage, l'ARE est isolé complètement au même instant.

Le déclenchement turbine qui suit, a pour effet d'augmenter brusquement la pression secondaire jusqu'à l'ouverture des VDA \square à 146 s.

Le signal IS est émis à 196 s, après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p). Il provoque le début du refroidissement partiel \square à l'aide des VDA des 4 GV. \square .

Le refroidissement partiel se termine lorsque la pression secondaire atteint \square bar \square à 649 s. L'ASG est démarré dans les GV 3 et 4 (ASG non disponible dans les GV 1 et 2, du fait de la maintenance préventive et de l'aggravant) respectivement à 1151 s et 1080 s sur signal « MDTE + Signal IS » pour le GV 3 et « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) pour le GV 4 (figure [FIG-15.2.3e1.11](#)).

Les premières actions opérateur sont réalisées 30 minutes après l'AAR (1933 s) : l'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle au MCP (gérée par le Diagnostic Automatique), conduit l'opérateur vers la stratégie « Passage en Arrêt à Froid (PAF) avec IS ».

L'opérateur régule le niveau des GV par l'ASG \square et constate que le GV 2 affiche un niveau GV inférieur au seuil d'indisponibilité. L'opérateur procède donc à l'isolement vapeur (1938 s) des 4 GV et ne peut ouvrir le barillet ASG pour réalimenter les deux GV non alimentés par les deux pompes disponibles. Il démarre \square le RBS \square et entame un refroidissement \square à -25 °C/h à l'aide des VDA des GV 3 et 4 même si la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est inférieure à ε (hypothèse découplée pénalisante vis-à-vis de la consommation de bâche ASG).

Le débit à la brèche est en partie sous forme vapeur après la vidange des bouchons d'eau liquide des branches en U.

Côté injection de sécurité, la baisse de pression primaire a pour conséquence une forte augmentation du débit injecté par les pompes ISMP. Les accumulateurs se trouvent également sollicités (figure [FIG-15.2.3e1.10](#)) car la pression primaire chute en dessous de \square bar (pression de tarage minimale) à 4974 s. Dès que la pression primaire est inférieure à \square bar \square , l'opérateur isole \square les accumulateurs pour éviter tout risque de décharge en azote dans le circuit primaire (9594 s). La marge à la saturation est alors toujours inférieure à ε (figure [FIG-15.2.3e1.13](#)).

La pression d'injection des pompes ISBP est atteinte à \square s. L'injection supplémentaire de l'ISBP (dans les boucles 3 et 4) contribue au remplissage du circuit primaire, et conduit à retrouver une marge à la saturation en température ΔT_{sat} positive, et un niveau dans les boucles supérieur au haut des branches chaudes vers 13800 s (figure [FIG-15.2.3e1.8](#)).

À 15276 s, la bâche RBS est vide (figure [FIG-15.2.3e1.12](#)). L'opérateur poursuit alors le refroidissement \square par les GV utilisables, avec un gradient de refroidissement de 50 °C/h, la sous-criticité du cœur étant alors assurée.

À 15814 s, la marge à la saturation est supérieure à ε . La pression en branche chaude n'étant inférieure à \square bar \square que depuis 50 min, les critères pour la validation du permissif P16 ne sont pas

atteints. Le basculement de l'ISBP en branche chaude n'est donc pas demandé et l'opérateur n'est pas réorienté dans la stratégie de « Restauration de l'Inventaire en Eau ».

À 18176 s (figure [FIG-15.2.3e1.7](#)), la température est inférieure à ϵ dans au moins deux branches chaudes. La marge à la saturation en température ΔT_{sat} étant supérieure à ϵ , l'opérateur ouvre les lignes à grand débit minimum des pompes ISMP disponibles en même temps. La pression primaire étant largement inférieure à ϵ bar ϵ , le permis P14 peut être validé.

Le refroidissement ϵ par les GV utilisables est terminé à 20086 s, lorsque la pression dans ces GV atteint ϵ bar (en dessous de cette pression la pleine ouverture des VDA ne peut être maintenue).

La marge à la saturation devient supérieure à ϵ (avec incertitude) à 28892 s. Toutes les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont réunies.

Au moment de la connexion d'un train RIS-RA en mode RA, le débit injecté par la seule pompe ISBP disponible en mode IS est supérieur à ce qui est nécessaire pour maintenir un niveau boucle RCP suffisant dans les branches chaudes, afin d'assurer les conditions de fonctionnement de l'autre train RIS-RA en mode RA.

Vis-à-vis de la consommation ASG, l'incident est enveloppé par le transitoire de perte ARE. En effet, la phase long terme de ce transitoire ne comporte pas de phase d'attente et la brèche participe à l'évacuation de puissance ce qui réduit la consommation ASG. Toutefois, le calcul pour la brèche de 20 cm² est poursuivi sur 24 heures après l'AAR, sans connecter le RIS-RA en mode RA, pour vérifier le maintien de l'état d'arrêt sûr indépendamment du temps de connexion.

Durant ces 24 heures, environ 820 tonnes d'eau de l'ASG sont utilisées ϵ (figure [FIG-15.2.3e1.17](#)).

Ainsi, pour les brèches d'au moins 20 cm², les bâches ASG ne sont pas vidangées tant que le secondaire est nécessaire à l'évacuation de la puissance résiduelle.

Le maintien de l'état d'arrêt sûr est donc assuré dans tous les cas (RIS-RA en mode RA connecté ou pas).

À aucun moment de l'incident le cœur n'est découvert et la température du crayon moyen reste bien inférieure à ϵ °C (valeur initiale).

La sous-criticité du cœur est assurée tout au long de l'incident via la quantité de bore injectée par les deux pompes ISMP, et après la connexion du RIS-RA en mode RA, par la pompe ISBP fonctionnant en mode injection. La borication par le RBS ne serait donc pas nécessaire dans ce cas. Le cas des très petites brèches, pour lesquelles le débit d'IS n'induirait pas une borication suffisante, est quant à lui l'objet de l'analyse présentée au paragraphe suivant.

4.6.2. Contrôle de la réactivité

4.6.2.1. Sous-criticité assurée par l'ISMP seule

Sans tenir compte de l'injection RBS, le débit d'injection ISMP (ISMP seule sans RBS) en dessous duquel la sous-criticité du cœur à l'état d'arrêt sûr n'est pas assurée est de ϵ kg/s, soit ϵ t/h.

Valeurs prises en compte :

ϵ

La taille de la petite brèche dont le débit de fuite équilibre celui de l'injection ISMP est de ϵ cm², ce qui est très faible par rapport à la section interne de la ligne IS branche froide ϵ cm². La rupture n'a par conséquent qu'une incidence négligeable sur l'équilibre des contre-pressions entre la ligne IS affectée et les lignes IS intactes (pression à la rupture = pression dans la branche froide du RCP) :

Débit à la rupture - Taille de la rupture

**4.6.2.2. Sous-criticité assurée par le RBS et l'ISMP**

1) Concentration minimale de bore à l'état d'arrêt sûr

La concentration minimale de bore dans le RCP avec injection d'eau borée par le RBS seul est calculée avec l'ensemble des hypothèses conservatives définies au § 4.5.2.2, pour le cas le plus pénalisant.

Le volume d'ISMP injecté dans le RCP pendant le refroidissement est évalué à partir d'un calcul réalisé pour la plus petite taille de brèche non compensée par le RCV. En effet, pour les plus petites tailles de brèche, la pression primaire reste constante fixée à la pression de refoulement de l'ISMP (ou pression proche) pendant le refroidissement du primaire et l'ISMP compense la brèche mais également la contraction du primaire sous l'effet du refroidissement. L'apport de bore par l'injection ISMP nécessaire à la compensation de la contraction du primaire contribue à la borification du primaire avec l'injection RBS.

Les hypothèses de ce calcul sont identiques à celles présentées dans le § 4.5.1., excepté les hypothèses suivantes :

- surface d'échange primaire/secondaire nominale,
- niveau d'eau initial dans les GV,
- Les chaufferettes ne sont pas prises en compte.

Les évolutions des paramètres thermohydrauliques du circuit primaire représentatifs sont présentées sur les figures FIG-15.2.3e1.19 à FIG-15.2.3e1.21. L'analyse de ce calcul montre que :

- Une masse d'eau borée (RIS ou RBS) est effectivement injectée dans le circuit primaire entre le début de l'injection ISMP et l'atteinte des conditions de connexion du RIS/RA. Cette masse correspond au débit total des pompes RIS + RBS intégrée sur la période diminuée de l'intégrale de débit brèche sur la même période (et qui correspond à la part de débit d'eau borée qui part à la brèche sans rejoindre le circuit primaire).
- Une partie de la masse réellement injectée dans le circuit primaire correspond à % d'une bache RBS (qui arrive par un autre piquage RIS), la quantité correspondante doit être soustraite pour obtenir la quantité d'IS borée seule injectée dans le circuit primaire.

Valeurs prises en compte :

2) **Évolution de la concentration de bore en fonction de la température**

La concentration de bore dans le RCP est comparée avec la concentration de bore requise pour assurer la sous-criticité à différents niveaux de température.

Valeurs prises en compte :

-
-
-
-
-

En configuration TGI la température dans le RCP pour laquelle un apport en bore devient nécessaire pour poursuivre un refroidissement en assurant la sous-criticité du cœur est égale à °C. L'injection d'eau borée par le RBS qui a lieu pendant le refroidissement à -50 °C/h, permet d'atteindre, à cette température, une CB primaire d'environ ppm (voir la formule indiquée dans le § 4.5.2.2., sous-paragraphe 2). Cette CB permet d'être largement sous-critique et permet par conséquent de poursuivre le refroidissement.

A °C la CB dans le RCP est de ppm grâce à l'injection du RBS, alors que la CB critique est de l'ordre de ppm (incertitudes, pénalités et provisions comprises) : la sous-criticité est donc

assurée. Cette comparaison est par ailleurs nettement conservatrice puisqu'elle ne tient pas compte de la présence du xénon dans le cœur.

Cette démonstration peut être répétée à chaque niveau de température \square et permet de conclure que la sous-criticité est toujours assurée, l'écart entre la CB du RCP et la CB critique devenant de plus en plus important.

La quantité de bore apportée par le RBS en cas de très petit APRP et avec les choix d'aggravant et de maintenance préventive les plus pénalisants, est suffisante pour maintenir une concentration en bore du circuit primaire supérieure à la concentration requise pour assurer la sous-criticité \square . Ensuite, la CB requise à l'état d'arrêt sûr est atteinte, comme mentionné dans le [§ 4.6.2.2](#), sous-paragraphe 1, grâce à l'injection de la totalité d'une bêche RBS et à l'injection ISMP.

4.6.2.3. Conclusion sur le contrôle de la réactivité

Ces évaluations conservatrices montrent que, quelle que soit la taille de la brèche, les injections RBS et ISMP sont capables, quelle que soient les maintenances, aggravants et hypothèses de calcul postulées, d'assurer la borication du RCP nécessaire pour garantir la sous-criticité du cœur après l'arrêt du réacteur, jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Les concentrations requises de bore à l'état d'arrêt sûr étant calculées en considérant un keff de 0,99, cela garantit une sous-criticité minimale de 1000 pcm.

4.7. CONCLUSION

Aucun découverturement du cœur n'est observé à l'état d'arrêt sûr, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée via les VDA et l'ASG jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA (voir [§ 4.6.1](#)).

Par ailleurs, le [§ 4.6.2](#) démontre que la capacité d'injection de bore par l'ISMP et le RBS (nécessaire uniquement pour les plus petites tailles de brèche) permet d'assurer durablement la sous-criticité cœur. Les concentrations requises de bore à l'état d'arrêt sûr étant calculées en considérant un keff de 0,99, cela garantit une sous-criticité minimale de 1000 pcm.

Enfin, la démonstration des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2](#) est complétée au [§ 5](#), par la démonstration relative à la dilution hétérogène inhérente, ce qui permettra de conclure sur l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

5. ASPECT DILUTION HÉTÉROGENE INHÉRENTE

Cette justification a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée sur la base d'un jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B). Puis, l'analyse des modifications introduites ultérieurement a conduit à reprendre une partie de cette étude.

Ce paragraphe dédié au phénomène de dilution hétérogène inhérente vise à démontrer le respect à long terme de la sous-criticité du cœur suite à l'envoi d'un bouchon d'eau claire et vient ainsi en complément de la démonstration faite précédemment. En effet la démonstration du respect des autres critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2](#) a été effectuée dans les paragraphes relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé ([§ 3](#)) et à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr ([§ 4](#)).

5.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

5.1.1. Description de l'incident

De l'évènement initiateur à la reprise durable de la circulation naturelle.

L'ouverture d'une brèche sur le circuit primaire provoque une vidange du fluide caloporteur du circuit si la taille de celle-ci est suffisamment importante pour que la fuite ne soit pas compensée par le Système de Contrôle Volumétrique (RCV). C'est le cas des petites brèches classées comme évènements PCC3 et des brèches intermédiaires classées comme évènements PCC4.

Cette vidange entraîne une dépressurisation du primaire et le débit énergétique libéré à la brèche conduit à une dégradation des conditions de pression et de température dans l'enceinte.

Du côté primaire, le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est émis lorsque le seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p) est atteint.

Alors que les grappes de contrôle et d'arrêt dans le cœur chutent, la fermeture des vannes d'isolement de la turbine, et la fermeture des vannes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV (ARE) sont demandées sur compte-rendu d'AAR.

On ne tient pas compte ici de la régulation du niveau d'eau par les vannes réglantes du petit débit ARE ; de façon conservative, le débit ARE est annulé instantanément sur compte-rendu d'AAR.

L'isolement de la turbine conduit à une augmentation de la pression secondaire et à l'ouverture, GV par GV, des vannes d'isolement du système de Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA), lorsque le signal « Haute Pression secondaire » (Max1p) est émis.

La pression et le niveau d'eau continuent à décroître dans le pressuriseur et lorsque les conditions de saturation sont atteintes, d'abord dans les parties chaudes du circuit primaire, le fluide primaire se vaporise, initiant ainsi une phase de circulation forcée diphasique.

Le signal d'Injection de Sécurité (IS) est émis lorsque le seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) est atteint. Ce signal conduit en particulier au démarrage des pompes d'Injection de Sécurité de Moyenne Pression (ISMP) et de Basse Pression (ISBP), ainsi qu'au refroidissement partiel du réacteur par abaissement des points de consigne des vannes de contrôle du VDA et des vannes du Groupes de Contournement de la Turbine (GCT). La présente description suppose une perte des alimentations électriques externes (ou Manque De Tension Externe – MDTE) à l'instant où le signal IS est émis.

Le cumul du manque de tension externe conduit à l'arrêt des Groupes MotoPompes Primaires (GMPP) et à l'arrêt des pompes ARE, ces dernières n'étant pas secourues par les générateurs diesels.

La concomitance du MDTE avec le signal IS conduit au démarrage de l'alimentation de secours des GV (ASG), ce qui rétablit une source froide au secondaire. On suppose ici que la régulation automatique de niveau GV par l'ASG fonctionne alors normalement.

Pour les brèches les plus petites, la pression primaire se stabilise au-dessus de la pression secondaire et une partie importante de la puissance résiduelle est évacuée par les générateurs de vapeur.

Pour les brèches plus importantes ayant entraîné une vidange plus importante du fluide primaire, la décharge de vapeur à la brèche devient rapidement suffisante pour évacuer la production de vapeur dans le cœur. La condensation dans les tubes GV n'est plus nécessaire pour évacuer la puissance résiduelle primaire, et la pression primaire peut devenir inférieure à la pression secondaire.

L'inventaire en eau du circuit primaire cesse de diminuer quand les débits injectés par les pompes ISMP, et éventuellement par les accumulateurs, puis par les pompes ISBP à plus basse pression, permettent de compenser le débit à la brèche.

L'opérateur est orienté dans la stratégie de « Passage à l'Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité en service ». On lui demande de procéder à un refroidissement du fluide primaire par ouverture contrôlée du VDA, tout en assurant, en parallèle, une borication du circuit primaire par le Système de Borication de Secours (RBS). Le gradient de refroidissement demandé est de -50 °C/h ou de -25 °C/h selon l'état du circuit primaire (marge à la saturation, concentration en bore) et du nombre de pompes RBS en service. L'opérateur arrête ensuite le RBS dès le retour en sous-saturation du primaire.

Le phénomène de dilution inhérente correspond à la formation de bouchons d'eau claire par condensation de vapeur sur les tubes GV. Il peut intervenir en cas de petite brèche ou de brèche intermédiaire sur le circuit primaire, après arrêt des pompes primaires, lorsque la puissance résiduelle est évacuée par les GV fonctionnant en régime caloduc.

Il existe un risque de retour en criticité du cœur si un bouchon d'eau claire est envoyé dans le cœur, après reprise de la circulation naturelle, comme décrit dans les paragraphes suivants.

5.1.2. Description des phases caractéristiques de l'incident d'APRP vis-à-vis du phénomène de dilution

Les 4 phases caractéristiques de cet incident concernant le phénomène de dilution inhérente sont les suivantes :

5.1.2.1. Passage d'une circulation forcée diphasique au thermosiphon diphasique

La phase de circulation forcée diphasique prend fin après l'arrêt des pompes primaires et laisse place à une phase de thermosiphon diphasique.

Durant cette nouvelle phase, la vidange du circuit primaire se poursuit en raison de la perte de masse primaire importante à la brèche qui débite majoritairement en liquide, le RIS ne compensant pas cette perte à court terme.

Cette vidange progressive s'accompagne d'une vaporisation accrue de l'eau dans les parties chaudes du circuit primaire du fait de la diminution du débit traversant le cœur, ce qui conduit à l'apparition d'un taux de vide dans les branches chaudes et le cœur. Tout le condensat éventuellement généré dans les tubes des GV par la condensation de la vapeur est mélangé avec l'eau borée des boucles et du circuit primaire. Le débit de circulation naturelle permet de maintenir une concentration en bore homogène dans le circuit primaire.

5.1.2.2. Rupture de la circulation naturelle et fonctionnement des GV en régime caloduc

Pour des tailles de brèche suffisamment importantes, la dégradation de l'inventaire primaire conduit à la rupture de la circulation naturelle, c'est-à-dire à l'absence de débit liquide au sommet des tubes GV.

La rupture de circulation naturelle permet d'initier le fonctionnement des générateurs de vapeur en régime caloduc ce qui est indispensable à la formation des bouchons d'eau claire par condensation. L'accumulation débute à partir du moment où le niveau du fluide primaire descend en dessous du faisceau tubulaire dans la boîte à eau de sortie GV.

La vapeur très faiblement borée produite dans le cœur traverse les branches chaudes pour se diriger vers les tubes GV où elle est condensée. Le liquide résultant de la condensation sur les parties montantes des tubes GV s'écoule à contre-courant vers le plenum supérieur de la cuve tandis que celui résultant de la condensation sur les parties descendantes des tubes GV rejoint les branches en U. Ce phénomène conduit à la formation de bouchons d'eau claire dans les boîtes à eau de sortie des générateurs de vapeur et dans les branches en U. Ce mode de transfert de chaleur par vaporisation/condensation est caractéristique d'un faible inventaire en eau du circuit primaire et nécessite le refroidissement par le secondaire.

5.1.2.3. Phase de remplissage et reprise de la circulation naturelle

Un remplissage suffisant du circuit primaire, permettant une reprise de la circulation naturelle, n'est possible que pour les brèches de tailles suffisamment petites :

- soit par les pompes ISMP seulement pour les plus petites d'entre elles,
- soit par l'atteinte de moyens d'injection importants tels que les accumulateurs ou les pompes ISBP : pour les tailles de brèches qui font l'objet de la présente analyse, ces moyens d'injection sont atteints suite à la dépressurisation du primaire résultant du refroidissement par les GV.

Ce remplissage est nécessaire pour que la circulation naturelle s'amorce à nouveau, mettant ainsi fin au régime caloduc et à l'accumulation de condensat dès que le niveau du fluide primaire atteint le faisceau tubulaire dans la boîte à eau de sortie GV.

Cette phase est indispensable pour qu'un bouchon d'eau claire potentiellement formé dans les branches en U et les boîtes à eau de sortie GV puisse être mis en mouvement vers la cuve et le cœur du réacteur, avec pour conséquence un risque de retour en criticité.

Ce risque est d'autant plus fort que la masse du bouchon est importante et sa concentration en bore est faible.

5.1.2.4. Mélange du bouchon d'eau claire avant son passage dans le cœur

Le bouchon d'eau claire mis en mouvement vers la cuve et le cœur du réacteur se mélange avec l'eau borée de l'IS, des accumulateurs et du RBS, puis avec l'eau borée des branches froides, de l'espace annulaire et du plenum inférieur de la cuve.

Le mélange le long du parcours des branches en U jusqu'au cœur contribue à augmenter la concentration en bore de l'eau du bouchon avant son arrivée dans le cœur.

5.2. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au § 3.1., les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants, en supposant un MDTE à l'instant du signal IS :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p), ou sur signal « Bas RFTC »,
- fermeture des vannes d'isolement des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur compte-rendu d'AAR,
- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression Secondaire » (Max1p), GV par GV,
- signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) qui provoque en particulier le démarrage des 4 trains RIS, isole la décharge et provoque un isolement « niveau 1 » de l'enceinte,
- refroidissement partiel du circuit primaire sur compte-rendu du signal IS, par ouverture des vannes d'isolement et régulation de l'ouverture des vannes de contrôle du VDA,
- démarrage de l'alimentation de secours des GV sur « Signal IS + MDTE »,
- isolement de l'alimentation de secours des GV sur « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p).

Aux moyens de protection automatiques F1A cités ci-dessus, s'ajoutent les actions F1B suivantes :

- la mise en service F1B du système de borication de sécurité (RBS),
- le refroidissement contrôlé du circuit primaire par ouverture F1B des VDA,
- l'arrêt des trains ISMP F1B.

5.3. DÉFINITIONS DES CAS ÉTUDIÉS

5.3.1. Analyse système

Le Manque De Tension Externe (MDTE) qui provoque l'arrêt des GMPP est considéré au moment de l'arrivée du signal IS, le choix de cet instant ayant peu d'impact sur l'incident.

Les calculs sont réalisés pour les 5 tailles de brèches suivantes :

- 1) Ø1 : taille de brèche minimale permettant la vidange du primaire sous le faisceau tubulaire,
- 2) Ø2 : taille de brèche (>Ø1) permettant d'éviter la vidange des branches en U et la chasse des bouchons,
- 3) Ø1,2 : taille de brèche comprise entre Ø1 et Ø2 pénalisante vis-à-vis de la dilution. Cette taille de brèche est déterminée en effectuant un spectre de brèche entre Ø1 et Ø2 (avec un pas de 1 cm²),

- 4) Ø3 : taille de brèche maximale permettant la formation de condensat dans les tubes GV lors du refroidissement réalisé du côté secondaire et donc pouvant encore conduire à un risque de dilution. Pour des tailles de brèche supérieures, la dépressurisation du primaire est plus rapide que la dépressurisation secondaire par les VDA : la puissance résiduelle est évacuée à la brèche,
- 5) Ø2,3 : taille de brèche comprise entre Ø2 et Ø3 pénalisante vis-à-vis de la dilution. De même que pour Ø1,2, Ø2,3 est déterminée en effectuant un spectre de brèche entre Ø2 et Ø3 avec un pas de 1 cm².

Concernant l'orientation et la position de la brèche :

- Elle est située en branche froide à la même abscisse curviligne que le piquage IS. La totalité de la vapeur produite dans le cœur se dirige alors vers les GV, ce qui favorise la formation de condensat. En effet, en cas de brèche en branche chaude, une partie de cette vapeur serait perdue à la brèche.
- Elle est orientée verticalement vers le bas et positionnée sur la génératrice inférieure de la branche froide afin de favoriser la vidange du circuit primaire et d'anticiper la perte de la circulation naturelle.

5.3.2. Analyse thermohydraulique locale et analyse neutronique

Les calculs de thermohydraulique locale ont pour objectif d'étudier l'envoi d'un bouchon d'eau claire après la reprise de la circulation naturelle dans une boucle.

5.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS

La démarche de traitement de l'incident par dilution inhérente se décompose en trois étapes :

- une analyse système qui s'appuie d'une part sur la réalisation de calculs d'ensemble à l'aide du code de thermohydraulique (voir Annexe 15A) et sur les principales conclusions des essais qui ont permis d'étudier le comportement du circuit primaire lors d'un incident de dilution inhérente en APRP,
- une analyse thermohydraulique locale afin d'étudier le transport et le mélange du bouchon depuis la sortie de la pompe primaire jusqu'à l'entrée cœur,
- une analyse neutronique afin de vérifier la sous-criticité du cœur lors de l'envoi du bouchon dans la cuve.

Les calculs thermohydrauliques d'ensemble réalisés sont poursuivis jusqu'à la reprise de la circulation naturelle dans les 4 boucles.

5.5. ANALYSE SYSTÈME

5.5.1. Hypothèses d'études

Les hypothèses décrites dans ce paragraphe sont basées sur le jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B).

5.5.1.1. État initial

On suppose le réacteur initialement en puissance. Le tableau [TAB-15.2.3e1.4](#) présente les conditions initiales retenues. Les incertitudes sont choisies dans le but d'accroître la production de vapeur dans le cœur et de maximiser la condensation dans les tubes GV pendant la phase caloduc.

Du point de vue état initial, le fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par l'état initial à pleine puissance en cycle naturel car il conduit à des valeurs de Cb critique bien plus faibles. Par ailleurs, le fonctionnement en prolongation de cycle induit une production de vapeur plus faible. Il est en effet :

- soit initié à plus faible puissance, pour une température primaire et une pression primaire inférieures,
- soit initié à un même niveau de puissance, mais à une température primaire inférieure pour une pression primaire identique.

Les modifications, au cours de la prolongation de cycle, des seuils des signaux d'AAR et IS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p) et (Min3p) sont telles que les écarts entre la pression initiale de fonctionnement et les seuils Min2p et Min3p sont toujours égaux ou inférieurs aux écarts en cycle naturel, afin de ne pas retarder la sollicitation des signaux correspondants.

5.5.1.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Le MDTE étant pris en compte dans les calculs, les diesels de secours sont démarrés. Les trois scénarios étudiés envisagent les couples « aggravant/maintenance préventive » suivants :

Scénario 1

- aggravant : La grappe la plus antiréactive est supposée bloquée hors du cœur.
- maintenance préventive : Une pompe RRI est supposée en maintenance ce qui conduit à l'indisponibilité d'un train IS (ISMP et ISBP) sur une autre boucle que la boucle rompue.

Ce scénario vise à pénaliser la concentration en bore critique.

Scénario 2

- aggravant : Un train RBS est supposé hors service.
- maintenance préventive : une pompe RRI est supposée en maintenance ce qui conduit à l'indisponibilité d'un train IS (ISMP et ISBP) sur une autre boucle que la boucle rompue.

Ce scénario vise à pénaliser la concentration en bore dans la cuve du réacteur à l'instant de la reprise de la circulation naturelle.

Scénario 3

- aggravant : perte d'un diesel,
- maintenance préventive : perte d'un diesel.

La perte de deux diesels conduit à la perte de deux trains IS (ISMP et ISBP), d'un train RBS et de deux trains ASG.

Néanmoins, le relignage ASG permet de récupérer la fonction de refroidissement sur les 4 GV pendant la plus grande partie de la phase caloduc. []

Ce scénario vise à pénaliser la dégradation de l'inventaire en eau primaire et la concentration en bore dans la cuve du réacteur à l'instant de la reprise de la circulation naturelle.

Scénario 4

- aggravant : Une pompe RRI est supposée hors service ce qui conduit à l'indisponibilité d'un train IS (ISMP et ISBP) sur une autre boucle que la boucle rompue.
- maintenance préventive : une pompe RRI est supposée en maintenance ce qui conduit à l'indisponibilité d'un train IS (ISMP et ISBP) sur une autre boucle que la boucle rompue.

Par rapport au scénario 3, la différence principale porte sur la disponibilité d'un train RBS supplémentaire. []

[]

5.5.1.3. Hypothèses cœur

Puissance cœur

Les caractéristiques du profil axial de puissance dans le cœur sont les mêmes que celles considérées dans les études APRP PB pour la phase moyen terme (voir § 3.).

La puissance cœur est maintenue constante (102 % PN) jusqu'au début de la chute des grappes. □.

La puissance initiale ainsi que la puissance résiduelle sont majorées afin de générer le maximum de vapeur dans le cœur du réacteur et ainsi maximiser la formation de condensat dans les épingles GV. De plus, avec ces conditions, la pression primaire est maximale ce qui conduit à une injection minimale d'Injection de Sécurité fortement borée.

Concentration en bore initiale

Contrairement à la concentration en bore critique, la concentration en bore initiale du primaire n'est pas un paramètre dominant. En effet, la puissance cœur dans le calcul □ est indépendante des données neutroniques et la concentration en bore à l'instant de la reprise de la circulation naturelle dépend principalement de la concentration du mélange IS/RBS.

Afin de ne pas totalement se découpler de la concentration en bore critique, il convient de retenir comme concentration en bore initiale, la concentration en bore DVX (début de vie avec temps suffisant pour atteindre l'équilibre Xénon) du cycle conduisant à la concentration en bore critique maximale □.

5.5.1.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Régulation de la pression primaire

Pour retarder les temps d'arrivée des signaux d'AAR et d'IS, les chaufferettes du pressuriseur sont prises en compte. On considère de façon découplée, une puissance totale des chaufferettes □ entre l'instant initial et la vidange totale du pressuriseur.

Régulation du niveau dans le pressuriseur

La régulation de niveau pressuriseur n'est pas prise en compte pour l'étude car elle s'oppose à la vidange du circuit primaire et retarde la fin de circulation naturelle.

Turbine

Le débit turbine est maintenu constant jusqu'à l'isolement de la turbine.

ARE

Le débit d'eau alimentaire des générateurs de vapeur est maintenu constant jusqu'à l'isolement des lignes à grand débit sur compte-rendu d'AAR. De façon conservative, il est annulé instantanément sur compte-rendu d'AAR. L'ensemble motopompe Alimentaire de Démarrage et d'Arrêt (AAD) n'est pas pris en compte.

Régulation du niveau gamme large des générateurs de vapeur par l'ASG

La régulation de niveau GV (gamme large) par les vannes de contrôle ASG est prise en compte dans l'étude pour retarder l'isolement de l'ASG. Le niveau de consigne est majoré de l'incertitude pour augmenter le débit ASG et ainsi accroître la condensation de la vapeur le long des tubes GV. □.

VDA

Le GCT est supposé indisponible. Après le déclenchement de la turbine, la vapeur est alors évacuée par les VDA. A l'ouverture des vannes d'isolement, on suppose, de façon découplée, que l'ouverture

des vannes de contrôle est suffisamment limitée pour maintenir la pression de consigne, si le signal de refroidissement partiel n'est pas encore atteint. Cette hypothèse limite l'extraction de chaleur du circuit primaire. □.

Injection de sécurité

Après le démarrage automatique des pompes IS, l'injection de sécurité en branche froide est effective dès que la pression dans le circuit primaire le permet. Les débits délivrés par les pompes IS disponibles sont fonction de la pression dans le circuit primaire et pris minimaux afin de pénaliser :

- le refroidissement du cœur, ce qui favorise la création de vapeur,
- la durée de la phase caloduc en ralentissant le remplissage du circuit primaire afin de favoriser la formation des bouchons d'eau claire.

Conformément à la position de la brèche, l'injection dans la branche froide rompue est prise en compte dans les calculs.

La température de l'eau injectée par l'IS dans le circuit primaire est maximale, pour favoriser la formation de vapeur dans le cœur. Pour chaque ISMP disponible, la température d'injection dans le circuit primaire □ est choisie de façon à couvrir, sur la durée des incidents étudiés, l'échauffement de l'eau dans l'In-containment Refueling Storage Tank (IRWST) ; elle tient également compte de l'échauffement du fluide par chaque pompe ISMP. Pour chaque pompe ISBP disponible, la température d'injection dans le circuit primaire □ est choisie de façon à couvrir, sur la durée des incidents étudiés, l'échauffement de l'eau dans l'IRWST ; elle tient également compte de l'échauffement du fluide par chaque pompe ISBP et du refroidissement par chaque échangeur RIS/RRI.

La concentration en bore de l'eau injectée par l'IS dans le circuit primaire est minimale pour limiter la borication du fluide primaire avant l'envoi du bouchon dans le cœur à la reprise de la circulation naturelle. La concentration en bore naturel de l'eau injectée est □ choisie de façon à couvrir, sur la durée des incidents étudiés, la dilution de l'eau dans l'IRWST et est déterminée à partir d'une concentration en bore naturel initiale minimale □ dans l'IRWST.

Afin de retarder l'arrivée effective du bore de l'IS et du RBS dans le primaire, les volumes des lignes RBS et RIS/ACCU sont pris en compte pour calculer l'instant d'injection des différentes sources de bore dans le primaire.

Borication par le RBS

La borication par le RBS se fait via les lignes de piquage IS connectées aux branches froides. Les caractéristiques du RBS sont les suivantes :

- débit minimal par train □,
- température maximale d'injection □,
- □.

Accumulateurs

Les hypothèses spécifiques relatives aux accumulateurs sont définies en vue de ralentir l'injection des accumulateurs dans le circuit primaire :

- □ volume total par accumulateur,
- □ volume d'eau, valeur maximale dans un accumulateur,
- □ pression initiale, valeur minimale,
- □ résistance de la ligne de décharge, valeur maximale,
- La température de l'eau dans chaque accumulateur □ (valeur maximale).

- coefficient de détente de l'azote [],
- La concentration en bore naturel dans chaque accumulateur [] (valeur minimale).

5.5.1.5. Hypothèses protections

Afin d'anticiper la perte de circulation naturelle dans les boucles, les seuils de déclenchement des systèmes de protection et de sauvegarde sont augmentés ou diminués de leurs incertitudes par rapport à leurs valeurs de réglage sur site.

Arrêt Automatique du Réacteur

Le signal d'AAR par « Bas RFTC » n'est pas pris en compte. L'AAR a lieu sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p) (classé F1A), les hypothèses associées sont les suivantes :

- seuil Min2p[],
- délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes[].

Arrêt de la turbine, isolement de l'eau alimentaire normale, ouverture des vannes VDA

Pour le déclenchement de la turbine, l'isolement de l'eau alimentaire normale et l'ouverture des VDA, on retient les hypothèses qui limitent l'évacuation de la puissance résiduelle par le secondaire :

- La fermeture des vannes de déclenchement de la turbine sur compte-rendu d'AAR est supposée avoir lieu avec un retard minimal[] après le signal d'AAR.
- Concernant le circuit d'eau alimentaire normale, la fermeture des vannes d'isolement des lignes à grand débit sur compte-rendu d'AAR (signal F1A) est supposée avoir lieu sans retard à l'obtention du signal d'AAR. Par découplage, on suppose l'annulation du petit débit ARE au même instant.
- L'ouverture des vannes d'isolement de la décharge à l'atmosphère est provoquée, (GV par GV) par le signal « Haute Pression Secondaire » (Max1p) (classé F1A). Les caractéristiques prises en compte pour ce signal sont les suivantes :
 - seuil Max1p[],
 - temps maximal de réponse de la chaîne et de traitement du signal[],
 - dynamique d'ouverture de la vanne d'isolement du VDA[].

Signal IS

Les hypothèses associées au signal IS « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) (classé F1A) sont les suivantes :

- seuil Min3p[],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal[],
- action prise en compte et délai associé : démarrage des pompes IS, avec un délai maximal pour l'obtention du plein débit[], dans la mesure où l'on suppose une perte de l'alimentation électrique externe à l'instant du signal d'IS (délai tenant compte du temps de démarrage des diesels).

Refroidissement partiel

Le refroidissement partiel sur compte-rendu de signal IS (classé F1A) conduit à une ouverture contrôlée progressive des vannes réglantes du VDA, par abaissement de la pression de consigne, pour assurer une vitesse de refroidissement de -250 °C/h.

Si les vannes d'isolement du VDA sont fermées à l'instant du signal IS, on tient compte du délai d'ouverture de ces vannes[] avant de démarrer le programme de refroidissement, et de la pression de consigne initiale[].

Si les vannes d'isolement du VDA sont ouvertes à l'instant du signal IS, le programme de refroidissement démarre sans retard et la pression de consigne initiale est la pression secondaire courante.

Le refroidissement est arrêté .

Arrêt des pompes primaires

Dans la mesure où l'on postule une perte des alimentations électriques externes (ou MDTE) à l'instant où le signal IS est émis, les pompes primaires s'arrêtent à cet instant.

Démarrage de l'ASG

Dans la mesure où l'on postule un MDTE à l'instant où le signal IS est émis, les pompes ASG sont démarrées sur « Signal IS + MDTE » (classé F1A). On suppose que les pompes ASG commencent à alimenter les GV (plein débit) après l'obtention du signal IS (délai maximal incluant le temps de démarrage des diesels).

Arrêt de l'ASG

Pour augmenter la durée de la condensation le long des tubes GV, la régulation du niveau d'eau par l'ASG est modélisée afin de retarder l'isolement de l'ASG dans les GV.

Les hypothèses retardant l'isolement de l'ASG sur « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p) (classé F1A) sont les suivantes :

- seuil ,
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal ,
- délai de fermeture des vannes ASG .

5.5.1.6. Conduite opérateur

L'opérateur est supposé réaliser la première action 30 minutes après le signal AAR et aucune action opérateur n'est donc prise en compte avant ce délai.

Diagnostic primaire fermé

L'opérateur doit rejoindre l'état d'arrêt sûr en suivant les règles de Conduite Incidentelle/Accidentelle (CIA) afférentes au Moyen de Conduite Principal (MCP) ou de Secours (MCS) et définies par l'Approche Par États (APE). L'opérateur est conduit vers la procédure de « Passage en Arrêt à Froid (PAF) avec Injection de Sécurité en service ».

Passage en arrêt à froid avec IS

Dans la procédure « PAF avec IS », les pompes ISMP et ISBP étant en service, l'opérateur est orienté vers la phase 1 « arrêt de l'ISMP ».

Activation du permissif P12

Le refroidissement partiel automatique étant terminé, l'opérateur active le permissif P12 qui permet le refroidissement du primaire par les VDA jusqu'aux conditions de connexion du RIS/RRA en mode RRA (32 bar et 180 °C en condition accidentelle).

Démarrage de la borication de sécurité

L'opérateur doit ensuite entreprendre la borication du primaire. Celle-ci s'effectue par le RBS.

Refroidissement manuel

L'opérateur effectue un refroidissement □ par ouverture des VDA. Le gradient de refroidissement requis (-50 °C/h ou -25 °C/h) dépend de la marge à la saturation en température, de la concentration en bore du circuit primaire et des moyens de borication en service. En l'occurrence, la marge à la saturation étant nulle pour les brèches étudiées, le gradient de refroidissement demandé est de -50 °C/h.

Contrôle de l'inventaire en eau des GV

Dans le module de contrôle de la température primaire, sur « refroidissement contrôlé demandé », l'opérateur règle la vitesse de refroidissement par les VDA (-50 °C/h ou -25 °C/h) de façon équilibrée sur les tous les GV utilisables. L'opérateur réalise ensuite le contrôle de l'inventaire en eau pour chaque GV non isolé.

Pour l'étude, on procède aux choix suivants :

- Si la régulation de niveau GV par l'ASG est encore en service, elle est maintenue pour le calcul□.
- On applique une incertitude en ambiance dégradée de 5 % GL au seuil « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p)□.

Activation du permissif P15

Les GMPP étant hors service, l'opérateur active le permissif P15 avant d'arrêter les pompes ISMP. L'activation du permissif P15 avant l'arrêt des pompes IS permet de basculer d'une protection IS par « Bas ΔPsat » à une protection par « Bas Niveau Boucles », ce qui évite un redémarrage de l'ISMP par « Bas ΔPsat ».

Arrêt de l'ISMP

L'ouverture des lignes à grand débit minimum des pompes ISMP permet d'entamer une dépressurisation afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr. Ce basculement est progressif et fonction de l'inventaire en eau et de la marge à la saturation du circuit primaire. Ces critères garantissent que du début de la dépressurisation engendrée par le basculement d'un train ISMP jusqu'à la stabilisation à la nouvelle pression d'équilibre, le circuit primaire reste sous-saturé. L'ouverture définitive de la ligne à grand débit minimum de l'ISMP n'est envisagée que si le niveau boucle est supérieur à 100 %.

Par découplage, les transitoires présentés ne prennent pas en compte ce basculement mais un arrêt complet des pompes ISMP dès que les conditions de connexion au RIS-RA sont atteintes, choix sans effet sur la démonstration puisque cette action intervient de manière postérieure à la RDI, instant considéré pour déterminer les données d'entrée de l'analyse thermohydraulique locale.

Isolement des accumulateurs

□ les accumulateurs sont isolés systématiquement afin de se prémunir de l'injection d'azote dans le circuit primaire.

5.5.2. Résultats de l'analyse système

Ce paragraphe présente l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B).

5.5.2.1. Paramètres utiles à l'analyse des calculs système

Pour chaque calcul système on détermine pour chacune des 4 boucles :

- l'instant FCN de Fin de la Circulation Naturelle : Cet instant correspond à la première annulation du débit liquide au sommet des tubes GV ; cet instant est suivi par l'apparition d'une phase de débits liquide oscillants précédant le régime caloduc.

- l'instant FDI de Fin du régime des Débits liquides Intermittents au sommet des tubes GV : Cet instant marque le début de la phase de fonctionnement des GV en régime caloduc durant laquelle le bouchon d'eau claire est créé ; cet instant correspond à l'annulation durable du débit liquide au sommet des tubes GV.
- l'instant RDI de Reprise des Débits liquides Intermittents au sommet des tubes GV : Cet instant marque la fin du régime caloduc.
- l'instant RCN de Reprise durable de la Circulation Naturelle : Cet instant correspond au temps à partir duquel le débit liquide ne s'annule plus au sommet des tubes GV.

On retient un débit \dot{m} pour caractériser l' « annulation » et la « reprise » du débit liquide au sommet des tubes GV servant à déterminer les instants de FCN et RCN.

Les débits intermittents puis la reprise de la circulation naturelle provoquent la mise en mouvement du bouchon d'eau claire vers la cuve et le cœur.

La durée du régime caloduc est calculée comme la durée de la phase comprise entre la fin et la reprise des débits liquides intermittents. C'est pendant cette phase que le condensat qui est formé dans les tubes GV peut s'accumuler dans les boîtes à eau de sortie GV.

Les paramètres suivants sont ensuite calculés :

- l'écart de débit vapeur entre le sommet des tubes GV et la pompe primaire est représentatif de la condensation s'opérant le long de la paroi descendante des tubes GV, et dans une moindre mesure dans la boîte à eau de sortie GV et dans la branche en U ; son intégrale pendant la durée du régime caloduc permet de vérifier si le refroidissement par les GV est maintenu.
- Le débit liquide au niveau du diffuseur de la pompe primaire permet de savoir si du liquide sort de la branche en U, emportant une partie du bouchon, ou si au contraire du liquide provenant de la branche froide, plus fortement boré, pénètre dans la branche en U ; les intégrales de ce débit sur les phases où ce débit est positif (sens direct) ou négatif (sens inverse) permettent de mieux comprendre la formation des bouchons d'eau claire.

Ces intégrales sont calculées sur la durée du régime caloduc dans la boucle primaire qui marque en premier la reprise des débits liquides intermittents.

5.5.2.2. Analyse détaillée de la brèche pénalisante Ø1,2 du scénario 3

Les résultats détaillés présentés ci-dessous sont ceux de la brèche pénalisante Ø1,2 \square pour le scénario 3. D'un point de vue thermohydraulique, le déroulement de l'incident est similaire pour la brèche pénalisante de chacun des trois scénarios. Seule la cinétique de l'incident est différente sans modifier la séquence des événements et les phénomènes physiques. Par conséquent, seule l'analyse détaillée de la brèche pénalisante (Ø1,2 \square) du scénario 3 est présentée. Cette taille de brèche est pénalisante vis-à-vis du phénomène de dilution pendant la phase caloduc et des caractéristiques du circuit primaire lors de la reprise des débits intermittents.

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.9](#).

Après ouverture de la brèche, la pression décroît rapidement et le signal d'AAR est émis à 198 s, après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p).

Le déclenchement de la turbine qui suit a pour effet d'augmenter la pression secondaire jusqu'au seuil d'ouverture des VDA.

L'évolution des pressions primaire et secondaire est présentée en figure [FIG-15.2.3e1.55](#).

Le débit à la brèche se fait majoritairement sous forme liquide tout au long de l'incident comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.54](#).

Le signal IS est émis , après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p). Il provoque le démarrage des trains d'IS ainsi que le début du refroidissement partiel . Le MDTE, supposé se produire à l'instant où le signal IS est émis, provoque l'arrêt des GMPP.

L'arrêt des GMPP annule la circulation forcée, ce qui conduit à une augmentation du ΔT entre l'entrée et la sortie du cœur, et favorise la production de vapeur (voir figure [FIG-15.2.3e1.56](#)), initiant ainsi une phase de circulation en régime thermosiphon diphasique.

L'ASG est démarré sur la concomitance du MDTE avec le signal IS, et atteint son plein débit à 351 s.

Le refroidissement automatique par les VDA permet de dépressuriser le primaire jusqu'à l'atteinte des conditions d'injection des pompes ISMP, à 559 s. La figure [FIG-15.2.3e1.57](#) montre l'évolution des débits ISMP. Dans le cas présent (scénario 3), seules les boucles 2 et R sont alimentées par l'IS. La pression se stabilise légèrement au-dessus de la pression secondaire comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.55](#).

La circulation naturelle s'interrompt en premier dans la boucle 1 à 1413 s.

S'ensuit alors une période de débits intermittents dont les temps de début et de fin sont propres à chaque boucle.

L'opérateur intervient 30 minutes après l'AAR, à 1998 s et démarre le RBS. Dans le cas présent (scénario 3), une seule pompe RBS est disponible et alimente les boucles 3 et R (respectivement boucle du pressuriseur et boucle rompue). Le débit de la pompe RBS est effectif à 2044 s.

La marge à la saturation étant nulle, à -50 °C/h en réglant la pression de consigne des VDA. La pression secondaire décroît alors progressivement. Dans un premier temps, la pression primaire se découple de la pression secondaire lorsque les générateurs de vapeur deviennent sous-saturés, cette sous-saturation secondaire étant due aux forts débits ASG injectés à faible température. Puis, la dépressurisation du primaire suit de nouveau celle du secondaire lorsque le secondaire est de nouveau à saturation. Les accumulateurs sont sollicités à 2605 s. Les débits des accumulateurs et du RBS sont présentés en figure [FIG-15.2.3e1.58](#).

La phase de débits liquides intermittents s'interrompt successivement dans les différentes boucles, initiant le régime caloduc (voir figure [FIG-15.2.3e1.56](#)). En particulier, cette interruption intervient à 4354 s dans la boucle 3.

Les débits intermittents reprennent dans les 4 boucles lors du remplissage du circuit primaire, vers 6400 s pour la boucle 3 et après 7500 s pour les autres boucles.

La pression primaire continue de décroître et l'atteinte du seuil d'isolement des accumulateurs est atteint à 5972 s.

La pression d'injection des pompes ISBP est atteinte à 7006 s. L'injection supplémentaire de l'ISBP contribue au remplissage du circuit primaire et conduit à retrouver une marge à la saturation ΔT_{sat} positive. L'opérateur est alors amené à arrêter la borication par les pompes RBS à 8215 s.

La concentration en bore du primaire étant supérieure à la concentration en bore d'arrêt à froid, le refroidissement manuel conduit par l'opérateur continue de se dérouler avec un gradient de -50 °C/h quelle que soit la valeur de la marge à la saturation.

La circulation naturelle repart définitivement dans les 4 boucles à 8356 s.

5.5.2.3. Analyse des spectres de brèche pour les différents scénarios

Les tableaux [TAB-15.2.3e1.6](#), [TAB-15.2.3e1.8](#) et [TAB-15.2.3e1.10](#) donnent les différents instants (FCN, FDI, RDI, RCN) respectivement pour les scénarios 1, 2 et 3. Pour chacun des 3 scénarios, ces instants sont déterminés pour tout le spectre de brèche de $\emptyset 1$ à $\emptyset 3$ et pour toutes les boucles. Ces tableaux donnent également les paramètres présentés au [§ 5.5.2.1](#), permettant d'apprécier :

- la formation de condensats par le calcul de l'intégrale de débit vapeur entre le sommet des tubes GV et la pompe primaire,
- l'accumulation de ces condensats par le calcul de l'intégrale des débits liquides en sens direct au niveau de la pompe primaire,
- le mélange de ces bouchons d'eau claire par le calcul de l'intégrale des débits liquides en sens inverse au niveau de la pompe primaire.

D'une manière générale, quel que soit le scénario, la durée du régime caloduc est d'autant plus longue que la taille brèche est importante.

Pour les brèches de section supérieure ou égale à $\varnothing 1$ et inférieure à $\varnothing 1,2$, la quantité de condensats formée en aval du sommet des tubes GV est très inférieure à celle observée pour la brèche de taille $\varnothing 1,2$. Ces brèches ne sont donc pas pénalisantes vis-à-vis de la formation des condensats.

Pour les brèches de section supérieure à $\varnothing 1,2$, la quantité de condensats formés en aval du sommet des tubes GV est généralement supérieure à celle observée pour la brèche de taille $\varnothing 1,2$ mais ne donne pas lieu pour autant à la présence de bouchons d'eau claire plus pénalisants.

En effet, les intégrales de débit liquide en sens direct au niveau de la pompe primaire sont également généralement plus élevées pour ces tailles de brèche, ce qui montre qu'une grande partie des condensats formés pendant le régime caloduc est chassée durant la phase de vidange du primaire (phénomène de chasse des bouchons décrit au § 4.3.). Ces brèches ne sont donc pas pénalisantes vis-à-vis de l'accumulation des condensats.

Par ailleurs, les intégrales de débit liquide en sens inverse au niveau de la pompe primaire sont également plus élevées pour ces tailles de brèche, ce qui montre qu'une plus grande quantité d'eau plus fortement borée pénètre dans la branche en U durant le régime caloduc. Il en résulte une dilution moins forte des bouchons d'eau claire.

En résumé, le phénomène de chasse des bouchons formés durant la phase de vidange du primaire pour les tailles de brèches supérieures à $\varnothing 2$ est très favorable vis-à-vis des phénomènes de formation et d'accumulation de bouchons. La taille de brèche pénalisante vis-à-vis de la formation, accumulation et dilution des bouchons est donc $\varnothing 1,2$. Seule cette taille de brèche est présentée dans l'analyse qui suit pour chacun des 3 scénarios.

□

5.5.2.3.1. Scénario 1

Le spectre de brèche s'étend de $\varnothing 1$ □ à $\varnothing 3$ □, avec une brèche pénalisante $\varnothing 1,2$ □. La durée du régime caloduc varie entre 748 s pour $\varnothing 1$ et 6766 s pour $\varnothing 3$.

Brèche pénalisante $\varnothing 1,2$

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.5](#).

La circulation naturelle s'interrompt en premier dans la boucle 3 à 1169 s pour ne reprendre durablement dans la dernière boucle (boucle 2) qu'à 8600 s. Le régime caloduc dure 5580 s (boucle 3 correspondant à la 1ère RDI), durée pendant laquelle la vapeur se condense dans les tubes GV comme le montre l'intégrale de l'écart de débit vapeur entre le sommet et la sortie des tubes GV en figure [FIG-15.2.3e1.35](#).

5.5.2.3.2. Scénario 2

Le spectre de brèche s'étend de $\varnothing 1$ □ à $\varnothing 3$ □, avec une brèche pénalisante $\varnothing 1,2$ □. La durée du régime caloduc varie entre 952 s pour $\varnothing 1$ et 6535 s pour $\varnothing 3$.

La différence avec le scénario 1 porte sur le critère de défaillance unique qui s'applique ici à un train RBS. Les débits RBS sont par conséquent nuls dans les boucles 1 et 2 comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.86](#). De plus, on considère que le débit fourni par le train RBS disponible est injecté dans la boucle 3 et la boucle rompue.

Brèche pénalisante Ø1,2

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.7](#).

La circulation naturelle s'interrompt en premier dans la boucle 3 à 1275 s pour ne reprendre durablement dans la dernière boucle (boucle 2) qu'à 8628 s. Le régime caloduc dure 3431 s (boucle R correspondant à la 1ère RDI), durée pendant laquelle la vapeur se condense dans les tubes GV comme le montre l'intégrale de l'écart de débit vapeur entre le sommet et la sortie des tubes GV en figure [FIG-15.2.3e1.52](#).

En ce qui concerne le risque de retour en criticité du cœur, la concentration en bore naturel minimale dans l'espace annulaire à l'instant d'arrivée du 1er bouchon dans l'espace annulaire est bien plus faible dans le cas du scénario 2 [\[1\]](#). En revanche, dans le cas du scénario 1, la concentration en bore critique est plus faible du fait de l'aggravant sur la grappe bloquée. Les effets antagonistes de ces deux paramètres sont étudiés et quantifiés dans l'analyse thermohydraulique locale.

Notons que la pression minimale et la température maximale dans l'espace annulaire à l'instant d'arrivée du 1er bouchon dans l'espace annulaire sont plus élevées [\[1\]](#).

5.5.2.3.3. Scénario 3

Le critère de défaillance unique porte sur la perte d'un diesel (perte d'un train IS (ISMP + ISBP) dans la boucle 1 et d'un train RBS dans les boucles 1 et 2). La maintenance préventive porte sur la perte d'un diesel (perte d'un train IS (ISMP + ISBP) dans la boucle 3). L'indisponibilité de deux trains ASG n'est pas prise en compte, comme justifié au [§ 5.5.1.2](#). Les débits IS ne sont donc effectifs que dans les boucles 2 et R comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.101](#). De ce fait, le spectre de brèche s'étend de Ø1 [\[1\]](#) à Ø3 [\[1\]](#), avec une brèche pénalisante Ø1,2 [\[1\]](#).

Brèche pénalisante Ø1,2

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.9](#).

La circulation naturelle s'interrompt en premier dans la boucle 1 à 1413 s pour ne reprendre durablement dans la dernière boucle (boucle 2) qu'à 8356 s. Le régime caloduc dure 2021 s (boucle 3 correspondant à la 1ère RDI), durée pendant laquelle la vapeur se condense dans les tubes GV comme le montre l'intégrale de l'écart de débit vapeur entre le sommet et la sortie des tubes GV en figure [FIG-15.2.3e1.67](#).

En ce qui concerne le risque de retour en criticité du cœur, le scénario 3 est un peu plus pénalisant que le scénario 2 puisque la concentration en bore naturel minimale dans l'espace annulaire à l'instant d'arrivée du 1er bouchon dans l'espace annulaire est plus faible [\[1\]](#).

Notons que la pression minimale et la température maximale dans l'espace annulaire à l'instant d'arrivée du 1er bouchon dans l'espace annulaire sont plus élevées [\[1\]](#).

5.5.2.3.4. Conclusion intermédiaire

Pour chacun des trois scénarios étudiés, la taille de brèche pénalisante vis-à-vis du phénomène de dilution et des caractéristiques du circuit primaire à l'instant de la RDI a été identifiée. Ces trois scénarios fournissent les données d'entrée pour l'analyse thermohydraulique locale ([§ 5.7](#)).

5.6. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

5.6.1. Description de l'impact de l'état final de conception

Les modifications qui ont été introduites dans le jeu de données entre son état intermédiaire (Annexe 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15.1) sont les suivantes :

- démarrage automatique du RBS sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p). Les hypothèses associées sont les suivantes :
 - seuil Min4p [\[1\]](#),

- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal^[1],
 - délai de démarrage des pompes RBS : délai maximal d'obtention du plein débit^[1] après le signal avec maintien de l'alimentation électrique externe et^[1] après le signal si cumul de la perte de l'alimentation électrique externe.
- isolement automatique du RBS sur signal « Haut Niveau GV Gamme Etroite » (Max3p) et sur signal « Haut Niveau Pressuriseur » (Max1p).
- Les hypothèses pour l'isolement des trains RBS sur signal « Haut Niveau GV » sont les suivantes :
 - seuil Max3p^[1]. L'incertitude est ici retranchée à la valeur mesurée afin d'anticiper l'isolement des trains RBS, ce qui est pénalisant,
 - temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal^[1],
 - Les hypothèses pour l'isolement des trains RBS sur signal « Haut Niveau Pressuriseur » sont les suivantes :
 - seuil Max1p^[1] (incertitude en conditions dégradées). L'incertitude est ici retranchée à la valeur mesurée afin d'anticiper l'isolement des trains RBS ce qui est pénalisant,
 - temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal^[1],
- modification du seuil de consigne de régulation du niveau GV par l'ASG^[1],
- modification du seuil d'isolement (Max1p) de l'ASG^[1],
- ajout d'une temporisation^[1] sur le démarrage de l'ASG sur signal IS + MDTE,
- mise à jour des débits RIS,
- ajout d'un déséquilibre dans l'injection du RBS. La différence de pression qui peut exister entre deux boucles cause une dissymétrie dans l'injection du RBS. Un déséquilibre^[1] est ici considéré pour le train RBS qui alimente la boucle rompue. La majeure partie du débit est injectée dans la boucle rompue.
- ajout de la fuite aux joints sur les GMPP. Pour chacune des boucles, la fuite aux joints a été mise en place dans la partie verticale de la branche en U, juste avant la pompe primaire.^[1]

5.6.2. Analyse système

Lors de la reprise de cette étude, seules les tailles de brèche Ø1, Ø1,2 et Ø2 ont été reprises en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15 1). L'étude menée avec le jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B) a montré que les tailles de brèches Ø2,3 et Ø3 n'étaient pas pénalisantes vis-à-vis de la dilution inhérente. Lors de la reprise de l'étude, les modifications apportées au jeu d'hypothèses n'ont pas montré d'impact important sur la physique de l'incident et sur les tailles de brèche caractéristiques. L'observation faite avec le jeu de données intermédiaire reste donc valide, ce qui a conduit à la reprise de l'étude uniquement pour la taille de brèche pénalisante Ø1,2 et les deux tailles qui l'entourent, à savoir Ø1 et Ø2.

Pour rappel, les caractéristiques des trois tailles de brèche reprises dans cette étude sont les suivantes :



- 1) Ø1 : taille de brèche minimale permettant la vidange du primaire sous le faisceau tubulaire,
- 2) Ø2 : taille de brèche (>Ø1) permettant d'éviter la vidange des branches en U et la chasse des bouchons,
- 3) Ø1,2 : taille de brèche comprise entre Ø1 et Ø2 pénalisante vis-à-vis de la dilution. Cette taille de brèche est déterminée en effectuant un spectre de brèche entre Ø1 et Ø2 (avec un pas de 1 cm²).

5.6.3. Résultats de l'analyse système

5.6.3.1. Paramètres utiles à l'analyse des calculs système

Les paramètres utiles à l'analyse des calculs système restent ici identiques à ceux présentés dans le § [5.5.2.1.](#)

5.6.3.2. Analyse détaillée de la brèche pénalisante Ø1,2 du scénario 3

Les résultats détaillés présentés ci-dessous sont ceux de la brèche pénalisante Ø1,2  pour le scénario 3. D'un point de vue thermohydraulique, le déroulement de l'incident est similaire pour la brèche pénalisante de chacun des trois scénarios. Seule la cinétique de l'incident est différente sans modifier la séquence des événements et les phénomènes physiques. Par conséquent, seule l'analyse détaillée de la brèche pénalisante (Ø1,2 ) du scénario 3 est présentée. Cette taille de brèche est pénalisante vis-à-vis du phénomène de dilution pendant la phase caloduc et des caractéristiques du circuit primaire lors de la reprise des débits intermittents.

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.16](#).



Après ouverture de la brèche, la pression décroît rapidement et le signal d'AAR est émis à 177 s, après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p).

Le déclenchement de la turbine qui suit a pour effet d'augmenter la pression secondaire jusqu'au seuil d'ouverture des VDA.

L'évolution des pressions primaire et secondaire est présentée en figure [FIG-15.2.3e1.103](#).

Le débit à la brèche se fait majoritairement sous forme liquide tout au long de l'incident comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.102](#).

Après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p), le RBS démarre automatiquement. Dans le cas présent (scénario 3), une seule pompe RBS est disponible et alimente les boucles 3 et R (respectivement boucle du pressuriseur et boucle rompue). Le débit de la pompe RBS est effectif à 253 s.

Le signal IS est émis , après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p). Il provoque le démarrage des trains d'IS ainsi que le début du refroidissement partiel . Le MDTE, supposé se produire à l'instant où le signal IS est émis, provoque l'arrêt des GMPP ainsi que celui du train RBS en service.


L'arrêt des GMPP annule la circulation forcée, ce qui conduit à une augmentation du ΔT entre l'entrée et la sortie du cœur, et favorise la production de vapeur (voir figure [FIG-15.2.3e1.104](#)), initiant ainsi une phase de circulation en régime thermosiphon diphasique.

Après le MDTE, le train RBS disponible redémarre grâce aux diesels de secours. Le débit du train est à nouveau effectif après 319 s.

Le refroidissement automatique par les VDA permet de dépressuriser le primaire jusqu'à l'atteinte des conditions d'injection des pompes ISMP, à 537 s. La figure [FIG-15.2.3e1.105](#) montre l'évolution des débits ISMP. Dans le cas présent (scénario 3), seules les boucles 2 et R sont alimentées par l'IS. La pression se stabilise légèrement au-dessus de la pression secondaire comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.103](#).

La circulation naturelle s'interrompt en premier dans la boucle 3 à 846 s.

S'ensuit alors une période de débits intermittents dont les temps de début et de fin sont propres à chaque boucle.

L'ASG est démarré sur la concomitance du MDTE avec le signal IS et après une temporisation . Son plein débit est atteint à 1228 s.

L'opérateur intervient 30 minutes après l'AAR, à 1977 s. La marge à la saturation étant nulle, il effectue un refroidissement □ à -50 °C/h en réglant la pression de consigne des VDA. La pression secondaire décroît alors progressivement. Dans un premier temps, la pression primaire se découple de la pression secondaire lorsque les générateurs de vapeur deviennent sous-saturés, cette sous-saturation secondaire étant due aux forts débits ASG injectés à faible température. Puis, la dépressurisation du primaire suit de nouveau celle du secondaire lorsque le secondaire est de nouveau à saturation. Les accumulateurs sont sollicités à 2878 s. Les débits des accumulateurs et du RBS sont présentés en figure [FIG-15.2.3e1.106](#).

La phase de débits liquides intermittents s'interrompt successivement dans les différentes boucles, initiant le régime caloduc (voir figure [FIG-15.2.3e1.104](#)). En particulier, cette interruption intervient à 4249 s dans la boucle 2.

Les débits intermittents reprennent dans les 4 boucles lors du remplissage du circuit primaire, vers 6800 s pour la boucle 1 et après 8000 s pour les autres boucles.

La pression primaire continue de décroître et l'atteinte du seuil d'isolement des accumulateurs □ est atteint à 5925 s.

La pression d'injection des pompes ISBP est atteinte à 7139 s. L'injection supplémentaire de l'ISBP contribue au remplissage du circuit primaire et conduit à retrouver une marge à la saturation ΔT_{sat} positive.

La hausse du niveau des GV conduit à un isolement du train RBS² à 8025s. A noter que pour le scénario 1, la marge à la saturation ΔT_{sat} redevient positive avant que le seuil « Haut Niveau GV » ne soit atteint et c'est donc l'opérateur qui arrête le RBS dans ce scénario.

La concentration en bore du primaire étant supérieure à la concentration en bore d'arrêt à froid, le refroidissement □ continue de se dérouler avec un gradient de -50 °C/h quelle que soit la valeur de la marge à la saturation.

La circulation naturelle repart définitivement dans les 4 boucles à 8807 s.

5.6.3.3. Analyse des spectres de brèche pour les différents scénarios

Les tableaux [TAB-15.2.3e1.13](#), [TAB-15.2.3e1.15](#) et [TAB-15.2.3e1.17](#) donnent les différents instants (FCN, FDI, RDI, RCN) respectivement pour les scénarios 1, 2 et 3. Pour chacun des 3 scénarios, ces instants sont déterminés pour tout le spectre de brèche de Ø1 à Ø2 et pour toutes les boucles. Ces tableaux donnent également les paramètres présentés au [§ 5.6.3.1](#), permettant d'apprécier :

- la formation de condensats par le calcul de l'intégrale de débit vapeur entre le sommet des tubes GV et la pompe primaire,
- l'accumulation de ces condensats par le calcul de l'intégrale des débits liquides en sens direct au niveau de la pompe primaire,
- le mélange de ces bouchons d'eau claire par le calcul de l'intégrale des débits liquides en sens inverse au niveau de la pompe primaire.

Les observations présentées au [§ 5.5.2.3](#), dans le cadre de l'étude réalisée avec le jeu d'hypothèses intermédiaire restent valides.

La taille de brèche pénalisante vis-à-vis de la formation, accumulation et dilution des bouchons reste donc Ø1,2. A noter que la valeur de la taille de brèche pénalisante a changé lors de la mise en cohérence avec l'état final de conception. Seule cette taille de brèche est présentée dans l'analyse qui suit pour chacun des 3 scénarios.

□

2. □

5.6.3.3.1. Scénario 1

Dans ce scénario, la défaillance unique considérée est un blocage hors du cœur de la grappe la plus antiréactive. La maintenance préventive envisagée concerne une des pompes RRI. Ceci conduit à l'indisponibilité du train IS (ISMP et ISBP) dans la boucle 1. Les débits IS sont par conséquent nuls dans cette boucle comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.73](#).

Le spectre de brèche s'étend de Ø1[] à Ø3[], avec une brèche pénalisante Ø1,2[]. La durée du régime caloduc varie entre 883 s pour Ø1 et 6766 s pour Ø3.

Brèche pénalisante Ø1,2

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.12](#).

La circulation naturelle s'interrompt en premier dans la boucle 3 à 773 s pour ne reprendre durablement dans la dernière boucle (boucle R) qu'à 8952 s. Le régime caloduc dure 4792 s (boucle 3 correspondant à la 1ère RDI), durée pendant laquelle la vapeur se condense dans les tubes GV comme le montre l'intégrale de l'écart de débit vapeur entre le sommet et la sortie des tubes GV en figure [FIG-15.2.3e1.83](#).

Le tableau [TAB-15.2.3e1.18](#) présente les caractéristiques de l'espace annulaire à l'instant d'arrivée du 1er bouchon dans l'espace annulaire suite à la 1ère RDI.

5.6.3.3.2. Scénario 2

Le spectre de brèche s'étend de Ø1[] à Ø3[], avec une brèche pénalisante Ø1,2[]. La durée du régime caloduc varie entre 756 s pour Ø1 et 6535 s pour Ø3.

La différence avec le scénario 1 porte sur le critère de défaillance unique qui s'applique ici à un train RBS. Les débits RBS sont par conséquent nuls dans les boucles 1 et 2 comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.90](#). De plus, on considère que le débit fourni par le train RBS disponible est injecté dans la boucle 3 et la boucle rompue.

Brèche pénalisante Ø1,2

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.14](#).

La circulation naturelle s'interrompt en premier dans la boucle 3 à 760 s pour ne reprendre durablement dans la dernière boucle (boucle R) qu'à 8851 s. Le régime caloduc dure 4950 s (boucle 3 correspondant à la 1ère RDI), durée pendant laquelle la vapeur se condense dans les tubes GV comme le montre l'intégrale de l'écart de débit vapeur entre le sommet et la sortie des tubes GV en figure [FIG-15.2.3e1.100](#).

En ce qui concerne le risque de retour en criticité du cœur, la concentration en bore naturel minimale dans l'espace annulaire à l'instant d'arrivée du 1er bouchon dans l'espace annulaire est bien plus faible dans le cas du scénario 2[]. En revanche, dans le cas du scénario 1, la concentration en bore critique est plus élevée du fait de l'aggravant sur la grappe bloquée. Les effets antagonistes de ces deux paramètres sont étudiés et quantifiés dans l'analyse thermohydraulique locale.

Notons que la pression minimale et la température maximale dans l'espace annulaire à l'instant d'arrivée du 1er bouchon dans l'espace annulaire sont très proches dans les deux scénarios[].

5.6.3.3.3. Scénario 3

Le critère de défaillance unique porte sur la perte d'un diesel (perte d'un train IS (ISMP + ISBP) dans la boucle 1 et d'un train RBS dans les boucles 1 et 2). La maintenance préventive porte sur la perte d'un diesel (perte d'un train IS (ISMP + ISBP) dans la boucle 3). L'indisponibilité de deux trains ASG n'est pas prise en compte, comme justifié au [§ 5.5.1.2](#). Les débits IS ne sont donc effectifs que dans les boucles 2 et R comme le montre la figure [FIG-15.2.3e1.90](#). De ce fait, le spectre de brèche s'étend de Ø1[] à Ø3[], avec une brèche pénalisante Ø1,2[].

Brèche pénalisante Ø1,2

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.16](#).

La circulation naturelle s'interrompt en premier dans la boucle 3 à 846 s pour ne reprendre durablement dans la dernière boucle (boucle 2) qu'à 8807 s. Le régime caloduc dure 3606 s (boucle 1 correspondant à la 1ère RDI), durée pendant laquelle la vapeur se condense dans les tubes GV comme le montre l'intégrale de l'écart de débit vapeur entre le sommet et la sortie des tubes GV en figure [FIG-15.2.3e1.115](#).

En ce qui concerne le risque de retour en criticité du cœur, le scénario 3 présente une concentration en bore minimale dans l'espace annulaire plus favorable, car plus élevée, que le scénario 2.

Notons que la pression minimale et la température maximale dans l'espace annulaire à l'instant d'arrivée du 1er bouchon dans l'espace annulaire sont plus élevées.

5.6.3.3.4. Conclusion

Cette analyse système a permis d'identifier la taille de brèche pénalisante Ø1,2 vis-à-vis du phénomène de dilution pour chacun des trois scénarios étudiés. La séquence des évènements ainsi que les données d'entrée pour l'analyse thermohydraulique locale ont également été déterminées.

5.7. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE LOCALE ET ANALYSE NEUTRONIQUE

5.7.1. Hypothèses d'étude

5.7.1.1. Présentation des différents cas

Cas 1

La configuration d'injection du cas 1 est extraite du scénario 1 de l'analyse système supposant l'aggravant sur la grappe la plus antiréactive supposée bloquée hors du cœur (voir [§ 5.5.1.2](#)). Ce scénario est pénalisant vis-à-vis de la Cb critique. Par hypothèse, l'intégralité des débits IS et RBS injectés dans la boucle rompue est considérée comme perdue à la brèche. La configuration d'injection est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.19](#).

La circulation naturelle reprend dans la seule boucle sans IS (boucle 1), selon la courbe de débit obtenue par extrapolation du débit de reprise de la circulation naturelle dans la boucle 4 de l'essai (voir [§ 5.7.1.3](#) et figure [FIG-15.2.3e1.118](#)).

Cas 2

La configuration d'injection du cas 2 est extraite du scénario 2 de l'analyse système supposant l'aggravant sur un train RBS supposé hors service et la maintenance préventive sur une pompe RRI supposée en maintenance, ce qui conduit à l'indisponibilité d'un train IS (ISMP et ISBP) sur une autre boucle que la boucle rompue (voir [§ 5.5.1.2](#)). Ce scénario est pénalisant vis-à-vis de la Cb de l'espace annulaire à l'instant de la reprise de la circulation naturelle. Par hypothèse, l'intégralité des débits IS et RBS injectés dans la boucle rompue est considérée comme perdue à la brèche. La configuration d'injection est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.20](#).

La circulation naturelle reprend dans la seule boucle sans IS ni RBS (boucle 1), selon la courbe de débit obtenue par extrapolation du débit de reprise de la circulation naturelle dans la boucle 4 de l'essai (voir [§ 5.7.1.3](#) et figure [FIG-15.2.3e1.118](#)).

Cas 3

La configuration d'injection du cas 3 est extraite du scénario 3 de l'analyse système supposant l'aggravant et la maintenance préventive sur deux diesels (voir [§ 5.5.1.2](#)) car ce scénario est pénalisant vis-à-vis de la Cb de l'espace annulaire à l'instant précédant la RDI. Par hypothèse, l'intégralité des débits IS et RBS injectés dans la boucle rompue est considérée comme perdue à la brèche. La configuration d'injection est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3e1.21](#).

La circulation naturelle reprend dans la seule boucle sans IS ni RBS (boucle 1), selon la courbe de débit obtenue par extrapolation du débit de reprise de la circulation naturelle dans la boucle 4 de l'essai [1](#) (voir [§ 5.7.1.3.](#) et figure [FIG-15.2.3e1.118](#)).

5.7.1.2. Paramètres extraits de l'analyse système

Les valeurs des paramètres suivants sont extraites des différents scénarios pénalisants de l'analyse système :

- la concentration en bore du fluide primaire dans l'espace annulaire et la cuve,
- la pression primaire,
- la température du fluide primaire dans l'espace annulaire et la cuve.

Les valeurs de ces paramètres sont extraites des calculs en cohérence avec l'état final de conception décrits au [§ 5.6.](#) et sont fournies dans le tableau [TAB-15.2.3e1.18](#).

À partir de la pression primaire extraite de l'analyse système, sont déduits la température d'envoi du bouchon qui est égale à la température de saturation du primaire et les débits d'IS.

5.7.1.3. Paramètres extraits de l'analyse des essais [1](#)

5.7.1.3.1. Description générale des essais [1](#)

La boucle d'essai [1](#) représente un réacteur à eau pressurisée quatre boucles [1](#).

5.7.1.3.2. Paramètres extrapolés à l'échelle réacteur

Les conclusions relatives au volume du bouchon, à la cinétique du débit de reprise de la circulation naturelle dans la 1ère boucle et la non-simultanéité de reprise de la circulation naturelle sont transposées à partir des résultats des essais [1](#).

Volume du bouchon

D'après les résultats des essais [1](#), le bouchon d'eau claire s'accumule uniquement dans la boîte à eau de sortie du GV et dans la branche en U [1](#).

Facteur d'échelle

L'essai [1](#) est représentatif d'une cinétique rapide de remplissage du primaire sous l'effet de deux pompes ISBP tandis que l'essai [2](#) est représentatif d'une cinétique plus lente de remplissage du primaire sous l'effet d'une pompe ISMP. Afin de couvrir l'ensemble des scénarios étudiés et le spectre de brèche complet de chacun des scénarios, le débit de RCN est transposé de l'essai [1](#). En effet, l'essai [2](#) présente une cinétique de montée vers le pic de débit de RCN plus rapide que l'essai [1](#). Par conséquent, le débit de RCN est plus important sur la durée de transport du bouchon jusque dans le cœur (minimum de C_b atteint moins de 150 s après le début de la phase de transport du bouchon). Cette hypothèse est cohérente avec la maximisation du facteur de transposition du débit de RCN [1](#).

Afin d'appliquer la cinétique des débits de reprise de la circulation naturelle issue de l'essai [1](#) au réacteur EPR, il est nécessaire de déterminer le facteur d'échelle à appliquer aux débits [1](#) pour la transposition aux applications réacteurs [1](#).

Il est important de noter que le débit [1](#) transposé à l'échelle EPR correspond au débit de reprise de la circulation naturelle durable qui se traduit par l'envoi complet et direct du bouchon dans la cuve tandis que toutes les autres hypothèses, en particulier la masse et la C_b du bouchon, sont prises avant la phase de débits oscillants favorables à une désintégration et un mélange du bouchon avant son transport dans la cuve. Ce découplage constitue une importante source de conservatisme.

La cinétique d'envoi d'un bouchon correspond à la cinétique lissée du débit de reprise dans la boucle 4 de l'installation [1](#) transposée à l'échelle réacteur (figure [FIG-15.2.3e1.118](#)).

Non simultan  t   de reprise de la circulation naturelle

L'analyse des essais [1] a conclu à la non simultan  t   de reprise de la circulation naturelle même avec des configurations d'injection symétriques [2]. Cette conclusion est transpos  e à l'échelle EPR.

5.7.1.4. Concentration en bore critique

La concentration en bore critique est d  termin  e pour le cycle A4 en début de vie Xénon [3] mais avec l'hypothèse de découplage de Xénon nul et prend en compte une pénalité [4]. Elle est   valu  e à la température en entrée cœur de l'assemblage où le minimum de concentration en bore est atteint.

5.7.1.5. Description du modèle CFD et du maillage

Géométrie du domaine maillé

La géométrie du domaine représente la cuve du réacteur EPR et comprend les éléments suivants :

- les quatre branches froides coup  es en amont du piquage d'IS, les quatre piquages d'IS étant représentés,
- l'espace annulaire,
- le fond de cuve et le dispositif mélangeur,
- la plaque inférieure de cœur, représentée par différents milieux poreux.

La figure [FIG-15.2.3e1.119](#) présente le domaine maillé pour l'analyse thermohydraulique locale.

[1]

5.7.1.6. Conditions initiales

Les vitesses sont nulles sur l'ensemble du domaine.

La température et la concentration en bore de l'espace annulaire à l'instant d'envoi du bouchon sont pr  sent  es dans le tableau [TAB-15.2.3e1.18](#).

Les grandeurs li  es à la turbulence [5] sont initialis  es aux valeurs usuelles pour un écoulement en turbulence établie :

- intensité turbulente [6],
- longueur turbulente [7].

5.7.1.7. Conditions aux limites

Pour chacun des trois cas, les conditions aux limites sont r  sum  es dans les tableaux [TAB-15.2.3e1.19](#)    [TAB-15.2.3e1.21](#).

• Cas 1

Conditions aux limites d'entrée en bout de branche froide en amont du piquage IS

Pour les conditions aux limites des boucles 2, 3 et 4, un débit nul est imposé. Pour la boucle 1, le débit de RCN est imposé.

La température d'envoi du bouchon est égale à la température de saturation de la pression primaire (tableau [TAB-15.2.3e1.18](#)) [8].

[9] Après l'envoi du bouchon, elle est consid  r  e égale à la concentration en bore de l'espace annulaire à l'instant de la RCN [10].

Conditions aux limites d'entrée dans les piquages IS

Le débit des accumulateurs n'est pas pris en compte dans l'analyse thermohydraulique locale, ce qui est pénalisant au regard du mélange entre le bouchon d'eau claire et l'eau injectée. Le débit d'IS est supposé constant tout au long de l'envoi du bouchon. Il est déterminé à la pression primaire extraite des calculs de l'analyse système (voir tableau [TAB-15.2.3e1.18](#)). Le débit RBS est constant tout au long du calcul.[]

[]

[] Dans les boucles où l'IS et le RBS injectent simultanément, le débit pris en compte dans le piquage RIS est égal à la somme des débits IS et RBS et la concentration en bore est égale à la moyenne des concentrations en bore de l'IS et du RBS pondérées par les débits IS et RBS.

Condition aux limites de sortie située sur la face supérieure du cœur modélisé

La condition aux limites de sortie est imposée sur la face supérieure de la partie du cœur modélisée. C'est une sortie libre c'est-à-dire que les gradients de toutes les variables sont considérés comme nuls dans le sens de l'écoulement sur la condition aux limites.

• Cas 2Conditions aux limites d'entrée en bout de branche froide en amont du piquage IS

Pour les conditions aux limites des boucles 2, 3 et 4, un débit nul est imposé. Pour la boucle 1, le débit de RCN est imposé.

La température d'envoi du bouchon est égale à la température de saturation de la pression primaire (tableau [TAB-15.2.3e1.18](#))[].

[] Après l'envoi du bouchon, elle est considérée égale à la concentration en bore de l'espace annulaire à l'instant de la RCN[].

Conditions aux limites d'entrée dans les piquages IS

Le débit des accumulateurs n'est pas pris en compte dans l'analyse thermohydraulique locale, ce qui est pénalisant au regard du mélange entre le bouchon d'eau claire et l'eau injectée.

Le débit d'IS est supposé constant tout au long de l'envoi du bouchon. Il est déterminé à la pression primaire extraite des calculs de l'analyse système (voir tableau [TAB-15.2.3e1.18](#)).

Le débit RBS est constant tout au long du calcul.[]

[]

[] Dans les boucles où l'IS et le RBS injectent simultanément, le débit pris en compte dans le piquage RIS est égal à la somme des débits IS et RBS et la concentration en bore est égale à la moyenne des concentrations en bore de l'IS et du RBS pondérées par les débits IS et RBS.

Condition aux limites de sortie située sur la face supérieure du cœur modélisé

La condition aux limites de sortie est imposée sur la face supérieure de la partie du cœur modélisée. C'est une sortie libre c'est-à-dire que les gradients de toutes les variables sont considérés comme nuls dans le sens de l'écoulement sur la condition aux limites.

• Cas 3Conditions aux limites d'entrée en bout de branche froide en amont du piquage IS

Pour les conditions aux limites des boucles 2, 3 et 4, un débit nul est imposé. Pour la boucle 1, le débit de RCN est imposé.

La température d'envoi du bouchon est égale à la température de saturation de la pression primaire (tableau [TAB-15.2.3e1.18](#)).

Après l'envoi du bouchon, elle est considérée égale à la concentration en bore de l'espace annulaire à l'instant de la RCN.

Conditions aux limites d'entrée dans les piquages IS

Le débit des accumulateurs n'est pas pris en compte dans l'analyse thermohydraulique locale, ce qui est pénalisant au regard du mélange entre le bouchon d'eau claire et l'eau injectée.

Le débit d'IS est supposé constant tout au long de l'envoi du bouchon. Il est déterminé à la pression primaire extraite des calculs de l'analyse système (voir tableau [TAB-15.2.3e1.18](#)).

Le débit RBS est constant tout au long du calcul.

Condition aux limites de sortie située sur la face supérieure du cœur modélisé

La condition aux limites de sortie est imposée sur la face supérieure de la partie du cœur modélisée. C'est une sortie libre c'est-à-dire que les gradients de toutes les variables sont considérés comme nuls dans le sens de l'écoulement sur la condition aux limites.

5.7.2. Résultats de l'analyse thermohydraulique locale

5.7.2.1. Cas 1

Les figures [FIG-15.2.3e1.123](#) et [FIG-15.2.3e1.124](#) présentent respectivement, la répartition de la concentration en bore et de la température dans l'espace annulaire à différents instants.

Le bouchon d'eau claire pénètre dans la cuve après le début de la RCN. Le bouchon, chaud et donc moins dense que l'eau initialement présente dans l'espace annulaire, s'accumule dans les parties hautes de l'espace annulaire et dans les branches froides. Lorsque l'eau faiblement borée atteint le niveau de la génératrice inférieure des branches froides 2 et 3, elle est entraînée vers le fond de la cuve par l'IS dont la température d'injection est plus faible. Cette eau fortement borée également à la température de saturation s'accumule en haut de l'espace annulaire, poussant ainsi l'eau faiblement borée vers le bas. Cette descente est favorisée localement par l'IS et de manière générale par le mélange qui a lieu avec l'eau initialement dans la cuve. A plus long terme, ce mélange conduit également à une homogénéisation de la concentration en bore et de la température de l'espace annulaire.

Les répartitions de température et de concentration en bore en entrée cœur sont données sur la figure [FIG-15.2.3e1.125](#). Elles sont données à l'instant d'atteinte du minimum de la concentration en bore par assemblage. Ces répartitions montrent que la concentration en bore dans la zone centrale du cœur reste proche de la concentration en bore du circuit primaire à l'instant de la RCN. En périphérie apparaissent des zones plus restreintes où la concentration en bore est plus faible et la température plus élevée correspondant au passage du bouchon d'eau claire fragmenté et partiellement mélangé. En effet, le bouchon d'eau claire se mélange peu avec l'eau plus froide présente dans le plenum inférieur et remonte par effet de densité préférentiellement en périphérie du cœur.

La figure [FIG-15.2.3e1.126](#) présente l'évolution temporelle du minimum atteint par la concentration en bore par assemblage et l'évolution de la concentration en bore moyenne en entrée cœur. Pendant les premières secondes qui suivent la RCN, la concentration en bore est stable car le bouchon n'a pas encore atteint le cœur. Lors du passage du bouchon dans le cœur, la concentration en bore par assemblage minimale diminue et atteint son minimum après le début de la RCN. Ce minimum est supérieur à la concentration en bore critique. Le phénomène de dilution inhérente ne conduit pas à

un retour en criticité. La concentration en bore moyenne en entrée cœur présente la même évolution mais reste très supérieure à la concentration en bore par assemblage minimale du fait des fortes hétérogénéités décrites précédemment.

5.7.2.2. Cas 2

Les répartitions de la concentration en bore et de la température dans l'espace annulaire à différents instants sont présentées respectivement sur les figures [FIG-15.2.3e1.127](#) et [FIG-15.2.3e1.128](#).

Le bouchon d'eau claire issu de la branche froide 1 s'accumule par effet de densité dans les parties hautes de l'espace annulaire où la température s'élève ainsi que dans les branches froides. Le bouchon est entraîné vers le fond de la cuve lorsque qu'il atteint le niveau de la génératrice inférieure des branches froides 2 et 3 où l'IS injecte à une température plus faible. Après l'envoi du bouchon, Cette eau fortement borée également à la température de saturation s'accumule en haut de l'espace annulaire, poussant ainsi l'eau faiblement borée vers le bas.

Les répartitions de température et de concentration en bore en entrée cœur à l'instant d'atteinte du minimum de la concentration en bore par assemblage minimale sont présentées sur la figure [FIG-15.2.3e1.129](#). Les zones de faible concentration en bore et de température élevée sont peu étendues et principalement localisée en périphérie du cœur.

La figure [FIG-15.2.3e1.130](#) présente l'évolution temporelle du minimum atteint par la concentration en bore par assemblage et l'évolution de la concentration en bore moyenne en entrée cœur. Comme pour le cas 1, durant les premières secondes qui suivent le début de la RCN, la concentration en bore en entrée cœur reste inchangée car le bouchon n'a pas encore été transporté de la branche froide jusqu'au cœur. La concentration en bore par assemblage minimale diminue lors du passage du bouchon sur une durée plus longue que celle du cas 1. Le minimum est alors atteint après la RCN. Cette valeur est supérieure à la concentration en bore critique, ainsi le phénomène de dilution hétérogène inhérente ne conduit pas à un retour en criticité. La concentration en bore moyenne en entrée cœur reste très supérieure à la concentration en bore minimale du fait des fortes hétérogénéités décrites précédemment.

5.7.2.3. Cas 3

Les répartitions de la concentration en bore et de la température dans l'espace annulaire à différents instants sont présentées respectivement sur les figures [FIG-15.2.3e1.131](#) et [FIG-15.2.3e1.132](#).

Le bouchon d'eau claire issu de la branche froide 1 s'accumule par effet de densité dans les parties hautes de l'espace annulaire où la température s'élève ainsi que dans les branches froides. Le bouchon est entraîné vers le fond de la cuve lorsque qu'il atteint le niveau de la génératrice inférieure de la branche froide 2 où l'IS injecte à une température plus faible. Cette eau fortement borée également à la température de saturation s'accumule en haut de l'espace annulaire, poussant ainsi l'eau faiblement borée vers le bas.

Les répartitions de température et de concentration en bore en entrée cœur à l'instant d'atteinte du minimum de la concentration en bore par assemblage minimale sont présentées sur la figure [FIG-15.2.3e1.133](#). Les zones de faible concentration en bore et de température élevée sont peu étendues et principalement localisée en périphérie du cœur.

La figure [FIG-15.2.3e1.134](#) présente l'évolution temporelle du minimum atteint par la concentration en bore par assemblage et l'évolution de la concentration en bore moyenne en entrée cœur. La concentration en bore par assemblage minimale diminue lors du passage du bouchon sur une durée plus longue que celle du cas1. Le minimum est alors atteint 121 s après la RCN. Cette valeur est supérieure à la concentration en bore critique, ainsi le phénomène de dilution hétérogène inhérente ne conduit pas à un retour en criticité. La concentration en bore moyenne en entrée cœur reste très supérieure à la concentration en bore minimale du fait des fortes hétérogénéités décrites précédemment.

5.7.3. Conclusion

L'analyse thermohydraulique locale et neutronique montre que pour tous les scénarios considérés, le critère de non-retour en criticité est respecté.

Des calculs de sensibilité complémentaires par rapport aux cas présentés dans ce chapitre ont été par ailleurs réalisés (voir section 19.2.4).

6. CONCLUSION

La présente analyse démontre que, en cas de petite brèche primaire, l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) est respecté.

L'absence de dénoyage du cœur permet de démontrer que les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles (température et oxydation maximale des gaines de combustible - voir [§ 2.](#)) ainsi que celui sur la quantité maximale d'hydrogène générée sont respectés. L'ISMP assure le maintien d'un inventaire en eau stable. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Par ailleurs, la chute des grappes et l'apport de bore par l'ISMP permettent d'assurer la sous-criticité du cœur. Dans le même temps, la puissance résiduelle est évacuée par les GV via l'ASG et les VDA (voir [§ 3.8.](#)).

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation relatif à l'atteinte de l'état contrôlé présenté au [§ 2.](#) est donc respecté.

A plus long terme, pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, la capacité d'injection de bore par l'ISMP et le RBS permet d'assurer la sous-criticité du cœur (voir [§ 4.6.2.](#)) et le [§ 5.](#) démontre l'absence de risque de retour en criticité lié au phénomène de dilution hétérogène inhérente. La sous-criticité est donc assurée durablement.

L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée via les VDA et l'ASG jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA (voir [§ 4.6.1.](#)).

Enfin, puisque les dommages sur les assemblages combustibles sont limités, les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi la démonstration de l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) est effectuée. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 66/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] NTCTP-G/2008/en/0003 C – PKL III tests on heterogeneous boron dilution following SB-LOCA (Cold leg break/Cold leg SI) – Applicability to reactor scale

[2] NEPR-F DC 597 A – Démarche de calcul pour l'évaluation du risque de dilution hétérogène inhérente en APRP BI pour l'EPR FA3

[3] PEPR-F DC 88 C BPE – EPR – FA3 – Note de synthèse sur les études APRP BI et PB

[4] PEPR-F DC 86 D BPE – EPR – FA3 – Méthodologie de calcul de la température et de la Cb IRWST (APRP et RTV – chapitre 15)



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 67/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3E1.1 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
CONDITIONS INITIALES**

□

TAB-15.2.3E1.2 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS – ATTEINTE DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ

Temps (s)	Événement
0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
132,4	Signal d'AAR - Isolement total de l'ARE
□	Chute des grappes
□	Déclenchement de la turbine
153,7	Arrêt des chaufferettes
194,0	Signal IS – Début du refroidissement partiel
435,0	Début de l'injection des ISMP
606,8	Arrêt des pompes primaires sur signal IS et bas ΔP aux bornes des pompes
647,7	Fin du refroidissement partiel
1016 / 1017 / 1064 / 1143	Démarrage de ASG dans tous les GV
2676	Masse totale primaire minimale □
2704 / 2920 / 2925 / 2998	Arrêt de l'ASG vers tous les GV
4000	Fin du calcul

TAB-15.2.3E1.3 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Temps (s)	Événement
0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
133	Signal d'AAR : Isolement total de l'ARE
□	Chute des grappes
□	Déclenchement de la turbine
146	Ouverture des VDA
196	Signal IS : - Début du refroidissement partiel □(arrêt des pompes primaires)
477	Début d'injection de l'ISMP
649	Fin du refroidissement partiel
1080	Démarrage de l'ASG dans le GV 4
1151	Démarrage de l'ASG dans le GV 3
1933	Entrée dans la procédure post-accidentelle : - régulation □ des niveaux GV par l'ASG - validation du permissif P12 - mise en service d'un train RBS dans les boucles 3 et 4 - validation du permissif P15 - démarrage du refroidissement □ contrôlé à 25 °C/h par les GV 3 et 4 - GV 2 déclaré inutilisable
1938	Isolement des vannes d'isolement vapeur des 4 GV GV 1 déclaré inutilisable
4974	Début d'injection des accumulateurs
9594	Isolement □ des accumulateurs
12427	Début d'injection de l'ISBP
15276	Bâche RBS vide - Mise à l'arrêt du RBS

Temps (s)	Événement
18176	Température \square branches chaudes $< \square$ °C : <ul style="list-style-type: none">- ouverture des lignes à grand débit minimum de toutes les pompes ISMP- validation du permissif P14
20086	Fin du refroidissement \square avec les GV
28892	Marge à la saturation $\Delta T_{sat} > \square$ °C + ε : <ul style="list-style-type: none">- atteinte de toutes les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA- atteinte de l'état d'arrêt sûr
86533	24 heures après AAR – Fin du calcul



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 71/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3E1.4 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION
HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS INITIALES**

□

**TAB-15.2.3E1.5 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION
HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 1 – (BRÈCHE Ø1,2)**

Temps (s)	Événement
0	Ouverture de la brèche
131	Signal d'AAR : Isolement total de l'ARE
█	Chute des grappes
█	Déclenchement de la turbine
145	Ouverture des VDA
█	Signal IS : - Début du refroidissement partiel
215	Cumul MDTE – Arrêt GMPP
255	Démarrage ISMP/ISBP
270	Démarrage ASG
444	Début injection ISMP
671	Fin du refroidissement partiel
1169 (3)	Fin de circulation naturelle
1709 (3)	Fin des débits intermittents
1931	Intervention opérateur Début refroidissement █ à -50 °C/h
1977	Démarrage █ RBS
2088	Début injection accumulateurs
5818	Isolements accumulateurs
6868	Début injection ISBP
7289 (3)	Reprise des débits intermittents
7874	Arrêt RBS
7880 (2)	Arrêt pompes ISMP

**RAPPORT DE SURETE**

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 73/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Temps (s)	Événement
7880 (3) 7880 (R)	
8099 (R) 8107 (3) 8186 (1) 8418 (2)	Isolement ASG
8600 (2)	Reprise de la circulation naturelle
10000	Fin du calcul



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 74/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3E1.6 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION
HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – TEMPS
CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS
PENDANT LE RÉGIME CALODUC**

□

**TAB-15.2.3E1.7 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION
HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 2 – (BRÈCHE Ø1,2)**

Temps (s)	Événement
0	Ouverture de la brèche
140	Signal d'AAR : Isolement total de l'ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement de la turbine
154	Ouverture des VDA
□	Signal IS : - Début du refroidissement partiel
228	Cumul MDTE – Arrêt GMPP
268	Démarrage ISMP/ISBP
283	Démarrage ASG
462	Début injection ISMP
683	Fin du refroidissement partiel
1275 (3)	Fin de circulation naturelle
1940	Intervention □ Début refroidissement □ à -50 °C/h
1986	Démarrage □ RBS
2192	Début injection accumulateurs
3137 (R)	Fin des débits intermittents
5882	Isolements accumulateurs
6568 (R)	Reprise des débits intermittents
6959	Début injection ISBP
7659	Arrêt RBS
7665 (1)	Arrêt pompes ISMP



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 76/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Temps (s)	Événement
7665 (2) 7665 (R)	
8003 (3) 8160 (2) 8210(R)	Isolement ASG
8628 (1)	Reprise de la circulation naturelle
10000	Fin du calcul



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 77/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3E1.8 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION
HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – TEMPS
CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS
PENDANT LE RÉGIME CALODUC**

□

**TAB-15.2.3E1.9 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION
HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 3 – (BRÈCHE Ø1,2)**

Temps (s)	Événement
0	Ouverture de la brèche
198	Signal d'AAR : Isolement total de l'ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement de la turbine
211	Ouverture des VDA
□	Signal IS - Début du refroidissement partiel
296	Cumul MDTE – Arrêt GMPP
336	Démarrage ISMP/ISBP
351	Démarrage ASG
559	Début injection ISMP
751	Fin du refroidissement partiel
1413 (1)	Fin de circulation naturelle
1998	Intervention □ Début refroidissement □ à -50 °C/h
2044	Démarrage □ RBS
2605	Début injection accumulateurs
4354 (3)	Fin des débits intermittents
5972	Isolements accumulateurs
6375 (3)	Reprise des débits intermittents
7006	Début injection ISBP
8024 (1) 8097 (3)	Isolement ASG
8215	Arrêt RBS

**RAPPORT DE SURETE**

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 79/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Temps (s)	Événement
8328 (2) 8329 (R)	Isolement ASG
8356 (1)	Reprise de la circulation naturelle
10000	Fin du calcul



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 80/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3E1.10 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 –
TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS
PENDANT LE RÉGIME CALODUC**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 81/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.3E1.11 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS
INITIALES

□

TAB-15.2.3E1.12 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 1 – (BRÈCHE Ø1,2)

Temps (s)	Événements
0	Ouverture de la brèche
130	Signal AAR - Isolement ARE
█	Début de chute des grappes
█	Déclenchement turbine
143	Ouverture des VDA
190	Démarrage automatique RBS
█	Démarrage du refroidissement partiel – Signal IS
214	Cumul MDTE – Arrêt GMPP – Arrêt RBS
254	Démarrage ISMP/ISBP
261	Redémarrage RBS
453	Début injection ISMP
670	Fin du refroidissement partiel
773 (3)	Fin de circulation naturelle
1170	Démarrage ASG
1930	Intervention █ Début refroidissement █ à -50°C/h
2701	Début injection accumulateurs
2717 (R)	Fin des débits intermittents
5801	Isolements accumulateurs
7026	Début injection ISBP
7502 (3)	Reprise des débits intermittents
8004	Arrêt RBS
8078 (2, 3 et R)	Arrêt pompes ISMP



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 83/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

8299 (1)	Isolement ASG
8323 (3)	
8376 (2)	
8562 (R)	
8952 (R)	Reprise de la circulation naturelle
10000	Fin du calcul



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 84/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.3E1.13 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 –
TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS
PENDANT LE RÉGIME CALODUC

□

TAB-15.2.3E1.14 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 2 – (BRÈCHE Ø1,2)

Temps (s)	Événements
0	Ouverture de la brèche
130	Signal AAR - Isolement ARE
█	Début de chute des grappes
█	Déclenchement turbine
143	Ouverture des VDA
190	Démarrage automatique RBS
█	Démarrage du refroidissement partiel – Signal IS
214	Cumul MDTE – Arrêt GMPP – Arrêt RBS
254	Démarrage ISMP/ISBP
261	Redémarrage RBS
451	Début injection ISMP
670	Fin du refroidissement partiel
760 (3)	Fin de circulation naturelle
1170	Démarrage ASG
1930	Intervention █ Début refroidissement █ à -50°C/h
2672	Début injection accumulateurs
2772 (R)	Fin des débits intermittents
5785	Isolements accumulateurs
7004	Début injection ISBP
7720 (3)	Reprise des débits intermittents



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 86/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

7773	Isolement RBS
8235 (1, 2 et R)	Arrêt pompes ISMP
8014 (3) 8085 (1) 8273 (R) 8334 (2)	Isolement ASG
8851 (R)	Reprise de la circulation naturelle
10000	Fin du calcul



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 87/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.3E1.15 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 –
TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS
PENDANT LE RÉGIME CALODUC

□

TAB-15.2.3E1.16 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS POUR LE SCÉNARIO 3 – (BRÈCHE Ø1,2)

Temps (s)	Événements
0	Ouverture de la brèche
177	Signal AAR - Isolement ARE
█	Début de chute des grappes
█	Déclenchement turbine
190	Ouverture des VDA
253	Démarrage automatique RBS
█	Démarrage du refroidissement partiel – Signal IS
273	Cumul MDTE – Arrêt GMPP – Arrêt RBS
313	Démarrage ISMP/ISBP
319	Redémarrage RBS
537	Début injection ISMP
728	Fin du refroidissement partiel
846 (3)	Fin de circulation naturelle
1228	Démarrage ASG
1977	Intervention █ Début refroidissement █ à -50°C/h
2878	Début injection accumulateurs
4249 (2)	Fin des débits intermittents
5925	Isolements accumulateurs
6842 (1)	Reprise des débits intermittents
7139	Début injection ISBP
8025	Isolement RBS
8253 (2)	Isolement ASG



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

2.3E1

PAGE

89/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

8314 (R) 8439 (1) 8462 (3)	
8572 (2 et R)	Arrêt pompes ISMP
8807 (2)	Reprise de la circulation naturelle
10000	Fin du calcul

TAB-15.2.3E1.17 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 –
TEMPS CARACTÉRISTIQUES ET INTÉGRALES DE DÉBITS
PENDANT LE RÉGIME CALODUC

□

**TAB-15.2.3E1.18 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A –
DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE –
CARACTÉRISTIQUES DE L'ESPACE ANNULAIRE DE LA
CUVE AVANT LA REPRISSE DES DÉBITS INTERMITTENTS**

□

 EDF	FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.3E1
				CHAPITRE	15	PAGE	92/228

TAB-15.2.3E1.19 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS AUX LIMITES – CAS 1

□

 EDF	FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.3E1
				CHAPITRE	15	PAGE	93/228

TAB-15.2.3E1.20 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS AUX LIMITES – CAS 2

□

 EDF	FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.3E1
				CHAPITRE	15	PAGE	94/228

TAB-15.2.3E1.21 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE – CONDITIONS AUX LIMITES – CAS 3

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 95/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.1 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A- DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ- DISTRIBUTION
AXIALE DE PUISSANCE DU CRAYON MOYEN DU CŒUR**

□

**FIG-15.2.3E1.2 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PRESSIONS
DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU
DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 97/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.3 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 98/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.4 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU
CRAYON MOYEN DU CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 99/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.5 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – NIVEAU GV
GAMME ÉTROITE – NIVEAU GV GAMME LARGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 100/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.6 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – PUISSANCE CŒUR – ÉCHANGE PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 101/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.7 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – TEMPÉRATURES
LIQUIDE PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 102/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3E1.8 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – NIVEAU LIQUIDE DANS LA CUVE – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 103/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3E1.9 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – INVENTAIRE EN EAU DU PRIMAIRE ET DU SECONDAIRE – DÉBIT MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+ACCUMULATEURS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 104/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.10 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – DÉBIT ISMP/ISBP EN BRANCHE FROIDE – DÉBIT
ACCUMULATEUR EN BRANCHE FROIDE**

□

FIG-15.2.3E1.11 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – NIVEAU GV GAMME LARGE – DÉBIT ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 106/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.12 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – CONSOMMATION DES RÉSERVOIRS RBS –
CONSOMMATION DE LA BÂCHE ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 107/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.13 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – MARGE À LA SATURATION DPSAT – MARGE À LA
SATURATION DTSAT**

□

FIG-15.2.3E1.14 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – NIVEAU PRESSURISEUR – DÉBITS DANS LE CŒUR

□

FIG-15.2.3E1.15 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – TEMPÉRATURES LIQUIDE PRIMAIRE (24H APRÈS L'AAR)

□

FIG-15.2.3E1.16 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – INVENTAIRE EN EAU DU PRIMAIRE ET DU SECONDAIRE – DÉBIT MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+ACCUMULATEURS (24H APRÈS L'AAR)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 111/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.17 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – CONSOMMATION DES RÉSERVOIRS RBS –
CONSOMMATION DE LA BÂCHE ASG (24H APRÈS L'AAR)**

□

**FIG-15.2.3E1.18 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – MARGE À LA SATURATION DPSAT – MARGE À LA
SATURATION DTSAT (24H APRÈS L'AAR)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 113/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.19 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
DU CONTRÔLE DE LA REACTIVITE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À
L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – PRESSIONS PRIMAIRES ET SECONDAIRES
– TEMPÉRATURES LIQUIDE PRIMAIRE**

□

**FIG-15.2.3E1.20 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
DU CONTRÔLE DE LA REACTIVITE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À
L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – INVENTRAIRE EN EAU DU PRIMAIRE ET
DÉBIT MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+RBS
+ACCUMULATEURS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 115/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.21 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – ANALYSE
DU CONTRÔLE DE LA REACTIVITE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À
L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – MASSE PERDUE À LA BRECHE ET MASSE
IS+RBS+ACCUMULATEURS INJECTÉE**

□

**FIG-15.2.3E1.22 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS LIQUIDE ET
VAPEUR BRÈCHE – TAUX DE VIDE BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 117/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.23 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – MASSE TOTALE
PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 118/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.24 PRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS BRANCHES
FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 119/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.25 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS ISMP –
DÉBITS ISBP**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 120/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.26 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS
ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS**

□

**FIG-15.2.3E1.27 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS IS+RBS
+ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 122/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.28 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE
SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 123/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.29 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 124/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.30 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 125/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.31 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 126/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.32 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R**

□

**FIG-15.2.3E1.33 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET - SORTIE TUBES GV
BOUCLE 1**

□

**FIG-15.2.3E1.34 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET - SORTIE TUBES GV
BOUCLE 2**

□

**FIG-15.2.3E1.35 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET - SORTIE TUBES GV
BOUCLE 3**

□

**FIG-15.2.3E1.36 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET - SORTIE TUBES GV
BOUCLE R**

□

**FIG-15.2.3E1.37 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN
BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE**



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 132/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.38 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS LIQUIDE ET
VAPEUR BRÈCHE - TAUX DE VIDE BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 133/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.39 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – MASSE TOTALE
PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 134/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.40 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE
– SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS BRANCHES FROIDES –
TAUX DE VIDE CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 135/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.41 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE
– SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ISMP – DÉBITS ISBP**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 136/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.42 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS
ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 137/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.43 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS IS+RBS
+ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES**

□

**FIG-15.2.3E1.44 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE
SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 139/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.45 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 140/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.46 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 141/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.47 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 142/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.48 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R**

[]

**FIG-15.2.3E1.49 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

1

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 144/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.50 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

2

□

**FIG-15.2.3E1.51 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

3

□

**FIG-15.2.3E1.52 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

R

□

**FIG-15.2.3E1.53 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN
BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 148/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.54 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS LIQUIDE ET
VAPEUR BRÈCHE - TAUX DE VIDE BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 149/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.55 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – MASSE TOTALE
PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 150/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.56 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS BRANCHES
FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 151/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.57 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS ISMP –
DÉBITS ISBP**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 152/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.58 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS
ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 153/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.59 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS IS+RBS
+ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 154/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.60 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE
SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 155/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.61 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 156/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.62 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR– DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 157/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.63 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 158/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.64 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R**

□

**FIG-15.2.3E1.65 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

1

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 160/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.66 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

2

□

**FIG-15.2.3E1.67 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

3

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 162/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.68 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

R

□

**FIG-15.2.3E1.69 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN
BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE**

□

**FIG-15.2.3E1.70 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS LIQUIDE ET
VAPEUR BRÈCHE – TAUX DE VIDE BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 165/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.71 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – MASSE TOTALE
PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 166/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.72 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS BRANCHES
FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 167/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.73 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS ISMP –
DÉBITS ISBP**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 168/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.74 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS
ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 169/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.75 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS IS+RBS
+ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 170/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.76 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE
SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 171/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.77 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 172/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.78 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 173/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.79 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 174/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.80 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R**

[]

**FIG-15.2.3E1.81 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

1

□

**FIG-15.2.3E1.82 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

2

□

**FIG-15.2.3E1.83 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

3

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 178/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.84 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

R

□

**FIG-15.2.3E1.85 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 1 – BRÈCHE DE □ – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN
BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE**

□

□

**FIG-15.2.3E1.86 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS LIQUIDE ET
VAPEUR BRÈCHE - TAUX DE VIDE BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 181/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.87 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – MASSE TOTALE
PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 182/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.88 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE
– SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS BRANCHES FROIDES –
TAUX DE VIDE CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 183/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.89 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE
– SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – DÉBITS ISMP – DÉBITS ISBP**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 184/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.90 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS
ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 185/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.91 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS IS+RBS
+ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES**

□

**FIG-15.2.3E1.92 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE
SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 187/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.93 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 188/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.94 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 189/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.95 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 190/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.96 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R**

[]

**FIG-15.2.3E1.97 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

1

□

**FIG-15.2.3E1.98 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

2

□

**FIG-15.2.3E1.99 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

3

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 194/228

**FIG-15.2.3E1.100 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

R

□

**FIG-15.2.3E1.101 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 2 – BRÈCHE DE □ – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN
BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 196/228

**FIG-15.2.3E1.102 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS LIQUIDE ET
VAPEUR BRÈCHE – TAUX DE VIDE BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 197/228

**FIG-15.2.3E1.103 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – MASSE TOTALE
PRIMAIRE – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 198/228

**FIG-15.2.3E1.104 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS BRANCHES
FROIDES – TAUX DE VIDE CŒUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 199/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.105 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS ISMP –
DÉBITS ISBP**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 200/228

**FIG-15.2.3E1.106 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS
ACCUMULATEURS – DÉBITS RBS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 201/228

**FIG-15.2.3E1.107 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBITS IS+RBS
+ACCUMULATEURS ET TOTAL BRÈCHE – NIVEAU BOUCLES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 202/228

**FIG-15.2.3E1.108 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TEMPÉRATURE
SORTIE CŒUR – MARGE À LA SATURATION EN TEMPÉRATURE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 203/228

**FIG-15.2.3E1.109 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 204/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.110 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 2**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 205/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.111 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE 3**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 206/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.112 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – TAUX DE VIDE
TUBES GV BOUCLE R – TAUX DE VIDE BRANCHE EN U BOUCLE R**

□

**FIG-15.2.3E1.113 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 1 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 1 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

1

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 208/228

**FIG-15.2.3E1.114 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 2 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 2 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

2

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 209/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.115 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE 3 – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE 3 –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

3

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 210/228

**FIG-15.2.3E1.116 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE □ – DÉBIT LIQUIDE
TUBES GV BOUCLE R – DÉBIT VAPEUR TUBES GV BOUCLE R –
INTÉGRALE DEBIT VAPEUR SOMMET-SORTIE TUBES GV BOUCLE**

R

□

**FIG-15.2.3E1.117 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – SCÉNARIO 3 – BRÈCHE DE [] – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE – CONCENTRATION EN
BORE MINIMALE DE L'ESPACE ANNULAIRE**

[]

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 212/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.118 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – DÉBIT DE RCN DANS UNE BOUCLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 213/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.119 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – DOMAINE CFD MAILLÉ**

□

□

**FIG-15.2.3E1.120 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – ÉVOLUTION DE LA DENSITÉ ET DE LA CAPACITÉ
THERMIQUE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

□

□

**FIG-15.2.3E1.121 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ ET DE LA
VISCOSITÉ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 216/228

**FIG-15.2.3E1.122 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – ÉVOLUTION DE LA DIFFUSIVITÉ EN FONCTION DE
LA TEMPÉRATURE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 217/228

**FIG-15.2.3E1.123 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 1 – CONCENTRATION EN BORE DANS
L'ESPACE ANNULAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 218/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.124 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 1 – TEMPERATURE DANS L'ESPACE
ANNULAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 219/228

**FIG-15.2.3E1.125 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 1 – CONCENTRATION EN BORE ET
TEMPÉRATURE EN ENTRÉE CŒUR À L'INSTANT D'ATTEINTE DU
MINIMUM DE CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 220/228

**FIG-15.2.3E1.126 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 1 – CONCENTRATION EN BORE PAR
ASSEMBLAGE MINIMALE ET CONCENTRATION EN BORE
MOYENNE EN ENTRÉE CŒUR**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 221/228

**FIG-15.2.3E1.127 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 2 – CONCENTRATION EN BORE DANS
L'ESPACE ANNULAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 222/228

**FIG-15.2.3E1.128 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 2 – TEMPÉRATURE DANS L'ESPACE
ANNULAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 223/228

**FIG-15.2.3E1.129 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 2 – CONCENTRATION EN BORE ET
TEMPERATURE EN ENTRÉE CŒUR À L'INSTANT D'ATTEINTE DU
MINIMUM DE CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 224/228

**FIG-15.2.3E1.130 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 2 – CONCENTRATION EN BORE PAR
ASSEMBLAGE MINIMALE ET CONCENTRATION EN BORE
MOYENNE EN ENTRÉE CŒUR**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 225/228

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3E1.131 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 3 – CONCENTRATION EN BORE DANS
L'ESPACE ANNULAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 226/228

**FIG-15.2.3E1.132 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 3 – TEMPÉRATURE DANS L'ESPACE
ANNULAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 227/228

**FIG-15.2.3E1.133 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 3 – CONCENTRATION EN BORE ET
TEMPÉRATURE EN ENTRÉE COEUR À L'INSTANT D'ATTEINTE DU
MINIMUM DE CONCENTRATION EN BORE PAR ASSEMBLAGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E1

PAGE 228/228

**FIG-15.2.3E1.134 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DILUTION HÉTÉROGÈNE
INHÉRENTE – CAS 3 – CONCENTRATION EN BORE PAR
ASSEMBLAGE MINIMALE ET CONCENTRATION EN BORE
MOYENNE EN ENTRÉE CŒUR**

□

□

SOMMAIRE

.15.2.3E2 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT B (PCC-3)	3
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT	3
2. CRITÈRES D'ÉTUDE	3
3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	4
3.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT ET PHÉNOMÈNES REDOUTÉS	4
3.2. MOYENS DE PROTECTION	5
3.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	6
3.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS	6
3.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	6
3.5.1. ÉTAT INITIAL	6
3.5.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	6
3.5.3. HYPOTHÈSES CŒUR	7
3.5.4. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	7
3.5.5. HYPOTHÈSES PROTECTIONS	7
3.6. RÉSULTATS	7
3.6.1. ÉTAT B1 : ACCUMULATEURS DISPONIBLES (NON ISOLÉS)	7
3.6.2. ÉTAT B2 : ACCUMULATEURS INDISPONIBLES (ISOLÉS)	8
3.7. CONCLUSION	9
4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	9
4.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT ET PHÉNOMÈNES REDOUTÉS	9
4.2. MOYENS DE PROTECTION ET ACTIONS	10
4.3. RÉSULTATS	10
4.3.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	11
4.3.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	11
4.3.3. ASPECT DILUTION HÉTÉROGÈNE INHÉRENTE	11
4.4. CONCLUSION	12
5. CONCLUSION	12
LISTE DE RÉFÉRENCES	13

TABLEAUX :

TAB-15.2.3E2.1 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT B1 – CONDITIONS INITIALES	14
TAB-15.2.3E2.2 APRP PETITES BRÈCHES EN SOUS-ÉTAT B2-1 – CONDITIONS INITIALES	15
TAB-15.2.3E2.3 APRP PETITES BRÈCHES EN SOUS-ÉTAT B2-2 – CONDITIONS INITIALES	16
TAB-15.2.3E2.4 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT B – CONFIGURATION DE L'INJECTION DE SÉCURITÉ SELON LES SOUS-ÉTATS CONSIDÉRÉS	17

.15.2.3E2 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT B (PCC-3)

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'INCIDENT

Un incident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) résulte d'une brèche sur les tuyauteries primaires ou sur les lignes connectées aux boucles primaires, en aval du premier organe d'isolement.

Un APRP est classé comme évènement PCC-3 ou PCC-4 en fonction de la taille de brèche et de l'état initial du réacteur. Cette section traite des APRP petites brèches en état B, qui sont classés comme des incidents PCC-3 (voir section 15.0.1).

Les petites brèches sont des brèches de diamètre équivalent inférieur ou égal à 50 mm (section équivalente inférieure ou égale à 20 cm²), et de taille supérieure à celle compensable par le Système de Régulation Chimique et Volumétrique (RCV).

Les tuyauteries primaires de l'EPR FA3 répondant aux exigences d'exclusion de rupture, les ruptures de ces tuyauteries ne sont pas envisagées dans les analyses de dimensionnement, donc dans le chapitre 15 ; seules les brèches ou ruptures sur les lignes connectées aux boucles primaires sont à considérer.

Par rapport à l'état A, l'état initial du réacteur en état B correspond à une plage de puissance, pression et température primaires plus faibles (voir § 3.5.1.). En outre, l'état B introduit les différences suivantes concernant les fonctions de mitigation classées F1 :

- modification du signal d'Injection de Sécurité (IS) à l'activation du permissif P12,
- lorsque le permissif P12 est activé, le signal automatique F1A de démarrage du Système de Borication de Secours du réacteur (RBS) sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p) est inhibé. En conséquence, le système RBS n'est pas disponible automatiquement en état B,
- isolement des accumulateurs en dessous d'une pression du circuit primaire (RCP) de bar abs,
- Lorsque le permissif P14 est activé, les trains d'Injection de Sécurité à Basse Pression (ISBP) ne sont plus requis pour la fonction « injection de sécurité ». Ils sont toutefois mis en service dès que l'opérateur est orienté dans la procédure de conduite post-accidentelle « Restauration de l'Inventaire en Eau ».

2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis des études APRP sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La température maximale de gaine doit rester inférieure à 1200 °C.
 - L'oxydation maximale de la gaine doit rester inférieure à 17 % de l'épaisseur de gaine.
- La génération maximale d'hydrogène doit rester inférieure à 1 % de la quantité qui serait générée si la totalité du zirconium des gaines en regard de la hauteur active s'était oxydée. En pratique et dans un objectif de simplification, le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux assemblages combustible et à la génération maximale d'hydrogène est démontré dans ce chapitre par la vérification du non découverture du cœur.
- Le refroidissement à long terme du cœur doit être assuré en garantissant l'absence de cristallisation du bore dans le cœur et en tenant compte du phénomène de dilution hétérogène inhérente.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

3.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT ET PHÉNOMÈNES REDOUTÉS

La brèche provoque la perte d'une partie du réfrigérant primaire qui ne peut être compensée par le RCV. Cette perte de réfrigérant primaire conduit à une diminution de la pression du circuit primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur.

Côté secondaire, la turbine étant déclenchée, le débit vapeur est évacué par le Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur (GCT), ou par les Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA) si le GCT est indisponible.

Si le compte-rendu d'arrêt automatique du réacteur (AAR) n'est pas présent à l'instant initial, le signal d'AAR peut-être émis par le dépassement du seuil « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max1p) dans au moins l'un des 4 GV, si la régulation du niveau d'eau dans les GV par les vannes réglantes de très petit débit ARE conduit à un débit ARE excessif. L'isolement complet de l'ARE peut ensuite avoir lieu, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p), après temporisation du compte-rendu d'AAR. Après cet isolement, ou bien si la régulation de très petit débit ARE n'assure pas un débit suffisant, le signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) peut être généré et démarrer, GV par GV, les pompes d'Alimentation de Secours des Générateurs de vapeur (ASG). Si l'ASG est en excès dans un GV (régulation inopérante), il est arrêté automatiquement par le signal « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p) avant intervention de l'opérateur.

La pression primaire continue à décroître ainsi que la marge à la saturation en pression en branches chaudes. Lorsque le permissif P12 est activé, le signal IS « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) est inhibé, ainsi que le signal de démarrage automatique du RBS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p). En état B, le signal IS est émis sur « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p). La mesure de ΔP_{sat} (classée F1A) utilisée par ce signal est élaborée à partir de la mesure de température de la branche chaude (pour définir la pression de saturation correspondante) et de la mesure de la pression en branche chaude. Le signal IS provoque en particulier le démarrage des 4 trains du Système d'Injection de Sécurité (RIS), c'est-à-dire le démarrage des pompes IS de Moyenne Pression (ISMP) et éventuellement des pompes IS de Basse Pression (ISBP), si celles-ci sont en mode « injection de sécurité », ainsi que l'isolement du circuit primaire principal et l'isolement « niveau 1 » de l'enceinte. En cas de Manque De Tension Externe (MDTE), le signal IS provoque également le démarrage temporisé des pompes ASG.

Sur compte-rendu de signal IS, un refroidissement partiel du fluide primaire par le secondaire est amorcé : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA, et du GCT s'il est disponible sont

abaissés \square pour assurer un refroidissement à un gradient de \square °C/h. Le refroidissement n'est effectif que dans le domaine des hautes pressions de l'état B \square .

Si les pompes primaires sont toujours en fonctionnement (alimentation électrique externe disponible), elles peuvent être arrêtées sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p). Si le signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p) est atteint, il peut également provoquer l'isolement de la charge, de l'injection et du retour des joints des pompes primaires, et l'arrêt des pompes primaires.

Pour un état initial dans le domaine des hautes pressions de l'état B, la baisse de pression primaire pendant le refroidissement partiel permet d'atteindre les conditions d'injection des pompes ISMP dans les branches froides.

Pour les petites brèches en branche froide, tant que le débit à la brèche est encore monophasique liquide, il ne permet pas d'évacuer un débit volumique dépassant celui correspondant à la production de vapeur par la puissance résiduelle du cœur ; la pression se stabilise, à la fin du refroidissement, au-dessus de la pression de saturation dans les générateurs de vapeur, qui participent à l'évacuation de la puissance résiduelle. À mesure que le taux de vide dans la branche rompue augmente, le débit à la brèche devient diphasique et diminue ; la pression primaire reste légèrement supérieure à la pression secondaire tant que la décharge à la brèche est insuffisante et qu'une condensation dans les tubes GV est encore nécessaire pour évacuer la production de vapeur dans le cœur ; ensuite la pression primaire se découple de la pression secondaire.

L'inventaire en eau du circuit primaire cesse de diminuer quand les débits injectés par les pompes ISMP, et éventuellement par les accumulateurs puis les pompes ISBP, selon leur disponibilité, permettent de compenser le débit à la brèche.

L'état contrôlé est atteint lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

- Le cœur est sous critique.
- La puissance résiduelle du cœur est évacuée par la brèche, et par les GV si nécessaire.
- L'inventaire du réfrigérant primaire est stable ou recommence à augmenter.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

3.2. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au [§ 3.1.](#), les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- signal IS sur « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p) qui provoque en particulier le démarrage des 4 trains RIS, isole la décharge et provoque un isolement « niveau 1 » de l'enceinte,
- refroidissement partiel du circuit primaire sur compte-rendu du signal IS, par régulation de l'ouverture des vannes de contrôle du VDA,
- signal d'arrêt automatique du réacteur sur « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max1p), ou sur « Haute Pression Enceinte » (Max1p),
- isolement des lignes à très petit débit de l'ARE sur « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) et compte-rendu d'AAR,
- alimentation de secours des GV :
 - démarrage sur « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) ou, sur « Signal IS + MDTE » temporisé,
 - isolement sur « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p),
- déclenchement des Groupes MotoPompes Primaires (GMPP) sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p), ou sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p).

3.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

La plus grosse des petites brèches, de section équivalente égale à 20 cm², est étudiée.

De façon pénalisante et découplée, on suppose que la brèche est localisée en branche froide, verticale en fond de tuyauterie primaire. Pour limiter l'inventaire en eau dans la cuve, la brèche est située entre le point d'injection de sécurité (ISMP, accumulateur et ISBP) dans la branche froide rompue et l'ajutage d'entrée de la cuve du réacteur. Le débit d'injection de sécurité dans la branche rompue est pris en compte.

On suppose que :

- L'ouverture de la brèche se produit de façon instantanée.
- La contre-pression dans l'enceinte est constante pendant la durée de l'incident, égale à 1 bar abs.

3.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS

□

3.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

3.5.1. État initial

On suppose le réacteur initialement en état B. L'état B « Arrêt intermédiaire sur GV - Pprimaire < 130 bar abs » commence au plus tôt 4 heures après l'arrêt du réacteur. Il couvre les états d'arrêt lors du fonctionnement normal de l'installation pour lesquels la puissance résiduelle primaire est évacuée par les GV (différence avec l'état C). La plage de fonctionnement (pression / température) du RCP en état B s'étend de 130 bar / 303,3°C (seuils à partir desquels certains signaux de contrôle commande F1A sont inhibés par rapport au fonctionnement en puissance après validation □ du permissif P12) à 32 bar / 110°C (seuils à partir desquels le RIS est connecté en mode RA après validation □ du permissif P14).

Les incertitudes sont choisies dans le but de minimiser l'inventaire en eau primaire au cours de l'incident. □

□

En fonction de la disponibilité des accumulateurs, deux états appelés B1 et B2 sont envisagés.

En fonction de la disponibilité des ISBP en mode « injection de sécurité », deux sous-états appelés B2 sous-état 1 (noté B2-1) et B2 sous-état 2 (noté B2-2) sont envisagés.

Les tableaux [TAB-15.2.3e2.1](#), [TAB-15.2.3e2.2](#) et [TAB-15.2.3e2.3](#) présentent les conditions initiales retenues.

3.5.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

En application des règles d'études pour les conditions de fonctionnement de référence (PCC), pour les événements PCC intervenant dans les états d'arrêt, le MDTE est postulé à l'événement initiateur s'il est pénalisant (voir section 15.0.2).

Dans le cas sans MDTE, les pompes primaires restent en fonctionnement jusqu'à leur arrêt sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p), et l'ASG démarre éventuellement sur signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) dans chaque GV concerné.

Afin de minimiser l'inventaire en eau dans le circuit primaire :

- Au titre de l'aggravant, on considère qu'un des 2 trains du Système de Réfrigération Intermédiaire de l'îlot nucléaire (RRI) initialement en stand-by ne démarre pas, ce qui conduit à l'indisponibilité d'un train RIS (ISMP+ISBP) sur une boucle saine.
- On suppose par ailleurs qu'un autre train RRI est en maintenance préventive, ce qui conduit à l'indisponibilité d'un autre train RIS (ISMP +ISBP) sur une boucle saine différente de celle concernée par l'aggravant.

3.5.3. Hypothèses cœur

□

3.5.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

La turbine étant déclenchée et le GCT étant supposé indisponible, le débit vapeur est évacué par les VDA.

Le très petit débit d'eau alimentaire des générateurs de vapeur est maintenu constant jusqu'à son éventuel isolement sur signal « Haut niveau GV Gamme Étroite » (Max0p).

Pour retarder le temps d'arrivée du signal IS, les chaufferettes sont prises en compte. □

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur n'est pas considérée : la décharge serait isolée rapidement sur fonction d'aide à l'opérateur « Bas Niveau Pressuriseur » (min2) (non classé F1) ou sur signal IS, la charge serait isolée également sur signal IS ; globalement la non prise en compte de cette régulation limite l'inventaire en eau du circuit primaire. En revanche, un débit de retour de joints non compensé suite à la perte de l'injection aux joints des pompes primaires □ est pris en compte dans l'étude.

Après démarrage de l'injection de sécurité sur signal IS (voir § 3.5.5.), chaque ISMP disponible injecte effectivement en branche froide dès que la pression dans le circuit primaire le permet. □

Le tableau [TAB-15.2.3e2.4](#) présente la configuration des moyens d'injection IS et des accumulateurs en fonction des sous-états considérés.

Aucune action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur et aucune limitation n'est prise en compte.

3.5.5. Hypothèses protections

□

3.6. RÉSULTATS

La démonstration de sûreté repose sur une analyse qualitative pour l'APRP petite brèche en états B1 et B2.

3.6.1. État B1 : accumulateurs disponibles (non isolés)

L'état B1 correspond à une pression primaire comprise entre 70 et 130 bar □ et une température moyenne primaire entre 245 et 303,3°C □.

□

Pour une taille de brèche donnée, les conséquences sur l'inventaire en eau du circuit primaire et le refroidissement du cœur sont moins pénalisantes en état B1 qu'en état A, car :

- La puissance du cœur inférieure en état B1 favorise la dépressurisation du circuit primaire.
- La pression primaire initiale plus faible en état B1 conduit à un débit brèche plus faible au début de l'incident.

- Tous les moyens de mitigation utilisés en état A sont disponibles en état B1, (ISMP, ISBP et accumulateurs pour l'injection IS, VDA et ASG pour l'évacuation de la puissance résiduelle), sauf le système RBS, dont le démarrage automatique sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p) est inhibé.
- Le signal IS est émis par le signal « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p) en état B1 alors qu'il est émis par le signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) en état A ; pour ces deux états, le signal IS est donc émis bien avant d'atteindre la pression de refoulement des pompes ISMP si bien qu'ils bénéficient tous deux des mêmes débits d'IS et que le délai de mise en service des pompes ISMP est écoulé.
- Pour l'état B1, la pression des générateurs de vapeur est plus faible au début du refroidissement partiel initié par le signal IS ; la pression de refoulement de l'ISMP est donc atteinte plus tôt, la vitesse de refroidissement partiel étant de °C/h pour ces deux états.

Il en résulte un débit plus faible à la brèche et une meilleure efficacité de l'injection IS en état B1, ce qui est bénéfique en matière d'inventaire en eau du RCP.

L'inhibition du démarrage automatique du RBS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p), qui constitue une différence par rapport à l'état A, est sans impact car, de manière conservatrice, le démarrage automatique du RBS n'est pas pris en compte dans les calculs thermohydrauliques de l'APRP petites brèches PCC-3 en état A (traité dans la section 15.2.3e1).

Par conséquent, les résultats des analyses réalisées pour l'APRP petites brèches PCC-3 à l'état A (voir section 15.2.3e1) sont enveloppes de l'état B1 : les critères techniques d'acceptation présentés au § 2. et relatifs aux APRP étant respectés dans la section 15.2.3e1, ils sont donc respectés pour cet incident. L'état contrôlé est atteint (sous-criticité du cœur, évacuation de la puissance résiduelle, stabilité de l'inventaire en eau primaire et rejets radiologiques tolérables), en ne valorisant que les fonctions F1A.

3.6.2. État B2 : accumulateurs indisponibles (isolés)

3.6.2.1. État B2, sous-état n°1 : ISBP disponible en mode automatique

L'analyse qui suit compare les brèches pour une localisation identique.

Le non dénoyage du cœur est étroitement lié à l'inventaire en eau du primaire.

Lorsque le débit à la brèche est sous forme liquide, la taille de la brèche n'influe que sur la cinétique de l'incident. En effet, plus la taille de brèche est importante, plus l'inventaire en eau du primaire diminue rapidement. Cependant, quel que soit l'instant du passage de la brèche en vapeur, l'état du primaire à cet instant est quasiment identique quelle que soit la taille de la brèche :

- La pression primaire est essentiellement liée à la pression de tarage des VDA au secondaire et dépend donc peu de la taille de la brèche.
- La masse primaire vaut une centaine de tonnes (d'après les résultats observés pour les grosses brèches en section 15.2.4f2) et est essentiellement liée à la géométrie du circuit primaire et plus particulièrement à l'altimétrie des boucles.

Lorsque le débit à la brèche est en phase vapeur, la taille de la brèche influe sur le comportement thermohydraulique de l'incident :

- Si la brèche est suffisamment petite, l'ISMP compense le débit à la brèche et la masse primaire se stabilise dès le passage en vapeur à la brèche.
- Pour les brèches de taille plus importante, la pression primaire diminue jusqu'à ce que le débit ISMP compense le débit à la brèche ; cette diminution de pression s'accompagne d'une diminution de masse primaire ; plus la taille de brèche est importante, plus la pression « d'équilibre » est faible, ce qui signifie que la masse primaire minimale est plus faible.

A la différence des états A et B1, le sous-état B2-1 bénéficie de la continuité des moyens d'injections de sécurité sur la totalité du spectre de brèches, les accumulateurs étant isolés. Par conséquent, en l'absence de dénoyage du cœur, la brèche conduisant à la perte maximale d'eau du circuit primaire est la plus grosse des brèches étudiées.

L'étude d'APRP BI pour le sous-état B2-1 (voir section 15.2.4f2) conclut à l'absence de dénoyage du cœur et au respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP et à l'atteinte de l'état contrôlé (sous-criticité du cœur, évacuation de la puissance résiduelle, stabilité de l'inventaire en eau primaire et rejets radiologiques tolérables). Cette étude étant enveloppe de l'étude APRP petite brèche, aucun dénoyage du cœur n'est donc attendu et l'ensemble des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP et à l'atteinte de l'état contrôlé présentés § 2. est respecté pour les petites brèches en sous-état B2-1.

3.6.2.2. État B2, sous-état n°2 : ISBP indisponible en mode automatique

L'analyse effectuée pour la petite brèche en sous-état B2-1 présentée au § 3.6.2.1. reste valable pour le sous-état B2-2.

L'étude d'APRP BI en sous-état B2-2 (voir section 15.2.4f2) conclut à l'absence de dénoyage du cœur et au respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP et à l'atteinte de l'état contrôlé (sous-criticité du cœur, évacuation de la puissance résiduelle, stabilité de l'inventaire en eau primaire et rejets radiologiques tolérables). Cette étude étant enveloppe de l'étude APRP petite brèche, aucun dénoyage du cœur n'est donc attendu et l'ensemble des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP et à l'atteinte de l'état contrôlé présentés § 2. est respecté pour les petites brèches en sous-état B2-2.

3.7. CONCLUSION

Vis-à-vis des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP, cet incident est couvert par les sections 15.2.3e1 et 15.2.4f2 du RDS pour lesquelles le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles (température et oxydation maximale des gaines de combustible – voir § 2.) et celui sur la quantité maximale d'hydrogène générée est démontré en l'absence de découverture du cœur. Ainsi, puisque les dommages sur les assemblages combustibles sont limités, les rejets radiologiques restent tolérables.

L'ISMP assure le maintien d'un inventaire en eau stable.

Par ailleurs, les grappes dans le cœur et l'apport de bore par l'ISMP permettent d'assurer la sous-criticité du cœur.

Enfin la puissance résiduelle est évacuée par les GV via l'ASG et les VDA.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présenté au § 2. est donc respecté et l'état contrôlé est atteint

4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

4.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT ET PHÉNOMÈNES REDOUTÉS

A l'atteinte de l'état contrôlé, le refroidissement du cœur est assuré par l'alimentation en eau du RCP via le système RIS, et l'évacuation de la puissance du RCP est assurée par la brèche et si nécessaire par les GV. L'état d'arrêt sûr (voir § 2.) est atteint lorsque :

- Le cœur est sous-critique ($k_{eff} < 0,99$), même après épuisement du xénon.
- La puissance résiduelle est évacuée durablement :
 - soit en atteignant les conditions de connexion du RIS-RA, avec au moins 1 RIS-RA fonctionnant en mode RA,

- soit en atteignant les conditions d'injection de l'ISBP, avec toutes les ISBP disponibles fonctionnant en mode IS,

- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état d'arrêt sûr, la procédure de conduite post-accidentelle réalise la borication du circuit primaire en parallèle du refroidissement et de la dépressurisation du RCP, comme pour l'état A (voir section 15.2.3e1).

La connexion du circuit RIS-RA en mode RA est alors possible, dès que les trois conditions suivantes sont réunies au RCP :

- pression dans au moins deux branches chaudes du RCP inférieure à 32 bar,
- température dans au moins deux branches chaudes du RCP inférieure à 180°C,
- ΔT_{sat} et niveau boucle compatibles avec l'aspiration en branche chaude du RIS-RA en mode RA.

Le niveau boucle conforme à l'aspiration des trains RIS-RA depuis la branche chaude est défini comme un niveau boucle supérieur à 100%.

Le basculement des trains RIS-RA du mode IS au mode RA est progressif en fonction du sous-refroidissement du circuit primaire :

- si trois ou quatre trains RIS-RA sont en service en mode IS, le basculement d'un train en mode RA n'est autorisé que si la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est supérieure à 35°C,
- si deux trains RIS-RA sont en service en mode IS, le basculement d'un train en mode RA n'est autorisé que si la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est supérieure à 50°C.

Pour les brèches PCC-3, l'état d'arrêt sûr est atteint après la connexion du RIS-RA en mode RA.

4.2. MOYENS DE PROTECTION ET ACTIONS

Les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les mêmes que ceux décrits au § 3.2. relatif à l'atteinte de l'état contrôlé.

Aux moyens de protection automatiques F1A, s'ajoutent les actions F1B suivantes, réalisées 30 minutes après l'arrêt automatique du réacteur :

- contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés par l'ASG,
- mise en service du RBS,
- mise en œuvre d'un refroidissement contrôlé du circuit primaire par ouverture des VDA des GV utilisables, avec un gradient de -25°C/h ou -50°C/h, en fonction de la configuration RBS, de la marge à la saturation en température ΔT_{sat} et de la concentration en bore du circuit primaire,
- isolement des accumulateurs,
- ouverture progressive des lignes à grand débit minimum des trains ISMP par l'opérateur, en fonction de l'inventaire en eau et de la marge à la saturation du circuit primaire.

4.3. RÉSULTATS

L'analyse de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr se compose de trois parties :

- une analyse thermohydraulique,
- une analyse du contrôle de la réactivité,
- une analyse de la dilution hétérogène inhérente.

4.3.1. Analyse thermohydraulique

L'état de la tranche (niveau de puissance et inventaire en eau du circuit primaire), lors de l'apparition de l'état contrôlé est plus favorable pour l'état B que pour l'état A.

Toutes les fonctions F1A, à l'exclusion de l'injection automatique des trains RBS, et toutes les fonctions F1B utilisées en état A pour le passage du réacteur de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, sont également disponibles en état B.

L'inhibition du démarrage automatique du RBS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p), qui constitue une différence par rapport à l'état A, est sans impact car de manière conservatrice, le démarrage automatique du RBS n'est pas pris en compte dans les calculs thermohydrauliques long terme de l'APRP petites brèches PCC-3 en état A.

D'autre part, l'ISBP peut être remis en service par l'opérateur dans le cas où il n'est pas en mode « injection de sécurité » en dessous de P14.

L'évaluation de sûreté relative à l'obtention de l'état d'arrêt sûr pour un APRP petite brèche PCC3 effectuée pour l'état A (voir section 15.2.3e1) s'applique donc à l'APRP petite brèche PCC3 en état B.

4.3.2. Contrôle de la réactivité

L'estimation conservatrice de la sous-criticité du cœur est la même que pour l'état A.

L'évaluation de la sous-criticité assurée par l'ISMP seule et de la concentration minimum de bore, s'appuyant sur une estimation enveloppe de l'évolution de la concentration moyenne de bore dans le RCP au cours du temps, indépendamment de l'état initial de la tranche, la conclusion de l'état A peut être reconduite pour l'état B.

Cette évaluation montre que quelle que soit la taille de la petite brèche, les injections RBS et ISMP sont capables, malgré la maintenance préventive, l'aggravant et les hypothèses de calcul les plus pénalisantes, d'assurer la borication du RCP nécessaire pour garantir la sous criticité du cœur après l'arrêt du réacteur, jusqu'à l'état d'arrêt sûr. Ceci est en particulier vrai pour le cas d'une très petite brèche située dans une ligne IS branche froide, et dont la taille est assez réduite pour éviter une injection ISMP dans le RCP.

4.3.3. Aspect dilution hétérogène inhérente

L'étude de la dilution hétérogène inhérente en cas de brèche primaire en états B1 et B2-1 est couverte par celle en état A (cf. section 19.2.4). La démonstration de sûreté en état A est apportée dans la section 15.2.3e1.

Dans le sous-état B2-2, l'apparition de la brèche conduit à une brusque dépressurisation du circuit primaire et à l'atteinte rapide du signal IS. Dans cet état de fonctionnement, la pression primaire maximale est proche de la pression de refoulement des trains ISMP. Par conséquent, les trains ISMP injectent rapidement dans le circuit primaire suite à leur démarrage. La section de la brèche étant faible, le débit brèche est limité et les trains ISMP compensent facilement le débit brèche. Ainsi, l'inventaire en eau primaire est faiblement dégradé et les tubes GV restent remplis pendant toute la durée de l'incident. Il n'y a donc pas d'interruption de la circulation naturelle. De plus, la puissance résiduelle est faible dans ce sous-état et les GV disponibles suffisent largement à son évacuation. En outre, l'injection d'eau par les trains ISMP à une température inférieure à la température primaire permet de refroidir le circuit primaire. Ainsi, la température primaire reste faible et la saturation du fluide est très limitée. Par conséquent, dans ce sous-état B2-2, deux des phénomènes indispensables à la dilution hétérogène inhérente à savoir l'arrêt de la circulation naturelle et la vaporisation du fluide primaire dans les tubes GV sont absents. Par conséquent, le risque d'apparition du phénomène de dilution hétérogène inhérente est écarté dans le sous-état B2-2.

4.4. CONCLUSION

Vis-à-vis du découvrément du cœur et comme démontré au [§ 4.3.1.](#), cet incident est couvert par la section 15.2.3e1 pour laquelle le cœur reste noyé à l'état d'arrêt sûr. Par conséquent, aucun découvrément du cœur n'est observé à l'état d'arrêt sûr et les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée via les VDA et l'ASG jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

Par ailleurs, le [§ 4.3.2.](#) démontre que la capacité d'injection de bore par l'ISMP permet d'assurer durablement la sous-criticité du cœur.

Enfin, comme justifié au [§ 4.3.3.](#), le risque de retour en criticité suite à l'envoi d'un bouchon d'eau claire est écarté puisque la problématique de la dilution hétérogène inhérente est absente ou couverte par la section 15.2.3e1, suivant l'état de fonctionnement considéré.

L'ensemble des critères présentés au [§ 2.](#) relatifs à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est ainsi vérifié. L'état d'arrêt sûr donc atteint.

5. CONCLUSION

La présente analyse démontre que, en cas de petite brèche primaire en état B, l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) est respecté.

L'absence de dénoyage du cœur permet de démontrer que les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles (température et oxydation maximale des gaines de combustible - voir [§ 2.](#)) ainsi que celui sur la quantité maximale d'hydrogène générée sont respectés. Les critères d'acceptations relatifs aux APRP sont donc vérifiés. Ainsi, puisque les dommages sur les assemblages combustibles sont limités, les rejets radiologiques restent tolérables.

Par ailleurs, les grappes dans le cœur et l'apport de bore par l'ISMP permettent d'assurer la sous-criticité du cœur. L'ISMP assure par ailleurs la stabilité de l'inventaire en eau du primaire. Dans le même temps, la puissance résiduelle est évacuée par les GV via l'ASG et les VDA.

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation relatif à l'atteinte de l'état contrôlé présenté au [§ 2.](#) est donc respecté.

A plus long terme, pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, la capacité d'injection de bore par l'ISMP et le RBS permet d'assurer la sous-criticité du cœur comme démontré au [§ 4.3.2.](#). Le [§ 4.3.3.](#) justifie quant à lui l'absence de risque de retour en criticité lié au phénomène de dilution hétérogène inhérente. La sous-criticité est donc assurée durablement.

L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée via les VDA et l'ASG jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

Enfin, puisque les dommages sur les assemblages combustibles sont limités, les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi la démonstration de l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) est effectuée. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E2

PAGE 13/17

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DE RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E2

PAGE 14/17

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3E2.1 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT B1 –
CONDITIONS INITIALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E2

PAGE 15/17

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.3E2.2 APRP PETITES BRÈCHES EN SOUS-ÉTAT
B2-1 – CONDITIONS INITIALES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3E2

PAGE 16/17

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.3E2.3 APRP PETITES BRÈCHES EN SOUS-ÉTAT
B2-2 – CONDITIONS INITIALES

□

**TAB-15.2.3E2.4 APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT B –
 CONFIGURATION DE L'INJECTION DE SÉCURITÉ SELON
 LES SOUS-ÉTATS CONSIDÉRÉS**

Système IS		État B1	État B2	
			Sous-état B2-1	Sous-état B2-2
ISMP	Configuration de la grande ligne à débit minimum	fermée	fermée	ouverte
ISBP	Mode de fonctionnement	injection de sécurité en branche froide	injection de sécurité en branche froide	conditionnement thermique (passage en mode injection de sécurité en branche froide sur action opérateur)
Accumulateurs	Configuration	disponibles	isolés	isolés

SOMMAIRE

.15.2.3F RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR 1 TUBE (ÉTAT A)	6
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT	6
1.1. GÉNÉRALITÉS	6
1.2. SÉQUENCE TYPIQUE DES ÉVÈNEMENTS	6
1.2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ANNULATION DE LA FUIITE (COURT TERME)	6
1.2.2. DE L'ANNULATION DE LA FUIITE À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR (LONG TERME)	8
1.2.3. REJETS RADIOLOGIQUES	9
1.2.4. PRÉCAUTIONS LIMITANT L'OCCURRENCE DE L'ÉVÈNEMENT	10
2. CRITÈRES DE SÛRETÉ	10
3. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	11
3.1. MÉTHODES D'ANALYSE	11
3.2. PRINCIPALES HYPOTHÈSES	12
3.2.1. DÉFINITION DE L'INCIDENT	12
3.2.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION	12
3.2.3. ACTIONS OPÉRATEUR	13
3.2.4. JUSTIFICATION DES VOLUMES DE BORE À INJECTER	15
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	16
4.1. REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ	16
4.2. REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ	16
4.3. CONSOMMATION DES BACHES ASG	17
5. ÉTUDE DES DIFFÉRENTS CAS ENVISAGÉS	17
5.1. CAS 1 : REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ	17
5.1.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	17
5.1.2. ÉTAT INITIAL	18
5.1.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	18
5.2. CAS 2 : REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ	18

5.2.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	18
5.2.2. ÉTAT INITIAL	18
5.2.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	18
5.3. CAS 3 : CONSOMMATION DES BACHES ASG	18
5.3.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	18
5.3.2. ÉTAT INITIAL	19
5.3.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	19
5.4. RÉSULTATS	19
5.4.1. CAS 1 : REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ	19
5.4.2. CAS 2 : REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ	20
5.4.3. CAS 3 : CONSOMMATION DES BÂCHES ASG	22
6. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	24
7. CONCLUSION	24
LISTE DES RÉFÉRENCES.	26

TABLEAUX :**TAB-15.2.3F.1 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS**

1 27

TAB-15.2.3F.2 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS

2 28

TAB-15.2.3F.3 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS

3 29

TAB-15.2.3F.4 SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 1 30**TAB-15.2.3F.5 SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 2 32****TAB-15.2.3F.6 SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 3 35****FIGURES :****FIG-15.2.3F.1 CAS 1 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV –****TEMPÉRATURES PRIMAIRES..... 38****FIG-15.2.3F.2 CAS 1 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE****RÉTROVIDANGE 39****FIG-15.2.3F.3 CAS 1 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM) 40****FIG-15.2.3F.4 CAS 1 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES – DÉBIT****D'ASPERSION NORMALE..... 41****FIG-15.2.3F.5 CAS 1 – DÉBITS RCV ET IS 42****FIG-15.2.3F.6 CAS 1 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE 43****FIG-15.2.3F.7 CAS 1 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG 44****FIG-15.2.3F.8 CAS 1 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/****SECONDAIRE..... 45****FIG-15.2.3F.9 CAS 1 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV 46****FIG-15.2.3F.10 CAS 1 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT 47****FIG-15.2.3F.11 CAS 1 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS 48****FIG-15.2.3F.12 CAS 1 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉE PAR LES****VDA DES GV 49****FIG-15.2.3F.13 CAS 1 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE DES****GV..... 50****FIG-15.2.3F.14 CAS 1 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION ET EN****TEMPÉRATURE 51**

FIG-15.2.3F.15 CAS 2 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV – TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	52
FIG-15.2.3F.16 CAS 2 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE RÉTROVIDANGE	53
FIG-15.2.3F.17 CAS 2 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM).....	54
FIG-15.2.3F.18 CAS 2 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES – DÉBIT D'ASPERSION NORMALE.....	55
FIG-15.2.3F.19 CAS 2 – DÉBITS RCV ET IS	56
FIG-15.2.3F.20 CAS 2 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE.....	57
FIG-15.2.3F.21 CAS 2 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG.....	58
FIG-15.2.3F.22 CAS 2 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/ SECONDAIRE.....	59
FIG-15.2.3F.23 CAS 2 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV	60
FIG-15.2.3F.24 CAS 2 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT	61
FIG-15.2.3F.25 CAS 2 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS.....	62
FIG-15.2.3F.26 CAS 2 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉE PAR LES VDA DES GV	63
FIG-15.2.3F.27 CAS 2 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE DES GV.....	64
FIG-15.2.3F.28 CAS 2 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION ET EN TEMPÉRATURE	65
FIG-15.2.3F.29 CAS 3 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV – TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	66
FIG-15.2.3F.30 CAS 3 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE RÉTROVIDANGE	67
FIG-15.2.3F.31 CAS 3 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM).....	68
FIG-15.2.3F.32 CAS 3 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES – DÉBIT D'ASPERSION NORMALE.....	69
FIG-15.2.3F.33 CAS 3 – DÉBITS RCV ET IS	70
FIG-15.2.3F.34 CAS 3 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE.....	71
FIG-15.2.3F.35 CAS 3 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG.....	72
FIG-15.2.3F.36 CAS 3 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/ SECONDAIRE.....	73
FIG-15.2.3F.37 CAS 3 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV	74

**RAPPORT DE SURETE****— DE FLAMANVILLE 3 —****Version Publique**

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 5/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG–15.2.3F.38 CAS 3 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT	75
FIG–15.2.3F.39 CAS 3 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS	76
FIG–15.2.3F.40 CAS 3 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉE PAR LES VDA DES GV	77
FIG–15.2.3F.41 CAS 3 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE DES GV	78
FIG–15.2.3F.42 CAS 3 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION ET EN TEMPÉRATURE	79

.15.2.3F RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR 1 TUBE (ÉTAT A)

La rupture d'un tube de générateur de vapeur se produisant à l'état A est classée évènement PCC-3.

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT

1.1. GÉNÉRALITÉS

L'incident étudié est la rupture complète d'un tube dans un générateur de vapeur (RTGV 2A).

Les conséquences principales de cet incident sont liées aux risques de contamination de l'inventaire en eau du secondaire (principalement du GV affecté) par la fuite de fluide primaire (qui peut présenter un certain niveau de contamination dû aux produits de corrosion et de fission correspondant à un fonctionnement permanent avec un nombre limité de crayons combustible défectueux) et éventuellement par décharge d'activité (soit en phase vapeur soit en phase liquide) dans l'atmosphère par le VDA.

La description du déroulement de l'incident est déclinée en phases court et long terme. La phase court terme est définie jusqu'à l'annulation de la fuite, qui englobe l'atteinte de l'état contrôlé (atteint lorsque le cœur est sous-critique et que le débit de fuite de RTGV est compensé par les débits injectés au primaire).

Dans la phase long terme, la tranche passe aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, avec éventuellement un relâchement supplémentaire et temporaire d'activité si le GV affecté est dépressurisé par le VDA ou par la vanne de bipasse de la vanne d'isolement vapeur.

1.2. SÉQUENCE TYPIQUE DES ÉVÈNEMENTS

La séquence typique des événements en cas de RTGV 1 tube est la suivante :

1.2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ANNULATION DE LA FUITE (COURT TERME)

La rupture entraîne une perte de fluide primaire qui est transféré au GV affecté. La brèche provoque une baisse de pression primaire et une contamination du secondaire due au débit direct de la RTGV.

L'arrêt automatique du réacteur intervient soit quand la pression du pressuriseur est inférieure au seuil Min2p, soit quand le niveau du GV affecté est supérieur au seuil Max1p GE.

En cas de brèche RTGV 1 tube :

- côté primaire, le RCV est capable, s'il fonctionne correctement, de compenser le débit de RTGV, sans sollicitation du signal « Pression pressuriseur < Min2p »,
- côté secondaire, la hausse de niveau engendrée par le débit de fuite dans le GV affecté peut être compensée du fait de la régulation de niveau GV, sans sollicitation du signal « Niveau GV > Max1p GE ».

Deux cas sont donc à envisager suivant l'atteinte (1) ou non (2) d'un seuil de protection :

1) Arrêt automatique du réacteur

Le signal d'arrêt automatique du réacteur déclenche automatiquement la turbine et, dans l'hypothèse de l'indisponibilité du condenseur (parce qu'il n'est pas classé F1, ou suite à un MDTE), la pression des générateurs de vapeur augmente rapidement jusqu'à la valeur d'ouverture des VDA, ce qui provoque une décharge de vapeur dans l'atmosphère.

La perte en continu via la RTGV et la contraction du fluide primaire après un arrêt automatique de réacteur depuis un état initial à pleine puissance, conduisent à une dépressurisation du circuit primaire par vidange du pressuriseur.

D'autre part, après un arrêt automatique du réacteur, ou dans des conditions d'attente à chaud, la chaleur transférée du primaire au secondaire devient insuffisante pour vaporiser la totalité du débit

brèche de la RTGV. Il en résulte une hausse de niveau dans le GV affecté. Quand le niveau du GV est supérieur à Max0p GE, le GV affecté est isolé du côté alimentation en eau (fermeture de la ligne ARE petit débit, la ligne ARE grand débit ayant été isolée auparavant suite à l'arrêt automatique du réacteur). Si le niveau du GV continue à monter, à partir de cet instant, ceci est uniquement dû au débit de fuite RTGV.

Un démarrage automatique du RBS peut survenir si la pression du pressuriseur devient inférieure au seuil Min4p, et que l'isolement automatique du RBS n'a pas été réalisé sur « Haut Niveau GV > Max3p GE ».

Un refroidissement partiel est initié soit à l'apparition du signal d'IS par « Pression du pressuriseur < Min3p », soit par signal « Haut Niveau GV > Max2p GE » dans le GV affecté. Il est exécuté soit par le GCT s'il est disponible, soit par les VDA, avec un gradient de refroidissement du primaire de 250°C/h. Il est réalisé par tous les GV y compris le GV affecté. Le signal IS entraîne également l'isolement de la charge et de la décharge (si celle-ci est toujours en service) et en cas de cumul MDTE, le démarrage automatique et temporisé de l'ASG dans tous les GV.

L'état contrôlé est atteint dès que le débit d'ISMP (ou débit de charge RCV lorsque le RCV est disponible) est capable de compenser le débit de la fuite, et dans lequel le cœur est sous-critique et la chaleur résiduelle évacuée du RCP par les GV (VDA et ASG, ou GCT et ARE/AAD quand ils sont disponibles).

A l'issue du refroidissement partiel, la pression primaire est maintenue au maximum au niveau de la pression maximale de refoulement de la pompe ISMP, et un débit direct de RTGV contaminé pénètre toujours dans le GV affecté, ce qui fait monter son niveau.

Quand le niveau d'un GV est supérieur au seuil Max2p 1GE après la fin du refroidissement partiel, ce GV est identifié comme affecté et automatiquement isolé du côté vapeur (fermeture de sa vanne d'isolement vapeur, les vannes d'isolement vapeur des 3 GV non affectés restant ouvertes, hausse de la valeur de consigne de la pression du VDA au-dessus de la pression de refoulement des pompes ISMP et en-dessous de la valeur de la pression de consigne des soupapes de sûreté du GV). Sur ce même signal se produit également l'isolement de l'IJPP et de la charge du RCV si cette dernière n'a pas été au préalable isolée sur signal IS, pour limiter l'alimentation du débit de fuite.

isoler le GV affecté sans attendre le signal « Haut Niveau GV > Max2p GE », à la suite d'un signal d'activité lorsque le refroidissement partiel n'est pas en cours.

La pression augmente ensuite dans le GV affecté, à minima à cause du débit de la RTGV. Au moment où l'équilibre des pressions entre le circuit primaire et le GV affecté est atteint, le débit de fuite s'annule. C'est la fin de la phase court terme. Seules des décharges de vapeur ont eu lieu pendant cette phase.

2) Arrêt du réacteur

Si le RCV fonctionne correctement, la perte de fluide primaire à la brèche peut être compensée par l'appoint du RCV sans sollicitation du signal « Pression pressuriseur < Min2p » d'arrêt automatique du réacteur.

De plus, lors d'un fonctionnement en puissance, avec régulation du niveau des GV, la hausse du niveau du GV due au débit provenant de la fuite RTGV est compensée par une petite baisse du débit d'eau alimentaire et l'arrêt automatique du réacteur par atteinte d'un « Haut Niveau GV > Max1p GE » est évité.

L'arrêt du réacteur sera donc effectué, suite à un signal d'activité secondaire et à l'application des procédures de conduite.

En cas d'arrêt partiellement le GV affecté côté eau (fermeture de la vanne réglante et d'isolement de l'ASG) avant d'entamer une baisse de charge puis de réaliser un AAR à basse puissance. Puis, à la suite du déclenchement de la turbine, l'opérateur isole complètement le GV affecté côté eau et vapeur (fermeture des vannes réglantes et d'isolement de l'ARE, si le VDA du GV affecté n'est pas déclarée inutilisable, fermeture de la vanne d'isolement vapeur et relèvement du seuil de pression d'ouverture du VDA au-dessus de la pression de refoulement ISMP et en-dessous de la pression d'ouverture des soupapes GV), limitant la décharge de vapeur dans l'atmosphère.

1. Le niveau Max2p GE est atteint uniquement dans le GV affecté à cause du liquide venant de la brèche, en raison de l'isolement précédent de tous les dispositifs d'injection d'eau alimentaire du GV (ARE, AAD, ASG) lorsque le niveau du GV est supérieur à Max1p GL.

La perte de fluide primaire via la rupture n'est pas suffisante pour initier automatiquement le signal IS par atteinte d'une « Pression pressuriseur < Min3p ». Dans ce cas, l'état contrôlé est atteint juste après la chute des grappes.

L'opérateur réalise ensuite l'équilibrage des pressions en abaissant la pression primaire au moyen de l'aspersion ou par défaut de masse (suite au début du refroidissement par les GV sains).

1.2.2. DE L'ANNULATION DE LA FUITE À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR (LONG TERME)

L'état d'arrêt sûr est défini comme un état dans lequel il y a au moins un train RIS-RA connecté en mode RA, et dans lequel le GV affecté est isolé. Le mode RA est défini par l'aspiration d'une pompe ISBP dans une branche chaude du RCP et par la réinjection, via l'échangeur RIS/RR1, dans la branche froide de la même boucle du RCP.

Les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA sont :

- pression en branche chaude du RCP < 32 bar,
- température en branche chaude du RCP < 180°C,
- niveau boucle correspondant aux conditions d'aspiration RIS-RA requises à partir de la branche chaude,
- ΔT_{sat}^2 correspondant aux conditions d'aspiration RIS-RA requises à partir de la branche chaude si la pression primaire après stabilisation est inférieure à \square bar.

Si 2 trains RIS-RA étaient indisponibles (par exemple pour défaillance unique + maintenance préventive), 1 train RIS-RA sur les 2 qui reste en mode RA suffirait à garantir l'évacuation de la puissance résiduelle pour maintenir une température en branche chaude inférieure à 180°C. L'autre train configuré en mode injection suffirait à garantir les conditions de fonctionnement du RIS-RA en mode RA (branche chaude sous-saturée avec une pression du RCP d'environ 20 bar).

La séquence d'opérations que l'opérateur doit exécuter pour atteindre l'état d'arrêt sûr peut être divisée en trois phases :

Borication

La borication du RCP se fait par le RBS pendant le refroidissement (la borication par le REA n'est pas prise en compte, car non classée F1). Elle est démarrée par l'opérateur si le RBS n'a pas déjà démarré automatiquement ou s'il a été isolé automatiquement sur « Haut Niveau GV > Max3p GE et P13 et P19 désactivés ». Une fois la borication nécessaire achevée (avant la fin du refroidissement), l'opérateur arrête le RBS.

Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains de RBS en service et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h avec 1 train RBS en fonctionnement,
- 50°C/h avec 2 trains RBS en fonctionnement ou si le volume de bore requis par la conduite a été injecté.

Ces gradients de refroidissement sont définis de manière à ce que la borication associée à chaque train RBS corresponde à l'apport de réactivité provoqué par le refroidissement du RCP.

Refroidissement par les GV non affectés

Le refroidissement du RCP est réalisé par les générateurs de vapeur non affectés. Il est initié par l'opérateur dès le début de la procédure post-accidentelle.

2. $\Delta T_{sat} = T_{sat}$ (pression en branche chaude) - T_{co} , avec T_{co} = température de sortie coeur.

Si les moyens d'aspersion sont indisponibles, une mesure supplémentaire consiste à faire fonctionner l'ISMP afin de ne pas perturber l'équilibre de pression entre le primaire et le GV affecté.

Dépressurisation du RCP et du GV affecté

A la fin de la phase de refroidissement du RCP par les GV non affectés, la température du RCP est compatible avec les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Cependant, la pression du RCP peut être encore proche de la pression de refoulement à débit nul de l'ISMP (si l'ISMP est en marche), et supérieure à la pression maximale de connexion du RIS-RA en mode RA (32 bar). Dans ce cas, pour réaliser la dépressurisation du RCP, l'opérateur commence par arrêter toutes les pompes ISMP, puis isole les accumulateurs au cours de la dépressurisation. Si les moyens de contrôle du niveau pressuriseur sont indisponibles, il démarre l'ISBP si elle ne fonctionne pas déjà. À la fin de la dépressurisation, une éventuelle chute de pression serait alors interrompue à l'atteinte de la pression de refoulement de l'ISBP en mode injection (environ 20 bar), avec une marge à la saturation confortable (la température en branche chaude étant inférieure à 180°C).

Le RCP est ensuite dépressurisé de la façon suivante, selon le fonctionnement des pompes primaires :

- **Pompes primaires arrêtées :**

La dépressurisation du RCP et du GV affecté est effectuée par le secondaire, afin d'éviter un débit RTGV inverse.

Le niveau du GV affecté peut être supérieur à Max2p GE à l'issue de la phase de refroidissement du RCP, et une ouverture directe du VDA du GV affecté (ou de la ligne de bypasse de la vanne d'isolement vapeur si le VDA est inutilisable) pourrait entraîner des rejets liquides dans l'atmosphère par hausse du niveau suite à une ébullition en masse.

Afin d'éviter de tels rejets, il est nécessaire de faire baisser le niveau du GV affecté au-dessous de Max2p GE avant l'ouverture du VDA, en transférant de l'eau du GV affecté dans le GV apparié non affecté, en ouvrant la ligne de transfert APG (ouverture classée F1B).

L'ouverture de la ligne de transfert APG inter-GV permet d'abaisser le niveau du GV affecté, mais ne suffit pas forcément à atteindre la pression du RCP compatible avec la connexion du RIS-RA en mode RA. La dépressurisation est donc complétée si nécessaire par l'ouverture du VDA du GV affecté (ou par la ligne de bypasse de la vanne d'isolement vapeur, classée F1B, en utilisant le VDA d'un autre GV si le VDA du GV affecté est inutilisable) sans risque de rejets liquides dans l'environnement. Si l'aspersion auxiliaire est disponible, elle est utilisée pour minimiser l'écart de pression entre le primaire et le GV affecté.

- **Au moins une pompe primaire en service, aspersion inutilisable :**

La dépressurisation du RCP et du GV affecté est effectuée par le secondaire, comme pour le cas avec les pompes primaires arrêtées.

- **Au moins une pompe primaire en service, aspersion utilisable :**

La dépressurisation du RCP et du GV affecté est réalisée par le primaire, par l'aspersion du pressuriseur (commande analogique non classée ou commande binaire en tout ou rien de la vanne d'aspersion normale classée F1B).

La dépressurisation par le primaire entraîne une inversion du débit RTGV. Ceci est acceptable car au moins une pompe primaire fonctionne, et sous réserve que la dilution homogène résultante ne conduise pas à une concentration en bore du circuit primaire inférieure à celle requise pour l'état d'arrêt sûr.

Cette dépressurisation est toutefois limitée du côté primaire par le remplissage du pressuriseur et du côté secondaire par un risque de découverture des épingles du GV affecté, si la masse transférée par débit inverse de RTGV est trop importante. Ainsi, dès que le niveau du pressuriseur atteint $\square\%$ GM ou que le niveau du GV affecté atteint le seuil Min1p GE (situé au-dessus des épingles), la dépressurisation du RCP et du GV affecté est effectuée par le secondaire, comme pour le cas avec les pompes primaires arrêtées.

1.2.3. REJETS RADIOLOGIQUES

Avant le déclenchement de la turbine, de la vapeur contaminée traverse la turbine et se condense dans le circuit de dérivation de la vapeur. Les produits radioactifs gazeux et insolubles sont évacués dans l'atmosphère via les éjecteurs d'air et sont détectés grâce au contrôle d'activité permanent et aux mesures périodiques.

Après le déclenchement de la turbine, si le condenseur n'est pas disponible, les vannes GCT restent fermées provoquant ainsi l'ouverture des VDA. La vapeur est alors rejetée directement dans l'atmosphère.

Les conséquences radiologiques sont traitées dans la section se rapportant à la « rupture d'un tube de générateur de vapeur (PCC-3) » (voir paragraphe 3.6 du sous-chapitre 15.3).

1.2.4. PRÉCAUTIONS LIMITANT L'OCCURRENCE DE L'ÉVÈNEMENT

La probabilité de l'événement RTGV est réduite grâce aux précautions suivantes :

- Les tubes des générateurs de vapeur sont en Inconel 690, matériau de haute ductilité.
- Le système de purge en partie basse du faisceau tubulaire des GV est conçu afin d'empêcher les dépôts solides sur la plaque tubulaire.
- L'eau du circuit secondaire est conditionnée chimiquement et les caractéristiques chimiques sont contrôlées fréquemment, ce qui met les tubes GV à l'abri des phénomènes de corrosion.
- Mécaniquement, les générateurs de vapeur sont conçus pour empêcher que tout projectile provenant de l'eau alimentaire ne vienne heurter violemment un ou plusieurs tubes. Par ailleurs, en cas de rupture franche des tubes, la présence de neuf plaques entretoises limite le fouettement et la rupture des tubes avoisinants.
- Les plaques entretoises de tenue du faisceau tubulaire sont conçues, de par la nature du matériau utilisé et la géométrie du perçage, pour empêcher les phénomènes généralisés de corrosion tube/plaque tubulaire de type denting.
- Le contrôle de l'activité de l'eau secondaire des GV (purges de GV) permet de vérifier le respect des limites établies dans les spécifications techniques d'exploitation, fixées à partir de fuites du primaire vers le secondaire bien inférieures au débit à travers un tube rompu.
- L'activité de la vapeur sortant des GV fait l'objet d'un contrôle permanent au niveau des lignes vapeur (utilisation de mesures d'activité dédiées) et aucun dépassement des limites établies dans les spécifications techniques d'exploitation n'est permis au cours du fonctionnement.
- Un bilan du débit du RCV est fait en continu entre la décharge et la charge pour quantifier la fuite entre le primaire et le secondaire.

2. CRITÈRES DE SÛRETÉ

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet incident PCC-3 sont les suivants :

- Les gaines des assemblages combustibles doivent rester intactes.
- Les soupapes de sûreté du GV affecté ne doivent pas être sollicitées au cours du transitoire. Le risque de bloquer l'une de ces soupapes en position ouverte est ainsi évité.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée. Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).

- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

La prévention de l'endommagement du cœur (maintenir la possibilité de refroidir le cœur et éviter l'augmentation de la concentration d'activité du côté primaire) est traitée dans les études concernant les APRP (voir section 15.2.3e).

La procédure de mitigation des RTGV, impliquant des actions automatiques et des interventions , est définie de manière à remplir les deux objectifs suivants :

- prévention du sur-remplissage du GV affecté, pour éviter l'augmentation du dégagement d'activité par décharge de liquide dans l'atmosphère.
- minimisation du débit inverse d'une fuite due à une RTGV, afin d'éviter les problèmes de bouchon d'eau faiblement borée dans le circuit primaire, au cas où les pompes primaires ne seraient pas en marche (par exemple à la suite d'un MDTE).

3. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

3.1. MÉTHODES D'ANALYSE

-
-
-
-
- Les phénomènes dominants de l'évènement RTGV sont peu nombreux et sont pour la plupart indépendants d'effet « modèle » et « code ». Ce sont :
 - le débit RTGV et le remplissage du GV qui en résulte,
 - la vidange modérée du RCP (pressuriseur) et la dépressurisation (équilibre avec la pression du GV affecté),
 - l'évacuation asymétrique de la chaleur du RCP par les GV non affectés dans des conditions de sous-saturation du circuit primaire (pompes primaires en marche ou à l'arrêt),
 - le refroidissement du RCP, et la dépressurisation du RCP jusqu'aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA (pompes primaires en marche ou à l'arrêt).
- De tous ces phénomènes physiques, seul le débit brèche RTGV est spécifique au scénario, les autres phénomènes étant rencontrés et maîtrisés pour d'autres initiateurs PCC. :

- L'analyse de l'incident repose sur l'application des règles conservatives d'analyse PCC définies dans la section 15.0.2. Une partie de ces règles correspond à la pénalisation déterministe de toutes les conditions aux limites utiles, par rapport aux critères techniques d'acceptation pris en considération. Ces pénalisations concernent au moins :
 - la caractérisation de l'évènement initiateur (maximisation de l'effet provoqué),
 - les conditions initiales de la tranche (limites de contrôle de bande morte, incertitudes de mesures maximales),

- l'efficacité des actions de protection et de mitigation (incertitude maximale sur chaque mesure I&C et délai de signal de contrôle-commande, et sur le temps de réponse et la capacité de chaque système).

Cette méthodologie d'analyse donne des résultats conservatifs qui peuvent être directement utilisés pour l'évaluation du respect des critères techniques d'acceptation.

3.2. PRINCIPALES HYPOTHÈSES

3.2.1. DÉFINITION DE L'INCIDENT

Les cas étudiés ici correspondent à la rupture guillotine doublement débattue d'un tube dans un générateur de vapeur, ce qui donne lieu à une vidange sans entrave aux extrémités du tube sectionné.

La rupture de tube se situe en bas du faisceau tubulaire du GV, du côté branche froide (au niveau de la partie supérieure de la plaque tubulaire du GV dans la zone de sortie du GV). Cette localisation de la rupture maximise le débit brèche de la RTGV.

Pour les études PCC, on doit supposer qu'une perte des alimentations électriques externes (MDTE) se produit en plus, si cela est pénalisant.

3.2.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION

Les différentes protections et chaînes de détection automatiques (classées F1A) qui peuvent intervenir dans le cadre de la mitigation d'un événement de type RTGV sont liées soit à la dépressurisation du circuit primaire, soit à la hausse du niveau dans le GV affecté, soit à l'augmentation de l'activité du côté secondaire.

Les signaux F1A d'arrêt automatique du réacteur possibles sont :

- « Basse Pression Pressuriseur < Min2p »,
- « Haut Niveau GV > Max1p GE ».

Si aucun des signaux mentionnés ci-dessus n'est sollicité, □ l'arrêt du réacteur suite à un signal d'activité F1A.

Les autres protections F1A automatiques sont les suivantes :

- isolement des lignes ARE grand débit :
Quand le signal d'arrêt automatique du réacteur apparaît, les lignes ARE à grand débit sont fermées dans toutes les boucles.
- IS et refroidissement partiel :
Quand le signal « Basse Pression Pressuriseur < Min3p » est atteint et si P12 n'a pas été activé, les pompes RIS démarrent et un refroidissement partiel exécuté par tous les GV y compris le GV affecté est initié.
- démarrage du RBS :
Lorsque le signal « Basse Pression Pressuriseur < Min4p » est atteint, le RBS démarre, excepté si le signal d'isolement RBS sur « Haut Niveau GV > Max3p GE » est présent.
- isolement du RBS :
L'isolement du RBS intervient sur signal « Haut Niveau GV > Max3p GE et P13 désactivé et P19 désactivé », signal prioritaire sur le démarrage automatique sur « Basse Pression Pressuriseur < Min4p ».
- refroidissement partiel :
Quand le signal « Haut Niveau GV > Max2p GE » est atteint et si le refroidissement partiel n'a pas déjà été activé, un refroidissement partiel exécuté par tous les GV y compris le GV affecté est initié.

- isolement du GV affecté (côté alimentation) :
Le GV affecté est isolé par « Haut Niveau GV > Max1p GE », (isolement de la ligne ARE grand débit) ou, s après l'arrêt automatique du réacteur, par « Haut Niveau GV > Max0p GE » (isolement de la ligne ARE petit débit). L'isolement de l'ASG est réalisé sur le signal « Haut Niveau GV > Max1p GL ».
- isolement du GV affecté (côté vapeur) :
Après atteinte du signal « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé », le GV affecté est isolé (fermeture de la vanne d'isolement vapeur, augmentation du seuil de pression du VDA au-dessus de la pression de refoulement à débit nul de la pompe ISMP mais en-dessous de la valeur de pression des soupapes de sûreté du GV).
- isolement de la ligne de charge du RCV et de l'IJPP :
L'isolement de la ligne de charge RCV intervient :
 - sur signal IS (la décharge est également isolée sur ce signal si celle-ci est toujours en service), ou
 - sur signal « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé ». Ce signal isole également l'IJPP.
- isolement de la décharge RCV : Sur signal de « Bas Niveau pressuriseur < Min1p + AAR », la décharge RCV est isolée.
- Démarrage de l'ASG :
Sur signal « Bas Niveau GV < Min2p GL », le train d'ASG est démarré dans le GV correspondant. En cas de MDTE, tous les trains d'ASG sont démarrés 900 secondes après le signal IS.
- ouverture du VDA :
Quand la pression du GV atteint la valeur de consigne du VDA (« Pression du GV > Max1p »), le VDA de ce GV s'ouvre et permet l'évacuation de chaleur avec contrôle de la pression.
- isolement de la vanne d'isolement vapeur :
Quand le signal « Basse Pression GV < Min1p » (avant activation de P12) ou « Baisse rapide de pression du GV > Max1p » est atteint, la fermeture des vannes d'isolement vapeur est initiée (toutes les lignes du circuit vapeur sont isolées, quel que soit le GV concerné).
- isolement du VDA :
Quand le signal « Basse Pression GV < Min3p » est atteint et si P12 n'a pas été activé, le VDA du GV correspondant est isolé (fermeture de la vanne d'isolement VDA associée, liée au GV).

3.2.3. ACTIONS OPÉRATEUR

Aucune intervention de l'opérateur ne peut être prise en compte avant que 30 minutes ne se soient écoulées après la première information significative en salle de commande. Quand il est nécessaire que l'opérateur agisse localement, ce délai est rallongé à 1 heure.

Suite à l'atteinte de l'état contrôlé, les actions F1B pouvant être exécutées par l'opérateur sur indications des procédures de conduite, liées à la détection de la RTGV et à l'interruption du débit dû à une RTGV, sont les suivantes :

- isolement du GV affecté :
 - isolement de l'ASG, s'il n'a pas déjà été isolé,
 - isolement de l'ARE/AAD, s'il n'a pas déjà été isolé,
 - fermeture de la vanne d'isolement vapeur, si elle n'a pas déjà été fermée,
 - augmentation de la pression de consigne du VDA, si elle n'a pas déjà été augmentée.
- borication et refroidissement contrôlé du RCP :
 - démarrage des pompes RBS si elles n'ont pas déjà été démarrées automatiquement,

- activation du permissif P19 et mise en service du refroidissement du RCP par les GV sains utilisables, avec un gradient à - 25° C/h (1 seul train RBS en service) ou - 50° C/h (2 trains RBS en service ou volume de bore requis par la conduite injecté),
- restauration et maintien du niveau des GV par ouverture/fermeture de l'ASG sur les GV sains, si pas de contrôle automatique F1B du niveau du GV.
- équilibrage des pressions si la pression primaire est au-dessus de bar relatif :
 - dépressurisation du RCP par l'aspersion normale, si elle fonctionne, et mise à l'arrêt des chaufferettes,
 - en cas d'indisponibilité des aspersion, si aucun train ISMP n'est en service, activation d'un train ISMP de manière à éviter la dégradation de la marge à saturation en cas de vidange et baisse de pression rapide du pressuriseur.
- refroidissement partiel du RCP par les GV non affectés :
 - si l'ISMP est en service mais que le refroidissement partiel automatique par les 4 GV n'a pas déjà été activé, activation du refroidissement partiel du RCP par les GV sains utilisables.
- arrêt de l'ISMP :
 - arrêt de tous les trains ISMP, sauf un tant que la température de connexion du RIS-RA en mode RA n'est pas atteinte ou que le niveau du pressuriseur n'est pas supérieur à % GM et que la température de sortie cœur n'est pas inférieure à « Tsat(Pression GV affecté isolé) – ΔTsat(cible de restauration) ».
- isolement de la ligne de charge du RCV :
 - en cas d'indisponibilité des aspersion, isolement de la charge à la fin du refroidissement partiel,
 - sinon isolement de la charge sur « Haut Niveau Pressuriseur > % GM ».

Les actions F1B devant être exécutées par l'opérateur sur indications des procédures de conduite et liées au passage à l'état d'arrêt sûr, sont les suivantes :

- ouverture du barillet ASG à l'aspiration et au refoulement des pompes :
 - ouverture du barillet passif ASG en aval des pompes (action effectuée depuis la salle de commande grâce aux vannes motorisées du barillet ASG) et relignage du refoulement des pompes ASG en service vers les GV sains par l'intermédiaire du barillet dédié,
 - ouverture du barillet passif ASG en amont des pompes et relignage d'une bache ASG vers l'aspiration des pompes ASG en service par l'intermédiaire du barillet dédié.
- refroidissement du RCP par les GV non affectés :
 - poursuite du refroidissement du RCP jusqu'à l'atteinte de la température de connexion du RIS-RA en mode RA.
- borication du RCP :
 - arrêt des pompes RBS dès que le volume de bore requis par la conduite a été injecté.
- dépressurisation du RCP et du GV affecté :
 - dépressurisation du RCP par l'aspersion normale du pressuriseur si elle fonctionne,
 - en cas d'indisponibilité des aspersion, mise en service des trains ISBP, si l'ISBP n'avait pas été précédemment activée (avant la connexion des trains RIS-RA en mode RA pour prévenir toute chute incontrôlée de pression),

- si le niveau du GV affecté est supérieur au seuil de niveau Max2p GE, isolement complet (en eau et vapeur) du GV apparié non affecté, puis ouverture de la ligne APG spécifique pour le transfert de l'eau du GV affecté au GV apparié,
 - ouverture du VDA du GV affecté ou de la ligne de bipasse de la vanne d'isolement vapeur (si le VDA du GV affecté est inutilisable) si le niveau du GV affecté est inférieur au seuil de niveau Max2p GE.
- gestion de l'APG :
- ouverture de la ligne de transfert APG entre le GV apparié et le GV affecté si le niveau de ce dernier est supérieur au seuil Max2p GE lorsque sa dépressurisation est demandée,
 - sur isolement partiel du GV affecté, isolement des purges APG de tous les GV sains (pour éviter leur contamination).
- connexion des trains RIS-RA en mode RA.

3.2.4. Justification des volumes de bore à injecter

Justification du volume de bore à injecter si aucun GMPP n'est en service

La sous-criticité du cœur doit être démontrée à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Les hypothèses de cette démonstration sont les suivantes :

- Pour les cas de RTGV pompes primaires hors service, les procédures de conduite sont optimisées de manière à éliminer les situations de rétrovidange. Aucune rétrovidange n'est donc prise en compte.
- Seul l'apport de bore par le RBS est considéré (l'apport des autres sources de bore IS, RCV et IJPP après basculement sur IRWST n'est pas valorisé). .
- .

la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr est garantie ($keff < 0,99$) .

Justification du volume de bore à injecter si au moins un GMPP est en service

La sous-criticité du cœur doit être démontrée à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Les hypothèses de cette démonstration sont les suivantes :

- De manière découplée et pénalisante, la totalité de la masse d'eau contenue dans un GV à la fin du refroidissement partiel et à un niveau GV correspondant à Max2p GE se vidange dans le circuit primaire .
- .
- Seul l'apport de bore par le RBS est considéré (l'apport de bore par l'IJPP et le RCV n'est pas valorisé alors que l'aspiration des pompes RCV est basculée sur l'IRWST depuis le début des actions opérateur).

la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr est garantie ($keff < 0,99$) .

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

La phase court terme, telle que définie pour l'étude des RTGV, est la période comprise entre l'apparition de la RTGV et l'annulation de la fuite. Cette phase inclut l'état contrôlé qui correspond à l'état où le débit IS (ou le débit RCV, si ce dernier fonctionne correctement) compense le débit de fuite de la RTGV, le cœur étant sous-critique.

La phase long terme est la période comprise entre la maîtrise de la fuite et l'état d'arrêt sûr (c'est-à-dire l'obtention des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA). Elle inclut les phases de boratation et le refroidissement simultané du RCP par les GV non affectés ainsi que la dépressurisation finale du RCP et du GV affecté.

Pour les RTGV, les objectifs d'étude consistent en la vérification du respect des critères techniques d'acceptation tels que décrits dans le § 2. Cette vérification se fait en trois étapes, sur l'ensemble de l'étude RTGV (jusqu'à la fin de la phase long terme) :

- vérifier l'absence de débordement du GV affecté, donc de rejets liquides contaminés (cas 1),
- vérifier que la quantité de vapeur contaminée rejetée par le GV affecté est telle que les critères radiologiques sont respectés (cas 2),
- vérifier que la capacité des bâches ASG est suffisante (cas 3).

4.1. REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ

Pour vérifier qu'aucun débordement du GV ne se produit et donc qu'il n'y a aucun rejet de liquide dans l'atmosphère (sauf sous forme d'humidité résiduelle de la vapeur), il est pénalisant de minimiser la puissance primaire à évacuer.

En effet, pour arriver au contenu maximum dans le GV affecté, il est pénalisant de maximiser l'inventaire d'eau initial du GV affecté (maximum à faible puissance) et de minimiser la quantité de vapeur rejetée (et donc de minimiser la puissance que le GV doit évacuer).

Le cas le plus pénalisant est donc :

- avec une puissance initiale faible (c'est-à-dire 2% PN),
- avec superposition d'un MDTE lors de l'arrêt du réacteur.

Les autres hypothèses spécifiques liées à ce cas sont décrites dans le § 5.1.

4.2. REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ

Pour arriver au maximum de vapeur rejetée par le GV affecté, il est pénalisant :

- pour la phase court terme, de maximiser la puissance primaire à évacuer afin de maximiser la vaporisation du GV affecté,
- pour la phase long terme :
 - de maximiser la pression du GV affecté à l'ouverture du VDA (ou de la ligne de bypasse de la VIV) afin de maximiser la décharge de vapeur durant la dépressurisation finale,
 - de retarder, lors de la dépressurisation par le VDA (ou de la ligne de bypasse de la VIV), l'atteinte des conditions d'arrêt de la dépressurisation du GV affecté (P14 présent si au moins un GMPP est en service, pression primaire stable si aucun GMPP n'est en service) afin de maximiser la décharge de vapeur durant la dépressurisation finale.

Le cas le plus pénalisant est donc :

- avec une puissance initiale maximale (c'est-à-dire 102% PN),

- avec superposition d'un MDTE lors du signal IS,
- avec une fuite non compensée aux joints des GMPP initiée par la perte de la charge RCV et de l'IJPP lors du MDTE.

Le MDTE est cumulé sur signal IS, qui correspond à l'instant de cumul le plus tardif, car cela diffère au maximum l'instant d'arrêt des pompes primaires (la puissance des GMPP doit donc être évacuée en plus de la puissance résiduelle), ce qui pénalise les rejets durant la phase court terme. Par la suite, durant la phase long terme, le cumul MDTE est pénalisant car l'absence de circulation dans la boucle affectée permet le maintien en température et donc en pression du GV affecté.

La fuite non compensée aux joints des GMPP initiée par la perte de la charge RCV et de l'IJPP lors du MDTE conduit à atteindre plus tardivement les conditions d'arrêt de la dépressurisation du GV affecté.

Les autres hypothèses spécifiques liées à ce cas sont décrites dans le [§ 5.2.](#)

4.3. CONSOMMATION DES BACHES ASG

Pour vérifier la capacité à rallier l'état d'arrêt sûr, il est pénalisant de maximiser la consommation de l'eau des bâches ASG en retardant au maximum l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA et donc en maximisant l'énergie à évacuer au secondaire (c'est-à-dire 102% de la puissance du réacteur additionné de la puissance des GMPP).

Le cas le plus pénalisant pour cet aspect est donc :

- avec une puissance initiale maximale (c'est-à-dire 102% PN),
- sans MDTE,
- avec une fuite non compensée aux joints des GMPP initiée par l'isolement de l'IJPP sur « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé ».

La fuite non compensée aux joints des GMPP retarde l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

Les autres hypothèses spécifiques liées à ce cas sont décrites dans le [§ 5.3.](#)

5. ÉTUDE DES DIFFÉRENTS CAS ENVISAGÉS

5.1. CAS 1 : REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ

5.1.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La maintenance préventive est appliquée sur le diesel d'une division associée à un GV sain. Le MDTE étant cumulé au cas étudié, l'ensemble de la division électrique associée est indisponible, exceptés les équipements secourus par batteries, qui restent alimentés pendant 2h après l'occurrence du MDTE³. La défaillance unique est également envisagée sur un diesel, dans une autre division correspondant à un GV sain et interconnectée avec celle en maintenance. Les conséquences sont les suivantes :

- trains ASG indisponibles pour les GV associés à ces divisions,
- trains ISMP et ISBP indisponibles dans ces divisions,
- train RBS alimenté par l'un de ces deux diesels en cas de cumul MDTE rendu indisponible par le choix de cet aggravant et de cette maintenance préventive.

3. Au-delà des 2h d'autonomie, le VDA est opérable en local.

5.1.2. ÉTAT INITIAL

Les conditions initiales sont choisies de manière à minimiser la puissance à évacuer, à maximiser la différence de pression entre le RCP et le GV et à maximiser le volume d'eau contenu dans le GV. Elles sont données dans le tableau [TAB-15.2.3f.1](#). Les conditions initiales les plus pénalisantes pour l'aspect remplissage du GV affecté sont obtenues en prolongation de cycle, avec un point de fonctionnement correspondant aux conditions d'attente à chaud au pas de stretch de 80% de la puissance nominale.

5.1.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

□

5.2. CAS 2 : REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ

5.2.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La défaillance unique est postulée sur la vanne réglante du VDA du GV affecté, qui reste bloquée dans sa position initiale (complètement ouverte). A la première sollicitation de la vanne d'isolement du VDA, le VDA du GV affecté reste bloqué en position ouverte jusqu'à refermeture de la vanne d'isolement, augmentant le relâchement de vapeur contaminée à l'atmosphère, ce qui est pénalisant.

Afin de maximiser le dégagement de vapeur, il est pénalisant de ne pas alimenter le GV affecté après l'arrêt du réacteur. Toutefois, l'opérateur anticipant l'isolement en eau de secours du GV, il est inutile de supposer la perte d'une pompe ASG pour le GV affecté.

Le MDTE étant cumulé au cas étudié, la maintenance préventive est appliquée sur le diesel d'une division correspondant à un GV sain, ce qui rend indisponible l'ensemble de la division électrique associée, exceptés les équipements secourus par batteries, qui restent alimentés pendant 2h après l'occurrence du MDTE. Les conséquences sont les suivantes :

- train ASG indisponible pour le GV associé à la division,
- train ISMP et ISBP indisponibles dans cette division.

5.2.2. ÉTAT INITIAL

Les conditions initiales sont choisies de manière à maximiser la puissance à évacuer, à maximiser la différence de pression entre le RCP et le GV affecté, et à minimiser le volume d'eau contenu dans les GV, afin de pénaliser l'évacuation de puissance et de favoriser la vaporisation du GV affecté. Elles sont données dans le tableau [TAB-15.2.3f.2](#).

5.2.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

□

5.3. CAS 3 : CONSOMMATION DES BACHES ASG

5.3.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La défaillance unique est choisie de manière à pénaliser la capacité des systèmes F1 à boriquer et refroidir le RCP afin de l'amener aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA le plus tardivement possible. L'aggravant est donc pris sur une pompe RBS, ce qui est pénalisant à long terme pour la borication et pour le gradient de refroidissement qui est divisé par deux tant que la concentration en bore de l'arrêt à froid n'est pas atteinte (25° C/h). Cet allongement de la durée d'atteinte de l'état d'arrêt sûr est pénalisant vis-à-vis de la consommation des bâches ASG.

Pour pénaliser encore plus le refroidissement, la maintenance préventive est appliquée sur un train ASG correspondant à un GV sain réduisant l'évacuation de la puissance primaire par le secondaire.

Le MDTE n'est pas postulé afin de maximiser l'énergie extraite au primaire.

5.3.2. ÉTAT INITIAL

Les conditions initiales sont choisies de manière à maximiser l'énergie du primaire et à minimiser l'inventaire en eau initial du secondaire. La pression de consigne des VDA est prise à sa valeur maximale dans tous les GV afin de maximiser l'énergie du secondaire et de maximiser la pression du GV affecté après l'équilibrage des pressions pour maximiser la rétrovidange. Elles sont données dans le tableau [TAB-15.2.3f.3](#).

5.3.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

□

5.4. RÉSULTATS

5.4.1. CAS 1 : REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ

- La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.3f.4](#).
- Les figures [FIG-15.2.3f.1](#) à [FIG-15.2.3f.14](#) présentent l'évolution des principaux paramètres.

La maintenance préventive est considérée sur le diesel de la division associée au GV1. La défaillance unique est considérée sur le diesel de la division associée au GV2.

L'ouverture de la brèche a pour conséquence une dépressurisation du circuit primaire. Le niveau pressuriseur diminue en dessous de la valeur « Seuil □ », ce qui provoque le démarrage de la seconde pompe de charge (123 s). Le débit de fuite est alors compensé par le débit de charge RCV.

Le niveau d'eau dans le GV affecté augmente et l'AAR intervient sur signal de « Haut Niveau GV > Max1p GE » à 455 s. Le cumul du MDTE intervient au même instant. La pression dans les GV augmente jusqu'à atteindre le seuil d'ouverture des VDA. L'ARE petit débit sur le GV affecté est perdu suite au MDTE à 460 s.

Le niveau du GV affecté continue à augmenter et atteint le seuil Max2p GE à 889 s, ce qui provoque le démarrage du refroidissement partiel à 250°C/h à l'aide des VDA des 4 GV.

Le niveau du GV affecté, qui diminue sous l'action du refroidissement par les VDA, remonte à nouveau après la fin du refroidissement partiel. Le GV affecté est alors automatiquement isolé sur seuil « Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé » à 1039 s, ce qui implique la fermeture de la VIV et le relèvement du point de consigne du VDA □. La charge RCV et l'IJPP sont isolées sur le même seuil.

Le seuil « Basse Pression pressuriseur < Min4p » de démarrage du RBS est atteint. Le seuil d'isolement du RBS sur « Haut Niveau GV > Max3p GE » étant déjà atteint à cet instant, le RBS ne peut être démarré automatiquement.

La dépressurisation du circuit primaire se poursuit, et le seuil « Basse Pression Pressuriseur < Min3p » est atteint (1817 s). Le signal IS est émis, ce qui provoque le démarrage des pompes ISMP et ISBP. 900 secondes après le signal « IS + MDTE », les niveaux des GV 3 (GV affecté) et 4 sont supérieurs au seuil Max1p (GL) qui requiert l'isolement de l'ASG du GV concerné. L'ASG ne peut donc pas démarrer dans ces deux GV. L'ASG des GV 1 et 2 est indisponible du fait du choix de l'aggravant et de la maintenance préventive sur les diesels des divisions 1 et 2.

La chute des grappes assure la sous-criticité ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée par les VDA des GV sains. La fuite s'annule par équilibrage des pressions et l'inventaire en eau du primaire se stabilise. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. L'état contrôlé est donc atteint.

Les premières actions opérateurs interviennent 30 minutes après l'AAR (2255 s) : l'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle au MCP (gérée par le Diagnostic Automatique) ou au MCS, conduit l'opérateur vers la stratégie Passage en Arrêt à Froid (PAF) en RTGV, suite à un signal d'activité.

Il démarre l'ASG dans le GV4, démarre la seule pompe RBS disponible, valide le permissif P19 et entame un refroidissement à 25°C/h à l'aide des VDA des GV sains. Il lui est par ailleurs demandé de réguler le niveau du GV apparié au GV affecté (GV4) [1]. L'opérateur procède par la suite au relignage de l'ASG du GV affecté vers les GV sains en ouvrant le barillet en aval des pompes ASG depuis la salle de commande (trains ASG 1 et 2 non secourus suite à la perte des diesels correspondants).

Lors de cette phase de refroidissement, la marge à la saturation est provisoirement dégradée ($\Delta T_{sat} <$ cible de restauration). L'opérateur procède à l'arrêt de toutes les pompes ISMP sauf une lorsque la marge à la saturation est restaurée (3221 s).

Lorsque le volume de bore injecté permet d'assurer la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr [1] sans GMPP en service, l'opérateur arrête le RBS (10732 s) et poursuit le refroidissement contrôlé, à 50°C/h.

Une fois que le refroidissement jusqu'à la température de connexion du RIS-RA en mode RA est terminé (16155 s), l'opérateur arrête la dernière pompe ISMP puis débute la dépressurisation du GV affecté. L'opérateur isole le GV apparié au GV affecté, et ouvre alors la ligne de transfert (16215 s). Le niveau du GV affecté baisse alors grâce au transfert d'eau qui s'effectue par différence de pression entre les deux GV.

Dès que le niveau repasse sous le seuil Max2p GE (27609 s), le risque d'effectuer des rejets liquides à l'atmosphère est écarté. L'opérateur dépressurise alors le GV affecté et le circuit primaire à l'aide du VDA associé, puis active le permissif P15 pour inhiber le signal IS sur bas ΔP_{sat} . Le GV affecté est dépressurisé jusqu'à atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA dans le circuit primaire.

L'injection de bore par le RBS garantit la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$) [1]. La connexion du RIS-RA en mode RA garantit l'évacuation de la puissance résiduelle. Au cours du calcul, aucun débordement du GV affecté n'est observé. L'absence de rejet liquide dans l'atmosphère (excepté sous forme d'humidité résiduelle de la vapeur) est garantie. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. La consommation totale d'ASG est inférieure à la capacité des bâches ASG [1].

L'état d'arrêt sûr est atteint 32529 s après l'occurrence de la RTGV.

Les soupapes de sûreté des GV ne sont pas sollicitées. L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est démontrée. L'ensemble des critères techniques d'acceptation listés dans le § 2. est donc respecté.

Analyse du cycle naturel :

Un cas initié en prolongation de cycle conduit à une pression secondaire beaucoup plus faible dans les GV par rapport à un cas initié en cycle naturel. Le refroidissement partiel, initié sur le signal « Haut Niveau GV > Max2p GE », est donc beaucoup plus court en prolongation de cycle, ce qui conduit à un inventaire en eau du GV affecté plus favorable en cycle naturel à l'issue de ce refroidissement partiel et de l'isolement automatique en vapeur du GV affecté. Cet écart d'inventaire en eau est ensuite conservé pendant la conduite opérateur. Par conséquent, le cas en cycle naturel est couvert par le cas en prolongation de cycle.

5.4.2. CAS 2 : REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ

- La séquence des événements pour le cas 2 est donnée dans le tableau [TAB-15.2.3f.5](#).
- Les valeurs représentatives de l'évolution des principaux paramètres thermo-hydrauliques sont présentées figures [FIG-15.2.3f.15](#) à [FIG-15.2.3f.28](#).

La maintenance préventive est considérée sur le diesel de la division associée au GV2. La défaillance unique est considérée sur la vanne réglante du VDA du GV3.

L'ouverture de la brèche a pour conséquence une perte de l'inventaire en eau du primaire.

Dès que le niveau du pressuriseur diminue en dessous de la valeur « Seuil [] », la deuxième pompe de charge RCV démarre automatiquement (185 s), et la décharge est automatiquement isolée sur le seuil de bas niveau pressuriseur Min2 à 1168 s. À long terme, la dépressurisation du circuit primaire par vidange du pressuriseur serait alors stoppée. Le RCV compensant la perte de masse du primaire, la pression primaire se stabiliserait à une nouvelle valeur d'environ [] bar. Dans le cas étudié, l'arrêt [] du réacteur intervient avant cette phase de stabilisation.

La régulation de niveau des GV par l'ARE fonctionnant correctement, le transfert de masse du primaire vers le GV affecté se traduit par une réduction du débit d'ARE dans ce GV. Le niveau du GV affecté reste constant et égal à sa valeur initiale.

Suite à un signal d'activité immédiatement après l'ouverture de la RTGV, l'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle au MCP (gérée par le DA) ou au MCS, conduit l'opérateur à l'isolement partiel du GV radioactif (isolement du train ASG et des lignes de conditionnement et purge) juste avant d'effectuer une baisse de charge, puis un arrêt [] du réacteur à basse puissance. Dans la simulation de l'incident, de manière découplée, comme indiqué au § 5.2.3, un AAR [] est réalisé 50 minutes après le début de l'incident, depuis une puissance égale à la puissance initiale maximisée.

L'opérateur est orienté vers la stratégie Passage en Arrêt à Froid (PAF) en RTGV. La ligne ARE grand débit est automatiquement isolée sur arrêt du réacteur, et la ligne petit débit ARE est considérée indisponible pour pénaliser la vaporisation des GV. L'opérateur active donc l'ASG dans les GV sains utilisables.

Après l'arrêt [] du réacteur et le déclenchement turbine, l'opérateur procède à l'isolement complet du GV radioactif : la défaillance de la vanne réglante du VDA du GV affecté est détectée et l'opérateur déclare donc le VDA du GV affecté inutilisable. L'augmentation de la pression dans les lignes vapeur suite au déclenchement turbine conduit rapidement à l'ouverture de la vanne d'isolement du VDA du GV affecté sur le seuil « Haute Pression GV > Max1p » (3008 s). Dès l'ouverture de cette vanne d'isolement et le blocage en position pleine ouverte de sa vanne réglante, la vapeur est rejetée dans l'atmosphère et les 4 GV se dépressurisent, les VIV n'étant pas isolées.

La pression primaire diminuant très rapidement à cause de la dépressurisation des 4 GV, les seuils de « Basse Pression Pressuriseur < Min4p » (démarrage RBS) et « Basse Pression Pressuriseur < Min3p » (activation automatique du signal IS) sont atteints respectivement à 3069 s et 3112 s. Le signal IS entraîne l'isolement de la charge RCV, la mise en service des pompes ISMP et ISBP, et démarre automatiquement le refroidissement partiel à -250°C/h. Le cumul MDTE intervient au même instant, entraînant la perte des GMPP, la perte de l'aspersion normale et la perte de l'IJPP. La perte de l'IJPP entraîne une fuite non compensée aux joints des GMPP. Le refroidissement primaire s'effectue plus rapidement qu'à -250°C/h du fait du blocage ouvert de la vanne réglante du VDA du GV affecté.

L'opérateur procède ensuite au relignage de l'ASG du GV affecté vers un GV sain non alimenté depuis la salle de commande à 3205 s (GV2 dont l'ASG est non secouru suite à la perte du diesel correspondant).

Dès que la pression du GV affecté devient inférieure au seuil de « Basse Pression GV < Min1p » (3562 s), les VIV des 4 GV sont fermées. La dépressurisation des GV sains est stoppée par la fin du refroidissement partiel à 3573 s et la pression du GV affecté continue de chuter. La vanne d'isolement du VDA du GV affecté est automatiquement fermée lorsque la pression du GV affecté atteint le seuil de « Basse Pression GV < Min3p » (3597 s).

La chute des grappes assure la sous-criticité ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée par les VDA des GV sains. L'apport d'eau par l'IS permet de compenser la fuite et stabilise l'inventaire en eau du primaire. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. L'état contrôlé est atteint.

Lorsque la vanne d'isolement du VDA du GV affecté est fermée, l'opérateur valide le permissif P19 et commence le refroidissement contrôlé à -50°C/h (3618 s). Lorsque la marge à saturation est suffisante, il procède à l'arrêt de tous sauf 1 train ISMP à 3654 s.

Lorsque le volume de bore injecté permet d'assurer la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr [] sans GMPP en service (7656 s), l'opérateur met à l'arrêt les trains RBS. Il arrête le dernier train ISMP dès que la température de connexion du RIS-RA en mode RA est atteinte []. Le refroidissement du RCP est terminé (11416 s), l'opérateur débute alors la phase de dépressurisation.

L'aspersion normale ayant été perdue sur cumul MDTE, la dépressurisation ne peut se faire que par le GV affecté. Le niveau du GV affecté étant bien en-deçà du seuil Max2p GE, la ligne de transfert APG inter-GV n'est pas sollicitée. Le VDA du GV affecté étant inutilisable suite à la défaillance, la dépressurisation se fait par la ligne de bipasse de la vanne d'isolement vapeur et par l'ouverture du VDA du GV apparié. Le permissif P15 est ensuite validé pour inhiber le signal IS sur bas ΔP_{sat} . Le GV affecté est dépressurisé jusqu'à atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA [].

L'injection de bore par le RBS garantit la sous-criticité du cœur ($\text{keff} < 0,99$ []). La connexion du RIS-RA en mode RA garantit l'évacuation de la puissance résiduelle. [] tonnes de vapeur contaminée sont rejetées du GV affecté, dont 85,9 à l'atmosphère []. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. La consommation totale d'ASG est inférieure à la capacité des bâches ASG [].

L'état d'arrêt sûr est atteint 16482 s après l'ouverture de la RTGV.

Les soupapes de sûreté des GV ne sont pas sollicitées. L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est démontrée. L'ensemble des critères techniques d'acceptation listés dans le § 2. est donc respecté.

Analyse de la prolongation de cycle :

La température moyenne primaire du premier pas de fonctionnement en prolongation de cycle étant plus faible qu'en cycle naturel, l'énergie du primaire à évacuer est moindre, et les rejets de vapeur contaminée du GV affecté sont couverts par les résultats ci-dessus.

5.4.3. CAS 3 : CONSOMMATION DES BÂCHES ASG

- La séquence des événements pour le cas 3 est donnée dans le tableau [TAB-15.2.3f.6](#).
- Les valeurs représentatives de l'évolution des principaux paramètres thermo-hydrauliques sont présentées figures [FIG-15.2.3f.29](#) à [FIG-15.2.3f.42](#).

La maintenance préventive est considérée sur l'ASG du GV2. La défaillance unique est considérée sur un train RBS.

La physique de l'évènement est identique à celle du cas 2 durant les [] suivant l'ouverture de la brèche (même approche découplée que pour le cas 2).

Suite à un signal d'activité, l'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle au MCP (gérée par le DA) ou au MCS, conduit l'opérateur à l'isolement partiel du GV radioactif (isolement du train ASG et des lignes de conditionnement VVP et purge) juste avant d'effectuer une baisse de charge, puis un arrêt [] du réacteur à basse puissance. Dans la simulation, comme pour le cas 2, un AAR [] est réalisé [] après le début de l'incident, depuis une puissance égale à la puissance initiale maximisée.

La chute des grappes assure la sous-criticité ($\text{keff} < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée par les VDA. L'apport d'eau par la charge RCV permet de compenser la fuite et stabilise l'inventaire en eau du primaire. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. L'état contrôlé est atteint.

L'opérateur est ensuite orienté vers la stratégie Passage en Arrêt à Froid (PAF) en RTGV. La ligne ARE grand débit est automatiquement isolée sur arrêt du réacteur, et la ligne petit débit ARE n'est pas considérée disponible. L'opérateur active donc l'ASG dans les GV sains utilisables.

Après l'arrêt [] du réacteur et le déclenchement turbine, l'opérateur procède à l'isolement complet du GV radioactif : fermeture de la vanne principale d'isolement vapeur pour l'isoler des autres GV, et remontée du point de consigne de son VDA. Il procède également au relignage de l'ASG du GV affecté vers le GV2 sain.

L'opérateur active le seul train RBS disponible, valide le permissif P19 et commence un refroidissement contrôlé à 25°C/h par les GV sains non isolés utilisables.

L'opérateur règle le débit d'aspersion normale et les chaufferettes pour maintenir le ΔT_{sat} en zone 2. La décharge du RCV n'étant pas classée F1, l'opérateur ne peut réguler le niveau du pressuriseur qui se remplit avec le débit de charge. Dès que le niveau atteint []% GM, l'opérateur arrête une première pompe de charge du RCV (6747 s).

7721 s après l'évènement initiateur, le débit de fuite a rempli le GV affecté, dont le niveau atteint le seuil Max2p []. Le signal automatique de refroidissement partiel à 250°C/h est alors activé sur tous les GV, y compris le GV affecté. La pression dans le GV affecté diminue alors, augmentant l'écart de pression avec le primaire et réactivant le débit de fuite. Lorsque le niveau du GV affecté augmente à nouveau et atteint le seuil Max2p [], la charge RCV et l'IJPP sont isolées sur signal de « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé » à 8451 s. L'isolement de l'IJPP entraîne une fuite non compensée aux joints des GMPP.

À la fin du refroidissement partiel, le signal automatique d'IS sur très basse pression pressuriseur n'a pas été activé puisque le permissif P12 a été validé par l'opérateur. Ce dernier reprend alors le refroidissement contrôlé à 25°C/h par les GV sains non isolés utilisables.

Lorsque la pression primaire passe en dessous de [] bar et que l'écart avec la pression du GV affecté est d'au maximum [] bar, le débit de fuite est presque annulé et l'opérateur met à l'arrêt l'aspersion normale et les chaufferettes (9701 s). Dès que le volume de bore injecté permet d'assurer la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr [] et avec au moins un GMPP en service (17 207 s), l'opérateur met à l'arrêt le train RBS et modifie le gradient du refroidissement contrôlé à 50°C/h, et attend que la température de connexion du RIS-RA en mode RA soit atteinte. Quand le refroidissement du RCP est terminé [] à 20 730 s, l'opérateur débute la phase de dépressurisation.

Les GMPP étant en service, l'opérateur peut commencer la dépressurisation primaire prioritaire immédiatement. En effet, l'opérateur met en service l'ISBP sur critère d'arrêt de l'IJPP suite à son isolement sur signal « Haut Niveau GV > Max2p [] + refroidissement partiel terminé » et peut donc commencer une dépressurisation primaire prioritaire tant que le niveau pressuriseur n'est pas supérieur à []. L'opérateur peut dépressuriser le circuit primaire par l'utilisation de l'aspersion normale analogique avec un gradient imposé []. Toutefois, la dépressurisation primaire prioritaire devient impossible dès que le niveau du GV affecté atteint []% GE (23 551 s). L'opérateur demande alors la dépressurisation par le GV affecté. Le niveau de ce dernier étant bien en deçà du seuil Max2p GE, la ligne de transfert APG inter-GV n'est pas sollicitée. Le VDA du GV affecté est alors ouvert, jusqu'à ce que la pression primaire soit inférieure à la pression de connexion du RIS-RA en mode RA [].

L'injection de bore par le RBS garantit la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$ []). La connexion du RIS-RA en mode RA garantit l'évacuation de la puissance résiduelle. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3.

En ce qui concerne la capacité des bâches ASG : [] tonnes d'ASG sont consommées pour atteindre l'état d'arrêt sûr. À ce résultat on ajoute la quantité d'eau évacuée par le débit d'échantillonnage entre l'arrêt de l'ARE (au moment de l'AAR) et l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Le débit d'échantillonnage étant égal à [], la quantité d'eau évacuée est inférieure à 10 tonnes. On obtient une consommation totale d'ASG [] bien inférieure à la capacité des bâches [] pour ce cas pénalisant.

L'état d'arrêt sûr est atteint 24 342 s après l'ouverture de la RTGV.

La sous-criticité du cœur est donc garantie ($keff < 0,99$). Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Les soupapes de sûreté des GV ne sont pas sollicitées. L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est démontrée. L'ensemble des critères techniques d'acceptation listés dans le § 2. est donc respecté.

Analyse de la prolongation de cycle :

Les données et hypothèses retenues pour l'étude du cas 3 maximisent l'énergie du primaire, et couvrent le fonctionnement en prolongation de cycle vis-à-vis de la consommation des bâches ASG.

6. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLEMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION

Augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA

Une relaxation du requis du temps de fermeture VI-VDA □ a été réalisée. L'analyse d'impact □ permet de justifier l'acceptabilité de l'impact de cette relaxation de critère sur les scénarios traités dans cette section.

L'augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA ne remet pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation présentés au § 2.

7. CONCLUSION

L'étude des trois cas montre que l'état d'arrêt sûr est atteint en s'appuyant uniquement sur des dispositions F1, indépendamment des hypothèses de défaillance unique et de maintenance préventive, et en satisfaisant la totalité des critères de sûreté et critères techniques d'acceptation suivants (voir § 2.) :

- prévention du débordement du GV affecté : Le niveau d'eau maximal atteint dans le GV affecté est donné par le cas 1. Aucun débordement n'a lieu au cours de l'incident. Ainsi pour les rejets d'activité, seule la teneur en humidité résiduelle de la vapeur doit être prise comme hypothèse.
- rejets radiologiques : La quantité maximale de vapeur contaminée rejetée par le GV affecté directement dans l'atmosphère est donnée par le cas 2. Au total, □ tonnes de vapeur contaminée sont rejetées du GV affecté, dont □ tonnes de vapeur à l'atmosphère □. Le respect des critères de sûreté liés aux limites de doses est traité dans la section se rapportant à la « rupture de générateur de vapeur 1 tube (PCC-3) » (voir paragraphe 3.6 du sous-chapitre 15.3).
- capacité des bâches ASG : La quantité maximale d'eau ASG consommée est donnée par le cas 3. □ tonnes sont consommées pour atteindre l'état d'arrêt sûr, ce qui est bien inférieur à la capacité des bâches □ pour ce cas pénalisant. De plus il reste une quantité d'eau égale à □ tonnes dans le secondaire des GV sains.
- sous-criticité du cœur : La chute des grappes garantit la sous-criticité du cœur à l'état contrôlé. L'injection par le RBS est suffisante pour garantir la sous-criticité du cœur à l'état d'arrêt sûr □.
- stabilité de l'inventaire en eau du primaire : Les actions automatiques et l'intervention de l'opérateur permettent de stabiliser l'inventaire en eau du primaire tant à l'état contrôlé qu'à l'état d'arrêt sûr.
- évacuation de la puissance résiduelle : Les VDA permettent d'évacuer la puissance résiduelle à court terme. L'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA et donc l'évacuation durable de la puissance résiduelle est démontrée.
- limitation du risque de blocage des soupapes de sûreté des GV en position ouverte : Malgré la prise en compte d'une pression de tarage minimisée, les soupapes ne sont sollicitées dans aucun des cas analysés.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 25/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

- minimisation du débit inverse RTGV pompes primaires hors service : La pression du GV affecté est maintenue inférieure ou égale à la pression du RCP dans tous les cas analysés, si bien que l'inversion du débit de RTGV est limitée autant que possible. De façon générale pour les cas de RTGV pompes primaires hors service, les procédures sont optimisées de manière à éliminer les situations de refroidissement du circuit primaire sans moyen d'appoint efficace pour compenser la contraction.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 26/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

TAB-15.2.3F.1 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS 1

□

TAB-15.2.3F.2 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS 2

□

TAB-15.2.3F.3 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS 3

□

TAB-15.2.3F.4 SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 1

<u>Temps (s)</u>	<u>Evènement</u>
0	RTGV 1 tube (2A) à 2%PN : - Régulation de pression PZR en fonctionnement (chaufferettes et aspersion normale) - Une pompe de charge et décharge RCV en service - Régulation de niveau GV en fonctionnement en mode □
123	Niveau PZR < (Seuil □) : - Mise en service de la deuxième pompe de charge RCV
455	Niveau GV > Max1p GE : - Arrêt automatique du réacteur - Cumul du MDTE et arrêt de l'ARE
889	Niveau GV > Max2p GE : - Refroidissement partiel automatique à -250°C/h
1039	Fin du refroidissement partiel à -250°C/h Niveau GV > Max2p GE et refroidissement partiel terminé, qui provoque l'isolement du GV affecté (relèvement du point de consigne), l'isolement de la charge RCV et l'arrêt de l'IJPP
1046	Fermeture de la VIV du GV affecté
1158	Niveau PZR < Min1p et signal AAR : - Isolement de la décharge du RCV
1288	Niveau PZR < Min3 : - Arrêt des chaufferettes
1817	Pression PZR < Min3p : - Signal IS
2255	Début des actions opérateur : - Démarrage de la seule pompe RBS disponible - Démarrage du refroidissement contrôlé à -25°C/h effectué par les VDA des GV sains - Démarrage de l'ASG du GV4 Niveau GV > Max2p GE : - Régulation du niveau GV du GV apparié, par l'opérateur, □ Marge à la saturation insuffisante - Restauration requise : aucune action effectuée
3221	Retour à une marge à la saturation suffisante : - Arrêt de toutes les pompes ISMP sauf une

<u>Temps (s)</u>	<u>Evènement</u>
4957	Relignage de l'ASG du GV affecté vers les GV sains
10732	Volume de RBS injecté dans le primaire supérieur au volume demandé par la conduite : - Arrêt du RBS, poursuite du refroidissement contrôlé à -50°C/h
16155	Atteinte du critère TRIC ■ et de la température de connexion du RIS-RA en mode RA dans 2 branches chaudes : - Arrêt du refroidissement contrôlé - Arrêt du dernier train ISMP et RAZ du signal IS - Isolement du GV apparié au GV affecté
16215	Phase « Passage à l'arrêt à froid – Dépressurisation » : - Ouverture de la ligne de transfert du GV affecté
27609	Niveau GV < Max2p GE : - Dépressurisation par le VDA - Validation du permissif P15
32529	Pression de refoulement des pompes ISBP atteinte : - Fermeture du VDA du GV affecté
32529	Conditions de connexion du RIS-RA en mode RA atteintes Fin du calcul. Etat d'arrêt sûr atteint.

TAB-15.2.3F.5 SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 2

<u>Temps (s)</u>	<u>Evènement</u>
0	RTGV 1 tube (2A) à 102%PN : - Régulation de pression pressuriseur en fonctionnement (chaufferettes et aspersion normale) - Une pompe de charge et décharge RCV en service - Régulation de niveau GV en fonctionnement
185	Niveau pressuriseur < (Seuil □) : - Mise en service de la deuxième pompe de charge RCV
1168	Niveau pressuriseur < Min2 : - Isolement de la décharge du RCV
1600	Niveau pressuriseur < Min3 : - Arrêt des chaufferettes
3000	Intervention □ sur signal d'activité dans la ligne vapeur du GV affecté (temps d'intervention découplé)
3000	Isolement partiel □ du GV affecté - Fermeture des vannes réglante et d'isolement de l'ASG du GV affecté
3000	Arrêt □ du réacteur - Isolement de l'ARE grand débit - Chute des grappes dans le cœur
□	Déclenchement de la turbine
3003	Isolement complet □ du GV affecté
3008	Pression GV affecté > Max1p : - Ouverture du VDA du GV affecté
3063	- VDA du GV affecté déclarée inutilisable (blocage de la vanne réglante en position ouverte) - Mise en service □ de l'ASG dans les GV1 et GV4

<u>Temps (s)</u>	<u>Evènement</u>
3069	Pression PZR < Min4p : - Démarrage automatique des deux pompes RBS
3112	Pression PZR < Min3p : - Signal IS et isolement de la charge RCV - Démarrage du refroidissement partiel automatique à -250°C/h
3112	Cumul MDTE sur signal IS : - Arrêt des GMPP - Perte de l'aspersion normale - Perte de l'IJPP - Fuite non compensée aux joints des GMPP
3205	Relignage de l'ASG du GV affecté vers un GV sain (GV2)
3562	Pression du GV affecté < Min1p : - Isolement automatique des VIV de tous les GV
3573	Fin du refroidissement partiel automatique
3597	Pression du GV affecté < Min3p : - Isolement automatique de la vanne d'isolement du VDA du GV affecté
3618	Phase « Arrêt ISMP » : - Activation du permissif P12 - Refroidissement contrôlé à -50°C/h par les GV sains non isolés (1, 2 et 4) Marge à la saturation insuffisante : - Restauration requise : aucune action effectuée
3654	Retour à une marge à la saturation suffisante : - Arrêt de tous les trains ISMP sauf 1
7656	Volume de RBS injecté dans le primaire supérieur au volume demandé par la conduite : - Arrêt des 2 trains RBS

<u>Temps (s)</u>	<u>Evènement</u>
11416	Fin du refroidissement sur atteinte du critère TRIC ■ et atteinte de la température de connexion du RIS-RA en mode RA dans au moins 2 branches chaudes : - Arrêt du refroidissement manuel contrôlé - Arrêt du dernier train ISMP et RAZ du signal IS
11416	Phase « Passage à l'arrêt à froid – Dépressurisation » : - Ouverture de la ligne de contournement VVP du GV affecté - Ouverture du VDA du GV apparié au GV affecté - Validation du permissif P15
16482	Pression de refoulement des pompes ISBP atteinte et pression primaire stabilisée : - fermeture de la ligne de contournement de la VVP du GV affecté
16482	Conditions de connexion du RIS-RA en mode RA atteintes Fin du calcul. Etat d'arrêt sûr atteint.

TAB-15.2.3F.6 SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 3

<u>Temps (s)</u>	<u>Evènement</u>
0	RTGV 1 tube (2A) à 102%PN : - Régulation de pression pressuriseur en fonctionnement (chaufferettes et aspersion normale) - Une pompe de charge et décharge RCV en service - Régulation de niveau GV en fonctionnement
185	Niveau pressuriseur < (Seuil □) : - Mise en service de la deuxième pompe de charge RCV
1165	Niveau pressuriseur < Min2 : - Isolement de la décharge RCV
1593	Niveau pressuriseur < Min3 : - Arrêt des chaufferettes
3000	Intervention □ de l'opérateur sur signal d'activité dans la ligne vapeur du GV affecté (temps d'intervention découplé)
3000	Isolement partiel □ du GV affecté : - Fermeture des vannes réglantes et d'isolement de l'ASG du GV affecté
3000	Arrêt □ du réacteur - Isolement de l'ARE grand débit - Chute des grappes dans le cœur
3003	Déclenchement de la turbine
3003	Isolement complet □ du GV affecté : - Fermeture de la vanne principale d'isolement vapeur du GV affecté - Relèvement □ du point de consigne du VDA du GV affecté □
3008	VIV du GV affecté fermée. Activation □ de l'ASG dans les GV sains
3008	Relignage de l'ASG du GV affecté vers un GV sain (GV2)
3014	Ouverture automatique des VDA des GV sains □
3023	Mise en service de l'ASG dans les GV1, GV2 et GV4

<u>Temps (s)</u>	<u>Evènement</u>
3023	Phase « Equilibrage des pressions » : - Mise en service d'un train RBS par l'opérateur - Refroidissement contrôlé à -25°C/h - Réglage du débit d'aspersion normale et mise en service des chaufferettes pour maintenir ΔT_{sat} en zone 2
5110	Activation du permissif P12
6747	Niveau pressuriseur > \square % GM : - Arrêt \square d'une pompe de charge RCV
7721	Niveau GV affecté > Max2p GE : - Signal automatique de refroidissement partiel à -250°C/h par les 4 GV - Réduction de la consigne de niveau dans le GV apparié
8231	Fin du refroidissement partiel automatique Phase « Equilibrage des pressions » \square : - Reprise du refroidissement contrôlé à -25°C/h par les GV sains
8451	Niveau GV affecté > Max2p GE et refroidissement partiel terminé : - Isolement automatique de la charge RCV et de l'IJPP - Fuite aux joints des GMPP non compensée
9701	Phase « Refroidissement » \square : - Arrêt \square de l'aspersion normale
17 207	Volume de RBS injecté dans le primaire supérieur au volume demandé par la conduite : - Arrêt du train RBS - Modification du gradient de refroidissement contrôlé à -50°C/h
20 730	Fin du refroidissement dans au moins 2 branches chaudes et atteinte du critère TRIC \square

Temps (s)	Evènement
20 730	Phase « Passage à l'arrêt à froid – Dépressurisation » : - Arrêt du refroidissement contrôlé - Dépressurisation du RCP par l'aspersion normale analogique []
23 551	Niveau GV < []%GE : - Arrêt de la dépressurisation primaire prioritaire
23 551	Dépressurisation du RCP par le GV affecté : - Ouverture du VDA du GV affecté - Maintien de la pression primaire [] au-dessus de la pression du GV affecté par l'aspersion normale
24 342	Pression primaire < [] bar : - Fermeture du VDA du GV affecté
24 342	Conditions de connexion du RIS-RA en mode RA atteintes Fin du calcul. Etat d'arrêt sûr atteint.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 38/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.1 CAS 1 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV –
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 39/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.2 CAS 1 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE
RÉTROVIDANGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 40/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.3 CAS 1 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 41/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.4 CAS 1 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES –
DÉBIT D'ASPERSION NORMALE**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 42/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.5 CAS 1 – DÉBITS RCV ET IS

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 43/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.6 CAS 1 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 44/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.7 CAS 1 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 45/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.8 CAS 1 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/
SECONDAIRE**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 46/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.9 CAS 1 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 47/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.10 CAS 1 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 48/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.11 CAS 1 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 49/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.12 CAS 1 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉE
PAR LES VDA DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 50/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.13 CAS 1 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE
DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 51/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.14 CAS 1 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION
ET EN TEMPÉRATURE**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 52/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.15 CAS 2 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV –
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 53/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.16 CAS 2 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE
RÉTROVIDANGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 54/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.17 CAS 2 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 55/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.18 CAS 2 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES –
DÉBIT D'ASPERSION NORMALE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 56/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.19 CAS 2 – DÉBITS RCV ET IS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 57/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.20 CAS 2 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 58/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.21 CAS 2 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 59/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.22 CAS 2 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/
SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 60/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.23 CAS 2 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 61/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.24 CAS 2 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 62/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.25 CAS 2 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 63/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.26 CAS 2 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉE
PAR LES VDA DES GV**

□

**FIG-15.2.3F.27 CAS 2 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE
DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 65/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.28 CAS 2 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION
ET EN TEMPÉRATURE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 66/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.29 CAS 3 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV –
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 67/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.30 CAS 3 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE
RÉTROVIDANGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 68/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.31 CAS 3 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 69/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.32 CAS 3 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES –
DÉBIT D'ASPERSION NORMALE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 70/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.33 CAS 3 – DÉBITS RCV ET IS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 71/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.34 CAS 3 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 72/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.35 CAS 3 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 73/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.36 CAS 3 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/
SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 74/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.37 CAS 3 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 75/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.38 CAS 3 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 76/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.3F.39 CAS 3 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 77/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.40 CAS 3 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉE
PAR LES VDA DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3F

PAGE 78/79

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3F.41 CAS 3 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE
DES GV**

□

**FIG-15.2.3F.42 CAS 3 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION
ET EN TEMPÉRATURE**

□

SOMMAIRE

.15.2.3G FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE OU DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR (PCC-3)	5
1. FERMETURE INTEMPESTIVE DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR (DANS L'ÉTAT A, PCC-3)	5
1.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT	5
1.1.1. GÉNÉRALITÉS	5
1.1.2. SÉQUENCES D'ÉVÉNEMENTS TYPES	5
1.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	6
1.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	7
1.4. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	7
1.4.1. MÉTHODES D'ÉTUDE	7
1.4.2. MÉTHODE D'ANALYSE	7
1.4.3. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION	7
1.5. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ)	8
1.5.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	8
1.5.2. ÉTAT INITIAL	8
1.5.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	8
1.5.4. RÉSULTATS ET CONCLUSION	9
1.6. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR)	10
1.6.1. CONDUITE OPÉRATEUR	10
1.6.2. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	11
2. FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT VAPEUR (À L'ÉTAT A, PCC-3)	12
2.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT	12
2.1.1. GÉNÉRALITÉS	12
2.1.2. SÉQUENCE TYPIQUE DES ÉVÉNEMENTS	13
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	14

2.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	14
2.4. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	15
2.4.1. MÉTHODES D'ÉTUDE ET D'ANALYSE	15
2.4.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION	15
2.5. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ)	16
2.5.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	16
2.5.2. ÉTAT INITIAL	16
2.5.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	16
2.5.4. RÉSULTATS ET CONCLUSION	17
2.6. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR)	19
2.6.1. CONDUITE OPÉRATEUR	19
2.6.2. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	20

TABLEAUX :

TAB-15.2.3G.1 FERMETURE INTEMPESTIVE DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR - PRINCIPALES HYPOTHÈSES □	22
TAB-15.2.3G.2 FERMETURE INTEMPESTIVE DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS	23
TAB-15.2.3G.3 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT VAPEUR – PRINCIPALES HYPOTHÈSES □	24
TAB-15.2.3G.4 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT VAPEUR – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS	25
TAB-15.2.3G.5 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT VAPEUR – MATRICE DE MÉLANGE PÉNALISÉE ISSUE DES ESSAIS □	26

FIGURES :

FIG-15.2.3G.1 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/ SECONDAIRE	27
FIG-15.2.3G.2 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET FROIDES	28
FIG-15.2.3G.3 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET DÉBIT D'ASPERSION PRESSURISEUR	29
FIG-15.2.3G.4 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VDA	30
FIG-15.2.3G.5 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS ARE ET VAPEUR EN SORTIE DES GV	31

FIG–15.2.3G.6 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES.....	32
FIG–15.2.3G.7 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – EVOLUTIONS DE LA TEMPÉRATURE AU CENTRE DE LA PASTILLE ET DE LA TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ.....	33
FIG–15.2.3G.8 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/ SECONDAIRE	34
FIG–15.2.3G.9 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – TEMPERATURES BRANCHES CHAUDES ET FROIDES.....	35
FIG–15.2.3G.10 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET DÉBIT D'ASPERSION PRESSURISEUR	36
FIG–15.2.3G.11 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VDA	37
FIG–15.2.3G.12 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS ARE ET VAPEUR EN SORTIE DES GV	38
FIG–15.2.3G.13 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	39
FIG–15.2.3G.14 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT TERME – EVOLUTIONS DE LA TEMPÉRATURE AU CENTRE DE LA PASTILLE ET DE LA TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ.....	40

.15.2.3G FERMETURE INTEMPESITIVE D'UNE OU DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR (PCC-3)

1. FERMETURE INTEMPESITIVE DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR (DANS L'ÉTAT A, PCC-3)

1.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT

1.1.1. Généralités

La fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur est un évènement d'échauffement conduisant d'une part à un risque d'endommagement du combustible par l'atteinte de la crise d'ébullition et d'autre part à un risque de surpression des circuits primaire et secondaire. Cette section traite du risque lié à la crise d'ébullition, le risque de surpression étant traité dans la section relative aux "Sujets spécifiques aux composants mécaniques" (voir section 3.6.1).

Cette section traite également de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr obtenu lorsque les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA sont atteintes.

- identification des causes :
La fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur est généralement initiée par un signal intempestif de fermeture des 4 vannes d'isolement vapeur.
- précautions limitant l'apparition de l'incident :
Chaque vanne d'isolement vapeur est constituée de 4 pilotes vapeur, chacun étant alimenté par une division électrique différente. L'ouverture de 2 de ces pilotes vapeur en série assure la fermeture d'une vanne d'isolement vapeur. Par conséquent, la probabilité d'une fermeture intempestive des 4 vannes d'isolement vapeur, due à une ouverture intempestive de 2 pilotes vapeur en série dans chaque vanne d'isolement vapeur, est très faible.

La fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur est un évènement PCC-3.

1.1.2. Séquences d'événements types

- de l'évènement initiateur à l'état contrôlé
La fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur entraîne l'annulation de tous les débits dans les lignes vapeur principales. La diminution de l'évacuation de la puissance conduit à une augmentation des températures et pressions secondaires et, en conséquence, à une augmentation des températures et pression primaires.
L'Arrêt Automatique du Réacteur et le déclenchement de la turbine sont activés par le signal de pression GV Max1p (suite à l'augmentation de la pression secondaire dans le GV affecté) ou de pression pressuriseur Max2p (suite à l'augmentation de la pression primaire) et les pressions primaire et secondaires sont automatiquement limitées par les dispositifs de protection contre la surpression du pressuriseur et des générateurs de vapeur (GV).
L'AAR entraîne également l'isolement des lignes grand débit ARE.
Après l'AAR, si l'ARE et l'AAD ne sont pas disponibles, l'ASG démarre sur signal de très bas niveau, GV par GV, et la puissance résiduelle est évacuée par le VDA maintenu à sa pression de consigne, permettant d'atteindre un état contrôlé.
- de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr
L'état d'arrêt sûr est défini comme étant l'état pour lequel le cœur est sous-critique, les rejets radiologiques restent tolérables et la puissance résiduelle est durablement évacuée. La puissance résiduelle est durablement évacuée par les échangeurs RIS-RA, après passage en arrêt à froid et connexion des trains RIS-RA en mode RA.
Les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA correspondent à une pression en branche chaude de 32 bar abs et une température en branche chaude de 180°C dans 2 boucles sur 4.
En conduite incidentelle, la séquence d'opérations à appliquer par l'opérateur pour atteindre l'état d'arrêt sûr peut être divisée en deux phases :

Stabilisation

Dans cette conduite, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation, dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Au cours de cette phase, une stabilisation de la TRIC est demandée. Le module « inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte lors du démarrage de l'ASG.

Puis le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé :

- sur critère de seuil des bâches ASG < Min (cas sans MDTE) ; une seule pompe GMPP est alors maintenue en service,
- ou 2 heures après la perte des alimentations électriques externes (cas avec MDTE) par application d'une fiche EFS.

Passage en état de repli

La stratégie de passage en état de repli conduit au passage en arrêt intermédiaire jusqu'aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA. Une borication du circuit primaire est réalisée jusqu'à l'injection complète du volume de bore assurant la concentration en bore requise pendant que le refroidissement du fluide primaire est réalisé par l'ouverture contrôlée des vannes VDA. Pendant le refroidissement, le circuit primaire est dépressurisé par l'aspersion normale (cas sans MDTE), l'aspersion auxiliaire ou si besoin les soupapes du pressuriseur. L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square bar abs.

1.2. CRITÈRES D'ÉTUDE

. Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de l'incident PCC-3 de fermeture intempestive de toutes les VIV sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10%.
 - L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de l'oxyde d'uranium (2810°C pour du combustible neuf, décroissant de 7.6°C tous les 10000 MWJ/t). Des critères techniques d'acceptation peuvent être retenus pour certains incidents, par exemple : la valeur restrictive de 590 W/cm est prise dans certains cas, cette valeur permettant de garantir la non fusion au centre de la pastille.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

La très courte période entre l'instant où les vannes d'isolement vapeur se ferment et le moment où le RFTC est minimum est étudiée en détail dans les paragraphes suivants.

La démonstration de l'obtention de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est basée sur une évaluation qualitative, renvoyant à d'autres études scénarios du Rapport de Sûreté (voir section 15.2.2i et section 15.2.3b).

1.4. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

1.4.1. Méthodes d'étude

□

1.4.2. Méthode d'analyse

Pour vérifier le critère de sûreté relatif à la crise d'ébullition, la méthode d'analyse se décompose en deux étapes.

La variation de RFTC est calculée par la formule suivante :

$$\Delta RFTC = \frac{RFTC_{initial} - RFTC_{min}}{RFTC_{min}}$$

Cette variation de RFTC est comparée à l'écart entre le seuil d'alarme « bas RFTC » et la valeur limite de conception de 1, soit □% (valeur dimensionnée par l'étude de la perte totale des alimentations électriques externes (section section 15.2.2h)).

Si la diminution du RFTC est inférieure à □%, l'absence de crise d'ébullition est vérifiée.

Sinon, le pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition est calculé, autour de l'instant de RFTC minimal, à partir des conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) issues de l'incident □ afin de vérifier que cette proportion reste inférieure à 10%.

□

1.4.3. Actions de protection et de mitigation

Les fonctions d'instrumentation et de contrôle F1A suivantes assurent l'Arrêt Automatique du Réacteur :

- Arrêt Automatique du Réacteur sur "Pression GV > Max 1p",
- Arrêt Automatique du Réacteur sur "Pression pressuriseur > Max 2p".

Ces signaux entraînent le déclenchement de la turbine et l'isolement des vannes à grand débit de l'ARE.

Les fonctions F1A suivantes sont disponibles pour obtenir l'état contrôlé :

- 4 VDA pour l'évacuation de la puissance par le secondaire : le prépositionnement des vannes réglantes des VDA et l'écrêtement de la pression lorsque la pression GV > MAX1p GV par GV,
- 4 trains ASG pour l'alimentation en eau du secondaire démarrés lorsque le niveau GV < MIN2p GV par GV (si l'ARE et l'AAD sont indisponibles après AAR),
- 3 soupapes pressuriseur pour limiter la pression du circuit primaire □.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état sûr, les systèmes F1 suivants sont disponibles :

- l'aspersion normale du pressuriseur (classée F1B sans séisme), pour le cas sans cumul du MDTE,
- 4 VDA pour le refroidissement jusqu'aux conditions de fonctionnement du RIS-RA en mode RA,
- 2 trains RBS pour la borication au cours du refroidissement,
- 4 trains ASG pour l'alimentation en eau des GV,
- 3 soupapes pressuriseur pour limiter la pression du circuit primaire [] .

1.5. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ)

1.5.1. Choix de la défaillance unique et de la maintenance préventive

A court terme, le critère à respecter est lié à la crise d'ébullition. [] .

Aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive en état A n'est sollicité au cours de l'incident pour la phase court terme.

1.5.2. État initial

Les conditions initiales correspondent à 100 % de la puissance nominale avec la prise en compte des incertitudes de manière pénalisante, vis-à-vis du RFTC. Elles sont présentées au tableau [TAB-15.2.3g.1](#).

Les niveaux GV ne sont pas pénalisés car l'impact est négligeable sur cet incident.

[]

1.5.3. Hypothèses spécifiques

- prise en compte du MDTE
Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le cumul du MDTE est considéré car une réduction de débit est pénalisante vis-à-vis du RFTC. Le choix de l'instant de sa prise en compte est à retenir parmi les instants initial, de signal d'AAR et du signal d'IS.
[]
- données neutroniques et puissance résiduelle
Les données neutroniques retenues pour les études à court terme sont issues du sous-chapitre 15.1.
[]
Le temps de chute des grappes maximal avec séisme [] est considéré conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2) pour un incident PCC-3 avec prise en compte du MDTE.
[]
- hypothèses systèmes fluides
Les données sont issues du sous-chapitre 15.1.
[]
La première soupape du pressuriseur est supposée s'ouvrir à [] bar abs [] avec un débit vapeur majoré [] . Un temps d'ouverture nul est retenu.
Le débit VDA est pris minimum [] et le point de consigne d'ouverture maximum [] . Les vannes d'isolement du VDA s'ouvrent alors que le réacteur est encore à pleine puissance. Afin de minimiser le débit au VDA, le prépositionnement du VDA est pris en compte [] .
La pression de tarage des soupapes secondaires est prise maximale [] . La capacité minimale de chaque soupape est de [] t/h sous [] bar abs.
Le débit ARE est pris à sa valeur nominale jusqu'à l'instant du cumul MDTE. De manière conservative, il est ensuite pris nul dès l'instant du cumul du MDTE.
Le débit vapeur est interrompu à l'instant initial (sans tenir compte du délai de fermeture des vannes).
- hypothèses relatives aux systèmes non F1A

Hormis l'aspersion normale du pressuriseur qui pénalise le RFTC en minorant la pression primaire, les fonctions de régulation ne sont pas prises en compte car elles n'ont soit aucun impact, soit des effets bénéfiques sur la valeur minimale du RFTC.

Du fait de l'initiateur, le GCT est indisponible.

- hypothèses relatives aux systèmes F1A

Le seul signal F1A sollicité dans la phase à court terme de l'incident est l'Arrêt Automatique du Réacteur. Son efficacité minimale est envisagée, en tenant compte de toutes les incertitudes correspondantes (voir sous chapitre 15.1).

L'AAR sur signal haute pression GV intervient lorsque le seuil de [] bar abs [] est atteint[].

L'AAR sur signal haute pression pressuriseur intervient lorsque le seuil de [] bar abs [] est atteint[].

- système de limitation

Aucun système de limitation n'est modélisé dans le cadre de cette étude, car leur prise en compte a un impact favorable vis-à-vis des critères de sûreté.

1.5.4. Résultats et conclusion

- analyse du cycle naturel

Le tableau [TAB-15.2.3g.2](#) présente la séquence des événements pour l'incident de fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur []. Les principaux paramètres de l'incident sont représentés sur les figures [FIG-15.2.3g.1](#) à [FIG-15.2.3g.6](#).

La fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur conduit à l'augmentation de la pression secondaire. La dégradation de l'échange de puissance avec le secondaire conduit à l'échauffement du circuit primaire ainsi qu'à l'augmentation de la pression primaire.

La pression secondaire augmente jusqu'à l'atteinte des seuils d'AAR et d'ouverture des VDA sur haute pression secondaire 5s secondes après le début d'incident. L'AAR intervient et conduit à la chute des grappes []. L'augmentation de la pression secondaire est contrôlée par l'ouverture effective des VDA à 7,5 secondes.

Le RFTC augmente au début de l'incident (jusqu'à l'instant de l'AAR), sous l'effet conjugué de l'augmentation de la pression primaire et de la température primaire alors que la puissance dans le cœur et le débit primaire restent constants.

Le cumul du MDTE [] entraîne, de façon découplée, la perte instantanée de l'alimentation normale des GV et l'arrêt des pompes primaires, ce qui provoque une décroissance du débit primaire et par conséquent une baisse du RFTC. Le RFTC minimum est atteint au bout de 9,4 secondes après la fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur. La diminution de RFTC est supérieure à la marge existant entre le seuil d'alarme bas RFTC et le critère de sûreté ([]%). Ceci implique l'entrée en crise d'ébullition de []% des crayons au cours de l'incident de fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur, ce qui est inférieur au critère de sûreté de 10% relatif aux incidents PCC-3.

La pression du pressuriseur augmente jusqu'à atteindre le seuil d'ouverture de la première soupape du pressuriseur []. A 9,9 secondes, la soupape s'ouvre et entraîne la baisse de la pression primaire. Suite à l'AAR et l'ouverture des VDA, la pression secondaire reste limitée par la pression d'ouverture des VDA qui assurent l'évacuation de vapeur produite par les GV. La température, la pression et l'inventaire en eau du circuit primaire se stabilisent. L'ASG démarre automatiquement sur signal Bas niveau GV GL MIN2p.

La température maximale de la gaine atteinte au cours de l'incident est de []°C, le critère relatif à la température de gaine de 1482°C présenté au [§ 1.2](#), est donc respecté. La température maximale au centre de la pastille est de []°C garantissant ainsi l'absence de fusion de combustible. L'évolution de ces températures est présentée sur la figure [FIG-15.2.3g.7](#).

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles étant démontré, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité du cœur en état d'arrêt à chaud ($keff < 1$), il n'y a pas de risque de retour en criticité (pas de refroidissement lié à un débit vapeur excessif).

- analyse de la prolongation de cycle

Vis-à-vis du RFTC, les conditions initiales sont favorables en prolongation de cycle : en effet, le niveau de puissance et la température primaire sont abaissés (ce qui est favorable) et la pression primaire est également abaissée (ce qui est pénalisant), mais les effets de la puissance et de la température sont prépondérants sur le calcul du RFTC par rapport à la pression.

Durant l'incident, le RFTC commence par augmenter sous l'effet de l'augmentation de la pression primaire, puis il diminue après l'AAR suite à la perte du débit [1]. La pression secondaire est abaissée en prolongation de cycle. Le seuil d'AAR sur haute pression GV est abaissé à plusieurs pas définis par la prolongation de cycle, de manière à revenir approximativement au même écart entre la pression de consigne et le seuil d'AAR. Ainsi l'AAR qui intervient sur signal de haute pression GV sera retardé sur les périodes entre deux abaissements des seuils. Dans ces configurations, la diminution du RFTC interviendra à partir d'un RFTC plus élevé donc moins pénalisant. Aux pas choisis pour l'abaissement du seuil, l'instant d'AAR et par conséquent les évolutions de pressions et températures jusqu'à l'instant du RFTC minimum devraient rester similaires à ceux obtenus en cycle naturel. Le niveau de puissance étant abaissé, ces cas sont couverts par l'étude en cycle naturel.

Comme de plus, les données neutroniques prises en compte pour l'incident sont enveloppes de la prolongation de cycle, l'incident réalisé couvre le fonctionnement en prolongation de cycle.

- conclusions

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles étant démontré (critères en NCE, en température de gaine et en température au point chaud dans la pastille), les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité du cœur en état d'arrêt à chaud ($keff < 1$). Il n'y a pas de risque de retour en criticité (pas de refroidissement lié à un débit vapeur excessif).

En cas de cumul du MDTE à l'AAR, l'évolution du transitoire est comparable à celle du transitoire de perte totale des alimentations électriques externes < 2h (voir section 15.2.2h).

Par ailleurs, compte-tenu de l'initiateur (i.e. tous les GV isolés à l'instant initial), les situations avec défaillance unique à l'ouverture d'un VDA peuvent être spécifiquement couvertes par le transitoire de Rupture de Tuyauterie d'eau alimentaire (voir section 15.2.4c) pour lequel l'état contrôlé est atteint sans découverture du cœur.

Si le VDA d'un GV isolé ne s'ouvre pas, la pression dans ce GV est limitée par la pression d'ouverture de la soupape de ce GV, ce qui modifie les conditions d'évacuation de la puissance et contribue à une température plus importante dans la boucle primaire associée. Toutefois, ce GV, tant que son niveau est suffisant, permet encore l'évacuation de puissance alors que dans le cas d'une rupture de tuyauterie d'eau alimentaire, le GV affecté n'y participe pas du tout. Après démarrage de l'ASG, le débit maximal vers le GV affecté par le blocage du VDA n'est pas garanti [1]. La configuration d'alimentation en eau des GV par l'ASG reste plus favorable que dans le cas de la rupture de tuyauterie d'eau alimentaire, car :

- le débit ASG vers le GV affecté est supposé intégralement perdu à la brèche dans le cas de la Rupture de Tuyauterie d'eau alimentaire,
- l'aggravant n'est pas postulé sur une pompe ASG ni sur un diesel (contrairement au cas pénalisant de la rupture de tuyauterie d'eau alimentaire) ce qui permet de disposer d'un train ASG supplémentaire pour l'évacuation de puissance.

L'état contrôlé est donc atteint sans découverture du cœur, et donc risque d'oxydation des gaines et sans endommagement de la géométrie du cœur.

1.6. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR)

1.6.1. Conduite opérateur

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le signal d'AAR.

Lors du diagnostic, suite à l'AAR, l'opérateur est orienté vers la conduite incidentelle.

Suite à l'indisponibilité de l'ARE et de l'AAD, l'ASG a démarré automatiquement sur signal de très bas niveau dans les GV, sinon l'opérateur démarre l'ASG [1] au début de la conduite, en constatant que les GV ne sont pas alimentés.

En conduite incidentelle, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation. Le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Au cours de cette phase, une stabilisation de la TRIC est demandée. Le module « inventaire en eau

des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte lors du démarrage de l'ASG.

En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG et dans la mesure où le GV associé est utilisable , la surveillance des systèmes permet d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné, et un opérateur est chargé d'ouvrir les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin. Cette action est supposée être réalisée 30 minutes après l'AAR.

L'état d'arrêt à chaud ainsi obtenu est un état contrôlé, puis le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé :

- sur critère de seuil des bâches ASG < Min (cas sans MDTE) : Une seule pompe GMPP est alors maintenue en service.
- ou 2 heures après la perte des alimentations électriques externes (cas avec MDTE) par application d'une fiche EFS.

Dans la stratégie de passage en état de repli, les opérateurs effectuent les actions nécessaires pour le passage en arrêt intermédiaire permettant la connexion du RIS-RA en mode RA : une borication du circuit primaire est réalisée via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise. Le maintien de la sous-criticité du cœur est garanti. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles du niveau pressuriseur et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si un seul train RBS est en service ou si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

Le niveau d'eau dans les GV utilisables est maintenu grâce à l'ASG.

L'évacuation de la puissance résiduelle étant assurée par les GV (ASG et VDA) à long terme, l'inventaire en eau du primaire n'est pas dégradé. Ceci garantit l'absence d'endommagement des assemblages combustibles ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants. Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale (cas sans MDTE), l'aspersion auxiliaire ou les soupapes du pressuriseur si les moyens d'aspersion sont indisponibles.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous bar abs.

Le débit du RBS étant insuffisant pour compenser la contraction du fluide primaire, le signal de Bas ΔP_{sat} peut être généré et démarrer l'injection de sécurité. Dans ce cas, l'opérateur sera réorienté en conduite accidentelle, injection de sécurité en service ; dans cette conduite il sera amené à arrêter progressivement les pompes d'injection de sécurité jusqu'à atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Cette conduite n'augmente pas le délai d'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA.

L'évacuation durable de la puissance résiduelle est obtenue lorsque les conditions de connexion au RIS-RA en mode RA sont atteintes. Celles-ci correspondent à une pression en branche chaude de 32 bar abs et une température en branche chaude de 180°C dans 2 boucles sur 4 en conduite accidentelle contre 135°C en conduite incidentelle.

1.6.2. Résultats et conclusions

Sans prise en compte du MDTE, l'étude de la phase long terme de cet incident est couverte par celle du transitoire de perte de l'eau alimentaire normale (voir section 15.2.2i), qui montre par un calcul

explicite que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

En effet, l'incident étudié présente des conditions moins sévères vis-à-vis de la consommation d'ASG que le transitoire de perte ARE :

- À l'instant de l'AAR, la masse d'eau disponible dans les GV est plus importante qu'en cas de perte ARE. L'ASG, qui démarre sur bas niveau GV \square , sera donc mise en service plus tard que sur le transitoire de perte ARE.
- 30 minutes après l'AAR, la conduite est similaire entre la perte ARE et l'incident de fermeture des VIV, mais avec un inventaire secondaire favorable pour ce dernier.
- La puissance à évacuer est couverte par celle du transitoire de perte ARE.

Si le MDTE est pris en compte à l'instant initial de l'incident de fermeture des VIV, l'AAR par basse vitesse des pompes primaires est obtenu très rapidement \square . Hormis les débits vapeur qui sont annulés 5 secondes plus tôt que l'incident de perte totale des alimentations électriques > 2h, l'incident étudié est similaire à ce dernier (voir section 15.2.3b).

Si le cumul du MDTE est pris en compte à l'instant du signal d'AAR, la phase long terme de l'incident est couverte par l'incident de PTAAE > 2h (voir section 15.2.3b), qui montre par un calcul explicite que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

En effet :

- L'incident de fermeture des VIV ne diffère de celui de la PTAAE que sur les 5 premières secondes (avant le déclenchement de la turbine qui intervient à environ 5 secondes sur une PTAAE), pendant lesquelles l'isolement des GV est effectif dans le premier cas à la différence du second.
- Le MDTE étant pris en compte à l'instant du signal d'AAR, la masse d'eau disponible dans les GV à l'instant de l'AAR est plus importante qu'en cas de PTAAE (puisque celle-ci entraîne la perte de l'ARE). L'ASG qui démarre sur bas niveau GV \square sera mise en service plus tard que sur l'incident de PTAAE.
- 30 minutes après l'AAR, la conduite est similaire entre la PTAAE et l'incident de fermeture des VIV, mais avec un inventaire secondaire favorable pour ce dernier.
- La puissance à évacuer est similaire à celle de l'incident PTAAE.

Par conséquent, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr correspondant aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$) et les rejets radiologiques restent tolérables. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.](#) est donc respecté.

2. FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT VAPEUR (À L'ÉTAT A, PCC-3)

2.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT

2.1.1. Généralités

La fermeture intempestive d'une vanne d'isolement vapeur est un événement d'échauffement conduisant d'une part à un risque d'endommagement du combustible par l'atteinte de la crise d'ébullition. Cette section traite du risque lié à la crise d'ébullition, le risque de surpression étant traité dans la section relative aux "Sujets spécifiques aux composants mécaniques" (voir section 3.6.1).

Cette section traite également de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr obtenu lorsque les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA sont atteintes.

- identification des causes :
L'événement fermeture intempestive d'une vanne d'isolement vapeur est initié,
 - soit par un signal d'instrumentation et de contrôle intempestif de fermeture d'une vanne d'isolement vapeur,
 - soit par une ouverture intempestive de 2 pilotes vapeur en série sur cette vanne d'isolement vapeur.
- précautions limitant l'apparition d'un incident :
Chaque vanne d'isolement vapeur est constituée de 4 pilotes vapeur, chacun étant alimenté par une division électrique différente. L'ouverture de 2 de ces pilotes vapeur en série assure la fermeture d'une vanne d'isolement vapeur. Par conséquent, la probabilité d'une fermeture intempestive d'une vanne d'isolement vapeur, due à une ouverture intempestive de 2 pilotes vapeur en série dans cette vanne d'isolement vapeur, est très faible.

La fermeture intempestive d'une vanne d'isolement vapeur est un événement PCC3.

2.1.2. Séquence typique des événements

- de l'événement initiateur à l'état contrôlé
La fermeture d'une vanne d'isolement vapeur entraîne l'annulation du débit vapeur et l'augmentation de la pression secondaire du GV associé. La dégradation de l'échange de puissance avec le secondaire au niveau du GV affecté conduit à l'augmentation de la pression primaire ainsi qu'à l'échauffement de la boucle affectée. Les températures des boucles saines diminuent du fait d'un rééquilibrage de charge entre les GV (augmentation du débit vapeur et baisse de la pression secondaire dans les GV sains).
L'Arrêt Automatique du Réacteur est activé par le signal de pression GV Max1p (suite à l'augmentation de la pression secondaire dans le GV affecté), de baisse rapide de pression GV Max0p (suite à la baisse de la pression secondaire dans les GV sains) ou de pression pressuriseur Max2p (suite à l'augmentation de la pression primaire) et les pressions primaires et secondaires sont automatiquement limitées par les dispositifs de protection contre la surpression du pressuriseur et des générateurs de vapeur (GV).
L'AAR entraîne également le déclenchement de la turbine et l'isolement des lignes grand débit ARE.
Après l'AAR, si l'ARE et l'AAD ne sont pas disponibles, l'ASG démarre sur signal de très bas niveau, GV par GV, et la puissance résiduelle est évacuée par le VDA maintenu à sa pression de consigne.
L'état contrôlé est atteint.
- de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr
L'état d'arrêt sûr est défini comme étant l'état pour lequel le cœur est sous-critique, les rejets radiologiques restent tolérables et la puissance résiduelle est durablement évacuée. La puissance résiduelle est durablement évacuée par les échangeurs RIS-RA, après passage en arrêt à froid et connexion des trains RIS-RA en mode RA. Ces conditions correspondent à une pression en branche chaude de 32 bar abs et une température en branche chaude de 180°C dans 2 boucles sur 4.
En conduite incidentelle, la séquence d'opérations à appliquer par l'opérateur pour atteindre l'état d'arrêt sûr peut être divisée en deux phases :
stabilisation
Dans cette conduite, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation, dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Au cours de cette phase, une stabilisation de la TRIC est demandée. Le module « inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte lors du démarrage de l'ASG.
Puis le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé :
 - sur critère de seuil des bâches ASG < Min (cas sans MDTE) ; une seule pompe GMPP est alors maintenue en service,

- ou 2 heures après la perte des alimentations électriques externes (cas avec MDTE) par application d'une fiche EFS.

passage en état de repli

La stratégie de passage en état de repli conduit au passage en arrêt intermédiaire jusqu'aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA. Une borication du circuit primaire est réalisée jusqu'à l'atteinte de la concentration en bore requise pendant que le refroidissement du fluide primaire est réalisé par l'ouverture contrôlée des vannes VDA. Pendant le refroidissement, le circuit primaire est dépressurisé par l'aspersion normale (cas sans MDTE), l'aspersion auxiliaire ou si besoin les soupapes du pressuriseur. L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square bar abs.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de l'incident PCC-3 de fermeture intempestive d'une VIV sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10%.
 - L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de l'oxyde d'uranium (2810°C pour du combustible neuf, décroissant de 7.6°C tous les 10000 MWJ/t). Des critères techniques d'acceptation peuvent être retenus pour certains incidents, par exemple : la valeur restrictive de 590 W/cm est prise dans certains cas, cette valeur permettant de garantir la non fusion au centre de la pastille.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

2.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

La très courte période entre l'instant où une vanne d'isolement vapeur se ferme et le moment où le RFTC est minimum est étudiée en détail dans les paragraphes suivants.

La démonstration de l'obtention de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est basée sur une évaluation qualitative, renvoyant à d'autres études d'accidents du Rapport de Sûreté (voir section 15.2.2i et section 15.2.3b).

2.4. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

2.4.1. Méthodes d'étude et d'analyse

□

La méthodologie de l'étude est la même que celle utilisée pour l'événement « fermeture intempestive de toutes les vannes d'isolement vapeur », présenté dans le § 1. Par rapport à cet incident, la « fermeture intempestive d'une vanne d'isolement vapeur » introduit un comportement primaire dissymétrique. Une matrice de mélange pénalisée (voir le tableau [TAB-15.2.3g.5](#)) est retenue de manière à favoriser le recyclage de la boucle affectée sur elle-même, avec des coefficients pénalisés tels que présentés dans l'étude de la RTV (section 15.2.4b).

Pour vérifier le critère de sûreté relatif à la crise d'ébullition, la méthode d'analyse se décompose en deux étapes.

La variation de RFTC est calculée par la formule suivante :

$$\Delta RFTC = \frac{RFTC_{initial} - RFTC_{min}}{RFTC_{min}}$$

Cette variation de RFTC est comparée à l'écart entre le seuil d'alarme « bas RFTC » et la valeur limite de conception de 1, soit □% (valeur dimensionnée par l'étude de la perte totale des alimentations électriques externes (section 15.2.2h)).

Si la diminution du RFTC est inférieure à □%, l'absence de crise d'ébullition est vérifiée.

Sinon, le pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition est calculé, autour de l'instant de RFTC minimal, à partir des conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) issues de l'incident □ afin de vérifier que cette proportion reste inférieure à 10%.

□

2.4.2. Actions de protection et de mitigation

Les fonctions d'instrumentation et de contrôle F1A suivantes assurent l'Arrêt Automatique du Réacteur :

- Arrêt Automatique du Réacteur sur « Pression GV > Max 1p »,
- Arrêt Automatique du Réacteur sur « Pression pressuriseur > Max 2p »,
- Arrêt Automatique du Réacteur sur « Baisse rapide de pression GV > Max 0p ».

Ces signaux entraînent le déclenchement de la turbine et l'isolement des vannes à grand débit de l'ARE.

L'isolement des lignes ARE petit débit intervient également sur :

- baisse rapide de pression GV > MAX2p.

Les fonctions F1A suivantes sont disponibles pour obtenir l'état contrôlé :

- 4 VDA pour l'évacuation de la puissance par le secondaire : le prépositionnement des vannes réglantes des VDA et l'écrêtement de la pression lorsque la pression $GV > MAX1p$ GV par GV,
- 4 trains ASG pour l'alimentation en eau du secondaire activés lorsque le niveau $GV < MIN2p$ GV par GV (si l'ARE et l'AAD sont indisponibles après AAR),
- 3 soupapes pressuriseur pour limiter la pression du circuit primaire [] .

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état sûr, les systèmes F1 suivantes sont disponibles :

- l'aspersion normale du pressuriseur (classée F1B sans séisme), pour le cas sans cumul du MDTE,
- 4 VDA pour le refroidissement jusqu'aux conditions de fonctionnement du RIS-RA en mode RA,
- 2 trains RBS pour la borication au cours du refroidissement,
- 4 trains ASG pour l'alimentation en eau des GV,
- 3 soupapes pressuriseur pour limiter la pression du circuit primaire [] .

2.5. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ)

2.5.1. Choix de la défaillance unique et de la maintenance préventive

A court terme, le critère à respecter est lié à la crise d'ébullition. [] .

Aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive en état A n'est sollicité au cours de l'incident pour la phase court terme.

2.5.2. État initial

Les conditions initiales correspondent à 100% de la puissance nominale avec la prise en compte des incertitudes de manière pénalisante, vis-à-vis du RFTC. Elles sont présentées au tableau [TAB-15.2.3g.3](#).

Les niveaux GV ne sont pas pénalisés car l'impact est négligeable sur cet incident.

[]

2.5.3. Hypothèses spécifiques

- prise en compte du MDTE
Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le cumul du MDTE est considéré car une réduction de débit primaire est pénalisante vis-à-vis du RFTC. Le choix de l'instant de sa prise en compte est à retenir parmi les instants initial, de signal d'AAR et du signal d'IS.

[]

- données neutroniques et puissance résiduelle
Les données neutroniques retenues pour les études d'incidents à court terme sont issues du sous-chapitre 15.1.

[]

La particularité de l'incident, qui entraîne l'échauffement de la boucle affectée et le refroidissement des 3 boucles saines, est qu'il peut s'apparenter à un incident « d'échauffement » ou « de refroidissement » (vu du cœur), suivant que l'on considère la boucle affectée ou les boucles saines.

Dans le cas d'un incident de refroidissement, un facteur de pondération neutronique réparti intégralement sur les boucles froides et nul sur la boucle affectée est pris en compte afin d'augmenter la réactivité apportée par effet modérateur et Doppler température.

[]

[]

Le temps de chute des grappes maximal avec séisme [] est considéré conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2) pour un incident PCC-3 avec prise en compte du MDTE.

[]

- hypothèses systèmes fluides

Les données sont issues du sous-chapitre 15.1.

[]

La première soupape du pressuriseur est supposée s'ouvrir à [] bar abs [] avec un débit vapeur majoré []. Un temps d'ouverture nul est retenu.

Le débit VDA est pris minimum [] et le point de consigne d'ouverture maximum []. Les vannes d'isolement du VDA s'ouvrent alors que le réacteur est encore à pleine puissance. Afin de minimiser le débit au VDA, le prépositionnement du VDA est pris en compte avec une incertitude de mesure sur l'ouverture des vannes réglantes, soit un prépositionnement initial de ces vannes à 95% (100% ouverture – 5% incertitude).

La pression de tarage des soupapes secondaires est prise maximale []. La capacité minimale de chaque soupape est de [] t/h sous [] bar abs.

Le débit ARE est pris à sa valeur nominale jusqu'à l'instant du cumul MDTE. De manière conservative, il est ensuite pris nul dès l'instant du cumul du MDTE.

Le débit vapeur est interrompu à l'instant initial (sans tenir compte du délai de fermeture des vannes).

- hypothèses relatives aux systèmes non F1A

Hormis l'aspersion normale du pressuriseur qui pénalise le RFTC en minorant la pression primaire, les fonctions de régulation ne sont pas prises en compte car elles n'ont soit aucun impact, soit des effets bénéfiques sur la valeur minimale RFTC.

- hypothèses relatives aux systèmes F1A

Le seul signal F1A sollicité dans la phase à court terme de l'incident est l'Arrêt Automatique du Réacteur. Son efficacité minimale est envisagée, en tenant compte de toutes les incertitudes correspondantes (voir sous chapitre 15.1).

L'AAR sur signal haute pression GV intervient lorsque le seuil de [] bar abs [] est atteint [].

L'AAR sur signal haute pression pressuriseur intervient lorsque le seuil de [] bar abs [] est atteint [].

L'AAR sur signal « baisse rapide de pression dans un GV (Max0p) » a les caractéristiques suivantes ;

- Seuil Max0p : -5 bar/min,
- écart consigne/mesure : -5,7 bar,
- consigne max : 78 bar abs -1,5 bar d'incertitude,
- délai total entre l'atteinte du seuil et le début de la chute des grappes : 1,3 s.

Le déclenchement turbine a lieu 3,7 secondes après l'ouverture des disjoncteurs d'AAR et le temps de fermeture des vannes d'arrêt turbine est égal à 0,8 secondes.

- système de limitation

Aucun système de limitation n'est modélisé dans le cadre de cette étude car leur prise en compte a un impact favorable vis-à-vis des critères de sûreté.

2.5.4. Résultats et conclusion

- analyse du cycle naturel

Le tableau [TAB-15.2.3g.4](#) présente la séquence des événements pour l'incident de fermeture intempestive d'une vanne d'isolement vapeur []. Les principaux paramètres de l'incident ont représentés sur les figures [FIG-15.2.3g.8](#) à [FIG-15.2.3g.13](#).

La fermeture d'une vanne d'isolement vapeur conduit à l'augmentation de la pression dans le GV affecté. La dégradation de l'échange de puissance avec le secondaire au niveau du GV affecté conduit à l'augmentation de la pression primaire ainsi qu'à l'échauffement de la boucle affectée. Les températures des boucles saines diminuent du fait d'un rééquilibrage de charge entre les GV (augmentation du débit vapeur dans les GV sains). Cependant, en moyenne en entrée du cœur, la température augmente.

La pression dans le GV affecté augmente jusqu'à l'atteinte des seuils de haute pression GV et d'ouverture du VDA sur la ligne vapeur affectée 5 secondes après le début d'incident. L'AAR

intervient et conduit à la chute des grappes \square . L'augmentation de la pression dans le GV affecté est contrôlée par l'ouverture effective du VDA à 7,5 secondes.

Le RFTC augmente au début de l'incident (jusqu'à l'instant de l'AAR), sous l'effet conjugué de l'augmentation de la pression primaire et de la température primaire alors que la puissance dans le cœur et le débit primaire restent constants.

Le cumul du MDTE \square entraîne de façon découplée, la perte instantanée de l'alimentation normale des GV et l'arrêt des pompes primaires, ce qui provoque une décroissance du débit primaire et ainsi une baisse du RFTC. Le RFTC minimum est atteint au bout de 9,6 secondes après la fermeture de la vanne d'isolement vapeur.

La diminution de RFTC est supérieure à la marge existant entre le seuil d'alarme bas RFTC et le critère de sûreté ($\square\%$). Ceci implique l'entrée en crise d'ébullition de $\square\%$ des crayons au cours de l'incident de fermeture intempestive d'une vanne d'isolement vapeur, ce qui est inférieur au critère de sûreté de 10% relatif aux incidents PCC-3.

Le déclenchement turbine a lieu 3,7 secondes après l'ouverture des disjoncteurs d'AAR et le temps de fermeture des vannes d'arrêt turbine est égal à 0,8 secondes.

Les pressions secondaires dans les boucles saines diminuent dans un premier temps. A la suite de l'AAR et du déclenchement turbine, elles augmentent, dépassent le seuil de haute pression GV à 82,3 secondes ce qui conduit à l'ouverture des VDA 84,8 secondes après le début de l'incident. Suite à l'AAR et l'ouverture des VDA, la pression secondaire reste limitée par la pression d'ouverture des VDA qui assurent l'évacuation de vapeur produite par les GV. La température, la pression et l'inventaire en eau du circuit primaire se stabilisent. L'ASG démarre automatiquement sur signal Bas niveau GV GL MIN2p.

La température maximale de la gaine atteinte au cours de l'incident est de $\square^\circ\text{C}$, le critère relatif à la température de gaine de 1482°C présenté au § 1.2. est donc respecté. La température maximale au centre de la pastille est de $\square^\circ\text{C}$, garantissant ainsi l'absence de fusion de combustible. L'évolution de ces températures est présentée sur la figure [FIG-15.2.3g.14](#).

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles étant démontré, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité du cœur en état d'arrêt à chaud ($\text{keff} < 1$), il n'y a pas de risque de retour en criticité (pas de refroidissement lié à un débit vapeur excessif).

- analyse de la prolongation de cycle

Vis-à-vis du RFTC, les conditions initiales sont favorables en prolongation de cycle : en effet, le niveau de puissance et la température primaire sont abaissés (ce qui est favorable) et la pression primaire est également abaissée (ce qui est pénalisant), mais les effets de la puissance et de la température sont prépondérants sur le calcul de RFTC par rapport à la pression.

Durant l'incident, le RFTC commence par augmenter sous l'effet de l'augmentation de pression primaire, puis il diminue après l'AAR suite à la perte de débit \square . La pression secondaire est abaissée en prolongation de cycle. Le seuil d'AAR sur haute pression GV est abaissé à plusieurs pas définis par la prolongation de cycle, de manière à revenir approximativement au même écart entre la pression de consigne et le seuil d'AAR. Ainsi l'AAR qui intervient sur signal de haute pression GV sera retardé sur les périodes entre deux abaissements des seuils. Dans ces configurations, la diminution du RFTC interviendra à partir d'un RFTC plus élevé donc moins pénalisant. Aux pas choisis pour l'abaissement du seuil, l'instant d'AAR et par conséquent les évolutions de pressions et températures jusqu'à l'instant du RFTC minimum devraient rester similaires à celles obtenues en cycle naturel. Le niveau de puissance étant abaissé, ces cas sont couverts par l'étude en cycle naturel.

Comme de plus, les données neutroniques prises en compte pour l'incident sont enveloppes de la prolongation de cycle, l'incident réalisé couvre le fonctionnement en prolongation de cycle.

- conclusions

Le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'endommagement des assemblages combustibles étant démontré (critères en NCE, en température de gaine et température au point chaud de la pastille), les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'insertion des grappes lors de l'AAR assure la sous-criticité du cœur en état d'arrêt à chaud ($\text{keff} < 1$). Il n'y a pas de risque de retour en criticité (pas de refroidissement lié à un débit vapeur excessif).

En cas de cumul du MDTE à l'AAR, l'évolution du transitoire est comparable à celle du transitoire de perte totale des alimentations électriques externes < 2h (voir section 15.2.2h).

Par ailleurs, compte-tenu de l'initiateur (i. e. un GV isolé à l'instant initial), les situations avec défaillance unique à l'ouverture d'un VDA peuvent être spécifiquement couvertes par le transitoire

de Rupture de Tuyauterie d'eau alimentaire (voir section 15.2.4c) pour lequel l'état contrôlé est atteint sans découverture du cœur.

Si le VDA d'un GV isolé ne s'ouvre pas, la pression dans ce GV est limitée par la pression d'ouverture de la soupape de ce GV, ce qui modifie les conditions d'évacuation de la puissance et contribue à une température plus importante dans la boucle primaire associée. Toutefois, ce GV, tant que son niveau est suffisant, permet encore l'évacuation de puissance alors que dans le cas d'une rupture de tuyauterie d'eau alimentaire, le GV affecté n'y participe pas du tout. Après démarrage de l'ASG, le débit maximal vers le GV affecté par le blocage du VDA n'est pas garanti □. La configuration d'alimentation en eau des GV par l'ASG reste plus favorable que dans le cas de la rupture de tuyauterie d'eau alimentaire, car :

- le débit ASG vers le GV affecté est supposé intégralement perdu à la brèche dans le cas de la Rupture de Tuyauterie d'eau alimentaire,
- l'aggravant n'est pas postulé sur une pompe ASG ni sur un diesel (contrairement au cas pénalisant de la rupture de tuyauterie d'eau alimentaire) ce qui permet de disposer d'un train ASG supplémentaire pour l'évacuation de puissance.

L'état contrôlé est donc atteint sans découverture du cœur, et donc risque d'oxydation des gaines et sans endommagement de la géométrie du cœur.

2.6. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR)

2.6.1. Conduite opérateur

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le signal d'AAR.

Lors du diagnostic, suite à l'AAR, l'opérateur est orienté vers la conduite incidentelle.

Suite à l'indisponibilité de l'ARE et de l'AAD, l'ASG a démarré automatiquement sur signal de très bas niveau dans les GV, □ □ au début de la conduite, en constatant que les GV ne sont pas alimentés.

En conduite incidentelle, l'opérateur est orienté vers la stratégie de stabilisation. Le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Au cours de cette phase, une stabilisation de la TRIC est demandée. Le module « inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte lors du démarrage de l'ASG.

En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG et dans la mesure où le GV associé est utilisable □, la surveillance des systèmes permet d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné, et un opérateur est chargé d'ouvrir les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin. Cette action est supposée être réalisée 30 minutes après l'AAR

L'état d'arrêt à chaud ainsi obtenu est un état contrôlé, puis le passage en état de repli en conduite incidentelle est demandé :

- sur critère de seuil des bâches ASG < Min (cas sans MDTE) ; une seule pompe GMPP est alors maintenue en service,
- ou 2 heures après la perte des alimentations électriques externes (cas avec MDTE) par application d'une fiche EFS.

Dans la stratégie de passage en état de repli, les opérateurs effectuent les actions nécessaires pour le passage en arrêt intermédiaire permettant la connexion du RIS-RA en mode RA. Une borication du circuit primaire est réalisée via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise. Le maintien de la sous-criticité du cœur est garanti. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles du niveau pressuriseur et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si un seul train RBS est en service ou si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,

- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

Le niveau d'eau dans les GV utilisables est maintenu grâce à l'ASG.

L'évacuation de la puissance résiduelle étant assurée par les GV (ASG et VDA) à long terme, l'inventaire en eau du primaire n'est pas dégradé. Ceci garantit l'absence d'endommagement des assemblages combustibles ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants. Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale (cas sans MDTE), l'aspersion auxiliaire ou les soupapes du pressuriseur si les moyens d'aspersion sont indisponibles.

□ les accumulateurs quand la pression primaire passe sous □ bar abs.

Le débit du RBS étant insuffisant pour compenser la contraction du fluide primaire, le signal de Bas ΔP_{sat} peut être généré et démarrer l'injection de sécurité. Dans ce cas, l'opérateur sera réorienté en conduite accidentelle, injection de sécurité en service ; dans cette conduite il sera amené à arrêter progressivement les pompes d'injection de sécurité jusqu'à atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Cette conduite n'augmente pas le délai d'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA.

L'évacuation durable de la puissance résiduelle est obtenue lorsque les conditions de connexion RIS-RA en mode RA sont atteintes. Celles-ci correspondent à une pression en branche chaude de 32 bar abs et une température en branche chaude 180°C dans 2 boucles sur 4 en conduite accidentelle contre 135°C en conduite incidentelle.

2.6.2. Résultats et conclusions

Sans prise en compte du MDTE, l'étude de la phase long terme de cet incident est couverte par celle du transitoire de perte de l'eau alimentaire normale (voir section 15.2.2i), qui montre par un calcul explicite que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

En effet, le transitoire étudié présente des conditions moins sévères vis-à-vis de la consommation d'ASG que le transitoire de perte ARE :

- A l'instant de l'AAR, la masse d'eau disponible dans les GV est plus importante qu'en cas de perte ARE. L'ASG, qui démarre sur bas niveau GV □, sera donc mise en service plus tard que sur le transitoire de perte ARE.
- 30 minutes après l'AAR, la conduite est similaire entre la perte ARE et l'incident de fermeture d'une VIV, mais avec un inventaire secondaire favorable pour ce dernier.
- La puissance à évacuer est couverte par celle du transitoire de perte ARE.

Si le cumul du MDTE est pris en compte, la phase long terme de cet incident est couverte par celle de l'incident de perte totale des alimentations électriques > 2h (voir section 15.2.3b), qui montre par un calcul explicite que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

En effet,

- Si le MDTE est pris en compte à l'instant initial de l'incident, l'AAR par basse vitesse des pompes primaires est obtenu très rapidement □. Hormis le débit vapeur qui est annulé 5 secondes plus tôt dans le GV affecté que lors de l'incident de PTAAE > 2h, l'incident étudié est similaire à ce dernier.
- Si le MDTE est pris en compte à l'instant du signal d'AAR, la masse d'eau disponible dans les GV à l'instant de l'AAR est plus importante qu'en cas de PTAAE (puisque celle-ci entraîne la perte de

l'ARE). L'ASG qui démarre sur bas niveau GV □ sera mise en service plus tard que sur l'incident de PTAAE.

- 30 minutes après l'AAR, la conduite est similaire entre la PTAAE et l'incident de fermeture d'une VIV, mais avec un inventaire secondaire favorable pour ce dernier.
- La puissance à évacuer est similaire à celle de l'incident PTAAE.

Par conséquent, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr correspondant aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 0,99$) et les rejets radiologiques restent tolérables. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2](#) est donc respecté.

TAB-15.2.3G.1 FERMETURE INTEMPESTIVE DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR - PRINCIPALES HYPOTHÈSES []

[]

**TAB-15.2.3G.2 FERMETURE INTÉPESTIVE DE TOUTES
LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR – DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT
TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS**

Temps (s)	Evènements
0,0	Fermeture intempestive de toutes les VIV
5	Pressions secondaires > MAX1p □ + Isolement des lignes ARE
5,9	Signal d'AAR « Pression GV > Max1p »
□	Début de la chute de grappes
7,5	Début de l'ouverture des VDA
9,4	RFTC minimum atteint □
9,9	Ouverture de la première soupape du PZR
100,0	Fin de l'incident



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 24/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.3G.3 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE D'ISOLEMENT VAPEUR – PRINCIPALES HYPOTHÈSES □

□

**TAB-15.2.3G.4 FERMETURE INTÉPESTIVE D'UNE
VANNE D'ISOLEMENT VAPEUR – DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À COURT
TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS**

Temps (s)	Evènements
0,0	Fermeture intempestive d'une VIV
5	Pression secondaire dans le GV affecté > MAX1p □ + Isolement des lignes ARE
5,9	Signal d'AAR « Pression GV > Max1p »
□	Début de la chute de grappes
7,5	Début de l'ouverture du VDA associée au GV affecté
9,6	RFTC minimum atteint □
9,6	Déclenchement turbine
10,4	Fermeture complète des vannes d'arrêt turbine
82,3	Pressions secondaires dans les GV non affectés > MAX1p □
84,8	Début de l'ouverture des VDA associés aux GV non affectés
100,0	Fin de l'incident



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 26/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3G.5 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE
D'ISOLEMENT VAPEUR – MATRICE DE MÉLANGE
PÉNALISÉE ISSUE DES ESSAIS** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 27/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.1 FERMETURE INTÉPESTIVE DES 4 VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE
PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 28/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.2 FERMETURE INTÉPESTIVE DES 4 VIV – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET
FROIDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 29/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.3 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET DÉBIT
D'ASPERSION PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 30/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.4 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VDA**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 31/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.5 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – DÉBITS ARE ET VAPEUR EN SORTIE DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 32/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.6 FERMETURE INTEMPESTIVE DES 4 VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 33/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.7 FERMETURE INTÉPESTIVE DES 4 VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – ÉVOLUTIONS DE LA TEMPÉRATURE AU CENTRE
DE LA PASTILLE ET DE LA TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 34/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.8 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE
PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 35/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.9 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – TEMPERATURES BRANCHES CHAUDES ET
FROIDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 36/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.10 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – PRESSION PRESSURISEUR ET DÉBIT
D'ASPERSION PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 37/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.11 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS VDA**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 38/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3G.12 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – DÉBITS ARE ET VAPEUR EN SORTIE DES GV**

□

**FIG-15.2.3G.13 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3G

PAGE 40/40

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR


**FIG-15.2.3G.14 FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE VIV – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE À
COURT TERME – EVOLUTIONS DE LA TEMPÉRATURE AU CENTRE
DE LA PASTILLE ET DE LA TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ**

□

SOMMAIRE

.15.2.3H NON CONFORMITÉ DU CŒUR	3
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	3
2. MOYENS DE PRÉVENTION	3
2.1. ÉLABORATION DU PLAN DE CHARGEMENT	3
2.2. TRANSMISSION AU CNPE	3
2.3. MOUVEMENT D'ASSEMBLAGES	3
3. MOYENS DE DÉTECTION	4
3.1. AU (RE)CHARGEMENT	4
3.2. ESSAIS DE DÉMARRAGE	4
4. ÉTUDE DES CONSÉQUENCES	4
4.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	5
4.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	5
4.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	5
5. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	5
5.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	5
5.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	6
5.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	6

TABLEAUX :

TAB-15.2.3H.1	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	7
TAB-15.2.3H.2	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	8
TAB-15.2.3H.3	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	9
TAB-15.2.3H.4	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	10
TAB-15.2.3H.5	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	11
TAB-15.2.3H.6	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	12
TAB-15.2.3H.7	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	13
TAB-15.2.3H.8	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	14
TAB-15.2.3H.9	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE 	15
TAB-15.2.3H.10	RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT - CYCLE 	16
TAB-15.2.3H.11	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT	17

FIGURES :

FIG-15.2.3H.1	SCHÉMA D'IMPLANTATION DES GRAPPES	18
----------------------	--	-----------

.15.2.3H NON CONFORMITÉ DU CŒUR

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

Le plan de chargement retenu par EDF pour chaque rechargement représente un arrangement d'assemblages combustibles (AC) qui permet de respecter les valeurs limites de sûreté au cours des opérations de rechargement/déchargement et tout au long de la campagne d'irradiation. Une non-conformité du cœur peut induire éventuellement un dépassement de ces limites. EDF a donc mis en œuvre une série de moyens pour assurer la conformité du cœur lors d'un rechargement.

2. MOYENS DE PRÉVENTION

2.1. ÉLABORATION DU PLAN DE CHARGEMENT

Au niveau de l'élaboration du plan de chargement, des calculs d'évaluation de sûreté sont effectués et la vérification du respect des valeurs limites fait l'objet d'un contrôle indépendant par les Services Centraux d'EDF. Tout au long du processus, réalisé sous assurance de la qualité en suivant une procédure rigoureuse, le plan de chargement retenu est affecté d'un code alphanumérique unique, déterminé à partir des identifiants des assemblages et de leur position.

2.2. TRANSMISSION AU CNPE

Le plan de chargement et le code associé sont transmis au CNPE par deux voies : d'une part sous la forme d'une télécopie, et d'autre part sous la forme de données informatiques utilisées par l'intermédiaire de l'application informatique GCN.

Celle-ci élabore automatiquement, les séquences de déchargement/rechargement qui servent de base à la constitution des gammes de renouvellement du combustible. Elle calcule à son tour le code alphanumérique correspondant au plan utilisé et vérifie qu'il est identique, non seulement à celui renseigné par les Services Centraux dans les données d'entrée de GCN, mais également à celui figurant sur la télécopie des Services Centraux et qui est saisi dans GCN par le CNPE.

Après déchargement et avant rechargement du nouveau cœur, le CNPE adresse une télécopie aux Services Centraux pour validation en retour du plan de chargement utilisé. Cette télécopie comprend également le code alphanumérique et la date d'élaboration du plan.

2.3. MOUVEMENT D'ASSEMBLAGES

Lors du rechargement du combustible dans la cuve, réalisé un seul assemblage à la fois du fait de la conception de la machine de chargement, des dispositions matérielles et organisationnelles (lignes de défense) ont été prises afin de s'affranchir d'une erreur de positionnement d'un assemblage.

En particulier :

- le plan de « séquençement » est renseigné dans le logiciel de l'Automate Programmable Industriel (API) de la machine de chargement avant chaque renouvellement de combustible,
- l'identifiant de l'Assemblage Combustible (AC) fait l'objet d'une lecture au moyen d'un système télévisuel en BK afin de s'assurer que l'AC manutentionné vers le BR est bien celui attendu,
- en BR, une lecture vidéo de l'identifiant de l'AC est effectuée avant son introduction en cuve. Cet identifiant est saisi dans le « process », qui dispose de l'information de l'identifiant attendu pour cette destination. Un contrôle de cohérence informatique est réalisé et confirme l'information au chef de chargement,
- la descente de l'AC ne se poursuit que si cette cohérence est acquise. Ce contrôle indépendant permet de garantir que l'AC manutentionné en BR est placé à la position requise par le plan de chargement,

- la responsabilité de placer le bon assemblage à la bonne position incombe au chef de chargement. Lors de sa relève et de toute reprise après interruption des manutentions, un point sur l'avancement du chargement est effectué entre le chef de chargement, le responsable BK et la salle de commande.

Nota : le plan de « séquençement » indique l'ordre suivant lequel les AC sont chargés dans la cuve. Le plan de chargement indique la situation de chaque AC dans la cuve à la fin des opérations de renouvellement du combustible.

3. MOYENS DE DÉTECTION

3.1. AU (RE)CHARGEMENT

Les postes de supervision du système de manutention du combustible permettent de suivre l'évolution du plan d'occupation du cœur tout au long des opérations de (re)chargement. Une table d'occupation du cœur est ainsi consultable en temps réel. En fin de (re)chargement, une cartographie complète du cœur est par ailleurs réalisée, afin de s'assurer de la conformité au plan de chargement prévu.

Cette cartographie garantit que le (re)démarrage de la tranche, après (re)chargement, a lieu avec les assemblages correctement positionnés dans le cœur.

3.2. ESSAIS DE DÉMARRAGE

Les essais physiques de redémarrage permettent d'assurer une vérification globale de la conformité du cœur aux hypothèses sur les écarts calcul/mesure considérées dans les calculs d'évaluation de sûreté de la recharge. Ainsi, ils valident l'évaluation de sûreté pour la campagne à venir effectuée lors de l'élaboration du plan de chargement (voir [§ 2.1.](#)).

Cette vérification repose sur des mesures :

- de concentrations en bore critiques,
- de coefficients de température du modérateur,
- d'efficacité de grappes,
- des cartes de flux à puissance faible et au cours de la montée en puissance.

4. ÉTUDE DES CONSÉQUENCES

Les études de criticité garantissent la sous-criticité en cas de mauvais positionnement d'un assemblage.

L'étude du scénario d'erreur unique de chargement consiste, sur un cœur complètement chargé, à remplacer un assemblage épuisé grappé ou non par un assemblage neuf non grappé en prenant en compte tous les assemblages possibles.

L'étude montre que ce scénario ne présente pas de risque de retour en criticité, quel que soit l'assemblage considéré.

Pour l'analyse à court terme de l'accident jusqu'à l'état contrôlé, on calcule en conditions d'arrêt pour (re)chargement (état E), et pour l'ensemble des cas possibles de substitution d'un assemblage par l'assemblage le plus réactif de la gestion combustible, le facteur de multiplication effectif keff après substitution et on vérifie que l'écart à la criticité reste supérieur à 2000 pcm.

Dans cette étude, aucune défaillance autre que celle liée à l'évènement initiateur n'est prise en compte (aucun système de sûreté n'étant sollicité).

□

Pour l'analyse à moyen terme de l'accident jusqu'à l'état contrôlé et pour l'analyse à long terme jusqu'à l'état sûr, aucune étude explicite n'est nécessaire.

4.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

Le scénario de non-conformité du cœur consiste, sur un cœur complètement chargé, à remplacer un assemblage épuisé grappé ou non par un assemblage neuf non grappé, sans gadolinium et à l'enrichissement maximal.

La substitution est réalisée à partir de l'état initial suivant :

- Puissance : 0%PN,
- Pression primaire : 1 bar,
- Température primaire : 15°C,
- □
- Épuisement : début de vie (sans xénon),
- Configuration des grappes : TGI.

La concentration en bore est la concentration en bore pour rechargement définie dans le sous-chapitre 4.5□.

L'analyse est effectuée pour les 10 cycles de la première gestion FA3 (voir sous-chapitre 4.3).

4.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

Pour l'analyse à moyen terme de l'accident jusqu'à l'état contrôlé, aucune étude explicite n'est réalisée.

4.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Pour l'analyse à long terme de l'accident jusqu'à l'état d'arrêt sûr, aucune étude explicite n'est réalisée.

5. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

5.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME

Les tableaux [TAB-15.2.3h.1](#) à [TAB-15.2.3h.11](#) présentent les résultats obtenus sur l'ensemble des cycles de la première gestion FA3 pour les assemblages substitués dans le quart de cœur sud-est (voir [FIG-15.2.3h.1](#)).

Le critère de non retour en criticité est respecté si le keff final (calculé après substitution d'un assemblage) est inférieur à 0,98000.

La valeur du keff final la plus élevée □.

Par conséquent, le critère de non retour en criticité est respecté.

5.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

Les critères d'acceptabilité à vérifier pour la phase moyen terme sont la sous-criticité du cœur, l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation des rejets radioactifs.

Au cours de l'accident, le cœur reste sous-critique, la puissance évacuée est inchangée par rapport à l'état initial et correspond à la puissance résiduelle. Aucun rejet radioactif n'est produit.

L'état contrôlé n'est jamais quitté au cours de l'accident.

5.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Les critères d'acceptabilité à vérifier pour la phase long terme sont la sous-criticité du cœur, l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation des rejets radioactifs.

Au cours de l'accident, le cœur reste sous-critique, la puissance évacuée est inchangée par rapport à l'état initial et correspond à la puissance résiduelle. Aucun rejet radioactif n'est produit.

L'évacuation de la puissance est faite par le RIS/RRA, l'état contrôlé est donc également l'état d'arrêt sûr.

Aucune conduite incidentelle ou accidentelle n'est à effectuer.

**TAB-15.2.3H.1 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE** □□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3H

PAGE 8/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3H.2 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE** □

□

**TAB-15.2.3H.3 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE □**□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3H

PAGE 10/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3H.4 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3H

PAGE 11/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.3H.5 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE □

□

**TAB-15.2.3H.6 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE I**

I



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3H

PAGE 13/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3H.7 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3H

PAGE 14/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3H.8 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE** □

□

**TAB-15.2.3H.9 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT – CYCLE** □□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3H

PAGE 16/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3H.10 RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO
D'ERREUR DE CHARGEMENT - CYCLE** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3H

PAGE 17/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.3H.11 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS POUR LE SCÉNARIO D'ERREUR DE CHARGEMENT

□

FIG-15.2.3H.1 SCHÉMA D'IMPLANTATION DES GRAPPES

□

SOMMAIRE

.15.2.3I RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES)	3
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT	3
2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	5
2.1. PHÉNOMÈNES IMPORTANTS ET QUALIFICATION DES CODES UTILISÉS	5
2.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	6
2.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	7
2.4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	7
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	8
3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	8
3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	8
3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME	9
LISTE DES RÉFÉRENCES.	12

TABLEAUX :

TAB-15.2.3I.1 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES) – PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES	13
TAB-15.2.3I.2 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	15

FIGURES :

FIG-15.2.3I.1 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DÉBIT BOUCLE ET VITESSE POMPE PRIMAIRE.....	16
FIG-15.2.3I.2 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES	17
FIG-15.2.3I.3 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME POSITION DES GROUPES ET PRESSION PRESSURISEUR	18
FIG-15.2.3I.4 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME TEMPÉRATURE DE GAINÉ	19

.15.2.3I RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES)

Cet événement est analysé seulement avec le réacteur en puissance (état A).

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT

La réduction forcée du débit de réfrigérant primaire peut provenir d'un défaut de l'alimentation électrique des 4 pompes primaires, qui résulte d'une baisse de fréquence sur le réseau externe.

Le cas enveloppe correspond à une diminution de la fréquence d'alimentation électrique au taux maximal de 4 Hz par seconde pendant une durée indéterminée.

La diminution de la fréquence à 4 Hz/s conduit à une inversion du couple moteur des pompes primaires et à une décroissance du débit primaire plus rapide que celle résultant d'une perte de tension (limitée par l'inertie des masses tournantes). Le débit primaire chute rapidement dans l'ensemble des 4 boucles (la vitesse de rotation des pompes primaires s'annule en une dizaine de secondes, conduisant ainsi à l'Arrêt Automatique du Réacteur sur un signal de « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4.

En cas de réduction forcée du débit primaire, l'énergie emmagasinée dans le combustible continue d'être transférée au réfrigérant primaire dont le débit diminue, ce qui entraîne une augmentation rapide de sa température et de sa pression, augmentation favorisée par la réduction du transfert de chaleur dans les générateurs de vapeur.

L'incident se traduit donc :

- par l'apparition éventuelle de la crise d'ébullition dans une faible portion du cœur, donc par un risque d'endommagement d'un certain nombre de crayons de combustible. La protection doit intervenir pour limiter l'endommagement des crayons à un niveau acceptable qui n'entraîne pas de dispersion de combustible et de produits de fission dans le réfrigérant primaire.
- par une variation rapide de la pression primaire. L'augmentation de pression peut mettre en action le système automatique d'aspersion du pressuriseur et peut provoquer l'ouverture de la soupape de décharge et des soupapes de sûreté du pressuriseur.

Protections

Le signal d'arrêt automatique du réacteur par « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4 assure la protection du réacteur contre la perte de débit due à la baisse de fréquence du réseau. Le signal de compte-rendu d'AAR provoque le déclenchement de la turbine et l'isolement des lignes grand débit de l'eau alimentaire normale.

Les autres signaux de protection sollicités sont le signal « Haute Pression secondaire » pour l'ouverture des vannes d'isolement du VDA, GV par GV, et éventuellement le signal de « Très Bas Niveau GV » pour le démarrage de l'ASG, GV par GV.

Il est à noter que la baisse de fréquence du réseau à un taux de 4 Hz/s impacte l'ensemble des systèmes alimentés électriquement et conduit à terme à une perte totale des alimentations électriques externes.

Critères d'étude

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet incident PCC-3 sont les suivants :

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482 °C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible ;
- L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium (2810°C pour un combustible neuf, décroissant de 7,6 °C tous les 10 000 MWJ/t).

Le respect du critère d'absence de fusion du combustible ne fait l'objet d'aucune vérification spécifique dans le présent chapitre. En effet, l'incident de réduction forcée de débit primaire étant rapide, les températures du combustible sont peu sensibles à la dégradation de l'évacuation de la puissance par le fluide primaire et elles sont pilotées essentiellement par la puissance nucléaire qui ne fait que décroître au cours du déroulement de l'incident. Il n'y a donc pas de problème de sûreté lié à la température du combustible pour cet incident.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état contrôlé (arrêt à chaud), les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- L'AAR est déclenché à partir du signal suivant : « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4 .
- 4 trains VDA pour l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation de la pression .
- 4 trains ASG mis en service GV par GV lorsque le niveau GV < % Gamme Large,
- 3 soupapes de sûreté du pressuriseur pour limiter la pression du RCP avec des seuils à bar abs (1^{ère} soupape pressuriseur), bar abs (2^{ème} soupape pressuriseur) et bar abs (3^{ème} soupape pressuriseur).

De l'événement initiateur à l'état contrôlé, l'incident peut être divisé en deux phases distinctes :

- la phase « court terme », caractérisée par une diminution rapide du RFTC et un risque d'apparition de la crise d'ébullition, c'est-à-dire les premières secondes de l'incident,
- la phase « moyen terme », au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur par le fluide primaire doit être assurée et pour laquelle le rejet d'activité dans l'atmosphère du fluide secondaire via les trains VDA doit être évalué jusqu'à obtention de l'état contrôlé.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, les fonctions F1B suivantes (au moins) sont disponibles :

- 4 trains VDA pour le refroidissement jusqu'à la connexion du RRA .

- 4 trains ASG mis en service GV par GV
- 2 trains RBS pour la borication .

Dans les phases à moyen et à long termes, la prise en compte de la maintenance préventive et d'un aggravant peut conduire à la perte d'un ou de deux systèmes décrits ci-dessus.

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Pour l'évolution de l'incident jusqu'à obtention de l'état contrôlé, les deux phases susmentionnées (court terme et moyen terme) doivent être étudiées séparément.

L'étude de la phase à court terme consiste à déterminer le nombre maximal de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition ainsi que la température maximale de la gaine combustible, au cours de l'incident. L'évolution de l'incident est simulée à l'aide de calculs dans lesquels on suppose que l'incident de réduction forcée du débit primaire est initié à l'instant $t=0s$.

L'étude explicite des phases à moyen et à long termes (comportement global de l'installation) n'est pas nécessaire car ces phases sont couvertes par d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de la façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus anti-réactive)	Sans objet
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	Cf. cas de référence (voir § 3.2. et § 3.3.)	
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr		

Tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour la phase court terme, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

2.1. PHÉNOMÈNES IMPORTANTS ET QUALIFICATION DES CODES UTILISÉS

La famille d'événements analysée est la perte totale ou partielle du débit primaire.

Dans le cas présent, l'événement considéré est la réduction forcée du débit primaire (4 pompes) à 4 Hz par seconde. Pour cet incident classé en catégorie de fonctionnement PCC-3, les règles d'étude conduisent à considérer un cumul du Manque De Tension Externe (MDTE) à l'instant initial, à l'arrêt automatique du réacteur ou au signal IS, si ce cumul est pénalisant. Ce n'est pas le cas puisque la décroissance de débit primaire en cas de cumul MDTE est limitée par l'inertie des pompes primaires,

et est donc plus lente que dans une situation de réduction forcée du débit primaire à 4 Hz par seconde. Ainsi, le cumul du MDTE n'est pas pris en compte pour cet incident.

Toutefois, le défaut du réseau électrique à l'origine de la réduction forcée du débit primaire affecte également l'ensemble des systèmes alimentés électriquement. Par simplification et en l'absence d'impact de ces systèmes sur l'incident (voir [Réf \[1\]](#)), l'ensemble des systèmes alimentés électriquement est supposé perdu au moment de l'initiateur. Ainsi, à l'exception des pompes primaires, le comportement des systèmes est identique à la perte totale des alimentations électriques externes de courte durée (voir section 15.2.2h) et au rotor bloqué (voir section 15.2.4h).

Phénomènes

Les phénomènes traités ici sont fondamentalement les mêmes que pour la perte totale des alimentations électriques externes de courte durée (voir section 15.2.2h), le rotor bloqué (section 15.2.4h) et la perte d'une pompe primaire sans arrêt d'urgence partiel (voir section 15.2.2k).

Codes et Qualification

□

Ces codes sont décrits en Annexe 15A, ainsi que leur base de qualification.

2.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

1) Méthodes d'analyse

□

- □
- □
- □

□

L'étude valorise la chaîne de surveillance « Bas RFTC » dont le seuil a été établi dans le cadre de l'étude de conception thermohydraulique (voir sous-chapitre 4.4).

2) Données neutroniques et thermiques

Les données neutroniques et thermiques considérées afin de pénaliser le transitoire □ sont les suivantes :

- Le coefficient de température modérateur est choisi minimum en valeur absolue : □ (voir sous-chapitre 4.3) □.
- Le coefficient de transfert thermique du jeu pastille/gaine est minimum et constant au cours du transitoire : □.
- La fraction effective de neutrons retardés est maximum : □ (voir sous-chapitre 4.3).

3) Conditions initiales et limites

Les conditions initiales ont été sélectionnées de manière à être les plus pénalisantes vis-à-vis du risque d'entrée en crise d'ébullition. Elles sont identiques à celles retenues pour l'étude de rotor bloqué (voir section 15.2.4h).

□

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.3i.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

4) Hypothèses relatives aux systèmes

Système de protection

L'Arrêt Automatique du Réacteur est sollicité par le signal de « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4 ; ce signal est associé au permissif P12.

□

Le temps de chute des grappes considéré prend en compte le séisme. Il est maximal \square (voir sous-chapitre 15.1).

L'efficacité intégrale de l'arrêt automatique du réacteur (N-1 grappes) est diminuée de son incertitude \square . Une valeur enveloppe prenant en compte la dispersion entre cycles et les pénalités pour modèles perturbés (tilt, FPPR, SCTR) est retenue.

De façon découplée, le déclenchement turbine est supposé avoir lieu sans retard sur le signal d'AAR.

5) **Vérification du critère en nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition**

Dans un premier temps, le RFTC est calculé de manière découplée pour l'assemblage chaud, tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issu du transitoire neutronique.
- Le facteur de d'élévation d'enthalpie est maximal \square (voir sous-chapitre 4.3) ; il est associé à une distribution radiale de puissance cœur dite « de conception » (voir sous-chapitre 4.4).
- Les conditions thermohydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) sont issues du transitoire neutronique.

Le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est ensuite calculé, autour de l'instant de RFTC minimal, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issue du transitoire neutronique.
- Le calcul est réalisé avec chacune des courbes de fuel census (voir [Réf \[1\]](#)), correspondant aux cycles de la première gestion FA3 (voir sous-chapitre 4.3), recalées par homothétie sur le facteur de pic d'élévation d'enthalpie maximal \square .
- Les conditions thermohydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) sont issues du transitoire neutronique.

On retient le nombre maximal de crayons entrant en crise d'ébullition pour comparaison au critère technique d'acceptation de 10%.

6) **Vérification du critère en température de gaine**

Les données neutroniques considérées pour l'analyse thermique découplée sont les suivantes :

- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance nucléaire, pression, débit massique et densité) sont issues du transitoire neutronique.
- La température de sortie est celle de l'assemblage considéré issue du transitoire neutronique.
- L'évolution du facteur de point chaud FQ de l'assemblage considéré issue du transitoire neutronique est translatée de telle sorte qu'à l'instant initial, la puissance linéique soit égale à la limite de fonctionnement (soit 450 W/cm).

2.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

L'étude de l'événement initiateur à l'état contrôlé n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres événements (voir [§ 3.2.](#)).

2.4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

L'étude de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres événements (voir [§ 3.3.](#)).

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME

La séquence des événements de l'incident se trouve dans le tableau [TAB-15.2.3i.2](#). Les évolutions des principaux paramètres de l'incident sont représentées sur les figures [FIG-15.2.3i.1](#) à [FIG-15.2.3i.3](#).

L'analyse thermohydraulique aboutit à un nombre maximal de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition de $\square\%$. Ce résultat est obtenu dans les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire avec la valeur maximale du $F\Delta H$, avec la distribution axiale de puissance pénalisante de l'assemblage chaud, et la courbe de fuel census du cycle pénalisant.

L'analyse thermique aboutit à une température maximale de gaine égale à $\square^{\circ}\text{C}$. Ce résultat est obtenu avec le facteur de point chaud FQ de l'assemblage pénalisant vis-à-vis du critère en température de gaine, translaté de telle sorte qu'à l'instant initial la puissance linéique soit égale à la limite de fonctionnement (soit 450 W/cm). L'évolution de la température de gaine est représentée sur la figure [FIG-15.2.3i.4](#).

Par conséquent, les critères techniques d'acceptation « nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition < 10% » et « température maximale de la gaine < 1482°C » sont respectés.

3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport à l'incident de réduction forcée du débit primaire :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.](#) sont donc vérifiés.

3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport à l'incident de réduction forcée du débit primaire :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme

Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1. sont donc vérifiés.

Les actions de conduite décrites ci-dessous prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE. La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG.

Les actions de conduite sont les suivantes :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », le Diagnostic Primaire Fermé, après vérification de la non dégradation des fonctions d'état, oriente l'opérateur vers la procédure « Stabilisation en Conduite Incidentelle » pour le cas sans cumul du MDTE. Pour le cas avec cumul du MDTE, après application de la fiche EFS « perte 10 kV », l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en Conduite Incidentelle » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et « N PZR < \square % » sont négatives.

Pour le cas sans MDTE, après la phase de stabilisation, l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication CI » sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$, vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN$ ou $N PZR > \square\%$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure Borication CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'injecter le volume RBS requis. L'opérateur est ensuite orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères délai d'amorçage écoulé ou somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN$ ou $N PZR > \square\%$, vers la procédure « Stabilisation CI » sur les critères $CB > CB_{requis}$ ou $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$.

requis, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable .

Dans la procédure PER en CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50° C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et la $CB > CB_{requis}$ ou si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et le $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$ ou si 2 trains RBS sont en service, ou à 25° C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service.

Le RCP est dépressurisé. Sous les bars relatifs, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas où un GV devient inutilisable avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, l'opérateur est réorienté vers la procédure PAF sans IS.

Dans la procédure PAF sans IS, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50° C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la $CB > CB_{requis}$ ou si le $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$, ou à 25° C/h si 1 train RBS est en service et le $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est dépressurisé. Sous les bars relatifs, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3I

PAGE 12/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Méthode  de calcul des transitoires de perte de débit primaire. Note Framatome – NFPSC DC 378 F

TAB-15.2.3I.1 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES) – PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.3I
			CHAPITRE	15	PAGE	14/19

□

TAB-15.2.31.2 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES) DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS

Instant (s)	Évènement
0,00	Initiateur de l'incident : début de la baisse de fréquence d'alimentation du réseau électrique à 4 Hz par seconde Réduction forcée du débit primaire, perte de l'alimentation en eau des GV, extinction des chaufferettes du pressuriseur
1,40	Le seuil d'AAR par « Basse vitesse GMPP » est atteint
□	Déclenchement turbine
□	Début de la chute des grappes
2,50	Instant de RFTCmin = instant où le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est maximal □ □
2,80	Instant d'atteinte de la pression seuil □ qui déclencherait l'aspersion normale du pressuriseur (non prise en compte car pas d'impact sur les critères techniques d'acceptation)
4,50	Instant d'atteinte de la pression maximale au pressuriseur □
4,95	Instant d'atteinte de la température maximale de gaine

**FIG-15.2.3I.1 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4
POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME DÉBIT BOUCLE ET VITESSE POMPE
PRIMAIRE**

□

□

**FIG-15.2.3I.2 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4
POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR ET TEMPÉRATURES
PRIMAIRES**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.31

PAGE 18/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.31.3 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4
POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME POSITION DES GROUPES ET PRESSION
PRESSURISEUR**

□

□

**FIG-15.2.3I.4 RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4
POMPES) DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –
ÉTUDE COURT TERME TEMPÉRATURE DE GAINÉ**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3K

PAGE 1/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.15.2.3K DÉFAILLANCE DES CIRCUITS DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS LIQUIDES OU GAZEUX	2
---	----------



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3K

PAGE 2/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

.15.2.3K DÉFAILLANCE DES CIRCUITS DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS LIQUIDES OU GAZEUX

Ce transitoire n'est représentatif que pour les aspects conséquences radiologiques. Les calculs correspondants sont présentés dans le sous-chapitre 15.3 Conséquences radiologiques (voir paragraphes 3.10 et 3.13).



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3M

PAGE 1/5

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.15.2.3M RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTAT B, C OU D)	3
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	3
2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	3
3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	4
4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	4



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3M

PAGE 2/5

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIGURES :

FIG-15.2.3M.1 SCHÉMA DES 89 GRAPPES DE CONTRÔLE ET D'ARRÊT..... 5

.15.2.3M RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTAT B, C OU D)

Le retrait incontrôlé de groupes est un transitoire faisant partie des conditions de catégorie 3 (PCC-3) s'il survient dans l'état B, C ou D du réacteur, mais il fait partie des conditions de catégorie 2 (PCC-2) s'il survient dans l'état A du réacteur (voir section 15.2.2m). L'analyse présentée dans ce document est relative aux états B, C et D.

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

Un retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle (RIGZ) conduit à un apport incontrôlé de réactivité dans le cœur du réacteur qui peut provoquer une excursion de puissance.

Un tel transitoire pourrait apparaître à la suite :

- D'une défaillance électrique : mauvais fonctionnement des systèmes de régulation ou de la commande des grappes au moment où il est procédé à la montée des groupes en séquence pour obtenir la criticité ;
- D'une défaillance humaine : l'opérateur ne respecte pas les procédures de démarrage et ne tient pas compte des diverses alarmes, ni des indications des détecteurs.

2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

L'analyse explicite de l'accident de RIGZ dans les états B et C n'est pas nécessaire étant donné l'existence du permissif P9 implanté dans le système de protection.

Le principe de ce permissif consiste à couper automatiquement l'alimentation électrique des mécanismes de commande des 89 grappes de contrôle et d'arrêt via les interrupteurs et contacteurs d'AAR, lorsque la pression en branche chaude ou la température en branche chaude deviennent inférieures à des seuils représentatifs de la limite entre l'état A et l'état B. Inversement, la remise en route de l'alimentation électrique des mécanismes de commande des grappes est autorisée lorsque la pression en branche chaude et la température en branche chaude deviennent supérieures à ces mêmes seuils.

□

En états B et C, il est donc impossible d'actionner les grappes, et donc d'initier un accident de RIGZ, à partir du moment où les mécanismes de commande ne sont pas alimentés électriquement.

Il faut noter cependant qu'afin de permettre d'actionner de façon exceptionnelle les grappes dans les états B et C pour des cas particuliers, le permissif P9 rend possible la remise en route de l'alimentation électrique des mécanismes de commande des grappes lorsque la concentration en bore du circuit primaire est supérieure à un seuil donné, et ce même lorsque la pression en branche chaude ou la température en branche chaude sont inférieures aux seuils associés au permissif P9.

Le seuil de concentration en bore est défini de façon conservative comme la valeur de la concentration en bore permettant de garantir un non retour en criticité en cas de retrait simultané du groupe de contrôle et des groupes d'arrêt survenant en état B ou C. La localisation des grappes dans le cœur en fonction de leur groupe d'appartenance est décrite en figure [FIG-15.2.3m.1](#). Ceci permet de garantir qu'un RIGZ survenant en état B ou C ne conduit pas à un risque de passage du cœur à l'état critique.

Lorsque la concentration en bore est inférieure au seuil ainsi défini, des analyses probabilistes de sûreté montrent que la prise en compte du permissif P9 dans le calcul de la probabilité d'occurrence du scénario RIGZ en état B ou C conduit à une valeur □ qui permet de ramener la probabilité d'occurrence du scénario sous la fréquence d'étude des scénarios PCC ($<10^{-6}/(\text{an.réacteur})$), et ainsi de l'exclure de l'analyse déterministe de sûreté.

L'analyse explicite de l'accident de RIGZ dans l'état D n'est pas nécessaire non plus dans la mesure où la concentration en bore pour rechargement est telle qu'il n'y a pas de risque de retour en criticité lorsque l'on retire simultanément tous les groupes de contrôle et d'arrêt (voir sous-chapitre 4.5). Ceci permet de garantir qu'un RIGZ survenant en état D ne conduit pas à un risque de passage du cœur à l'état critique.

3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

Les critères d'acceptabilité à vérifier pour la phase moyen terme sont la sous-criticité du cœur, l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation des rejets radioactifs.

L'accident ne peut survenir que si les mécanismes de commande des grappes sont alimentés électriquement. Dans ce cas, la concentration en bore est telle que le cœur reste sous-critique au cours du retrait des groupes. La puissance évacuée est alors inchangée par rapport à l'état initial et correspond à la puissance résiduelle. Aucun rejet radioactif n'est produit.

L'état contrôlé n'est jamais quitté au cours de l'accident.

4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

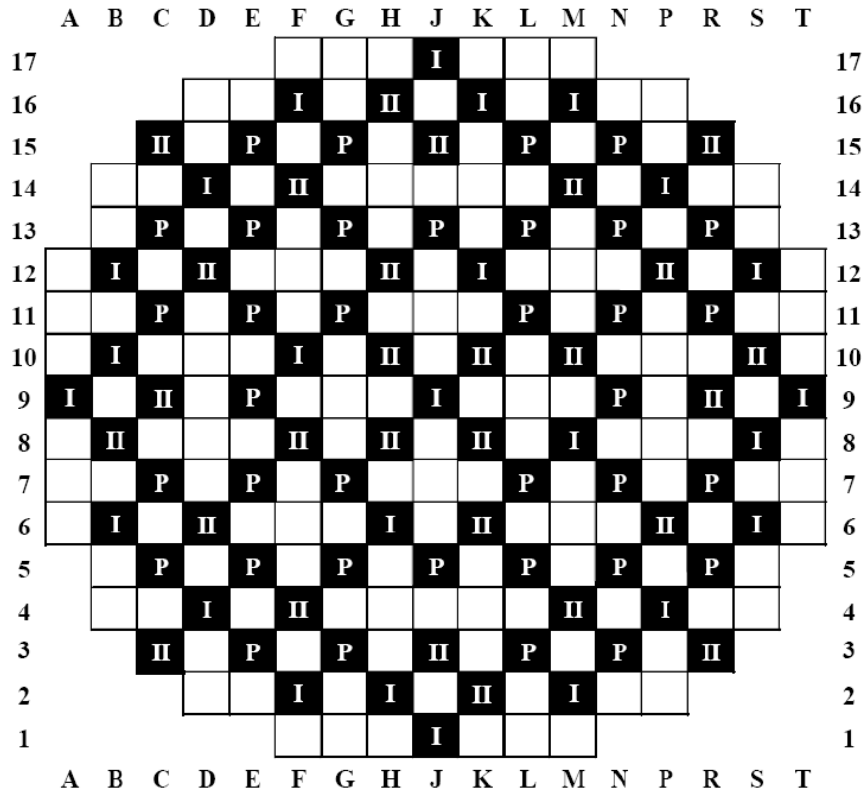
Les critères d'acceptabilité à vérifier pour la phase long terme sont la sous-criticité du cœur, l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation des rejets radioactifs.

L'accident ne peut survenir que si les mécanismes de commande des grappes sont alimentés électriquement. Dans ce cas, la concentration en bore est telle que le cœur reste sous-critique au cours du retrait des groupes. La puissance évacuée est alors inchangée par rapport à l'état initial et correspond à la puissance résiduelle. Aucun rejet radioactif n'est produit.

Lors du retrait des groupes, l'AAR n'est pas sollicité. L'alimentation en eau des GV au secondaire est donc assurée par l'ARE. Dans ce cas, l'évacuation de la puissance résiduelle est durable ; l'état contrôlé est donc également l'état sûr qui n'est jamais quitté au cours de l'accident.

Aucune conduite incidentelle ou accidentelle n'est à effectuer.

FIG-15.2.3M.1 SCHÉMA DES 89 GRAPPES DE CONTRÔLE ET D'ARRÊT



(Grappes de contrôle : P, Grappes d'arrêt : N(I) et N(II))

SOMMAIRE

.15.2.3P RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE	4
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT	4
2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	5
2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	6
2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	8
2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR : ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	8
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	9
3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	9
3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	9
3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	10
4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	12
4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'INCIDENT	12
4.2. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION	12
4.3. MOYENS DE PROTECTION	13
4.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	13
4.5. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	14
4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR : ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	15

TABLEAUX :

TAB-15.2.3P.1 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES	17
TAB-15.2.3P.2 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ ÉTUDE COURT TERME – PÉNALITÉS ET VALEURS RETENUES POUR LA RÉACTIVITÉ INSERÉE PAR LE RETRAIT DE LA GRAPPE ET LES PUISSANCES PAR QUADRANT.....	20
TAB-15.2.3P.3 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE – SANS CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLE – ÉTUDE COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS	21
TAB-15.2.3P.4 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLE ÉTUDE COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS	22

FIGURES :

FIG-15.2.3P.1 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE – SANS CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR	23
FIG-15.2.3P.2 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE – SANS CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES	24
FIG-15.2.3P.3 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE – SANS CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PRESSION PRESSURISEUR	25
FIG-15.2.3P.4 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE – AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR	26
FIG-15.2.3P.5 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE – AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT	



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3P

PAGE 3/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME TEMPÉRATURES MOYENNES
PRIMAIRES 27**


**FIG–15.2.3P.6 RETRAIT INCONTRÔLÉ D’UNE GRAPPE EN PUISSANCE –
AVEC CUMUL DU MDTE DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PRESSION
PRESSURISEUR 28**

.15.2.3P RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE

Cet événement est analysé seulement avec le réacteur en puissance (état A).

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'INCIDENT

Le retrait incontrôlé d'une seule grappe de commande en puissance peut uniquement survenir dans les deux cas suivants, qui sont toutefois très improbables :

- cas 1 :
L'opérateur peut avoir délibérément extrait une seule grappe de commande, le contrôle de la grappe étant transféré en mode , en pensant que les grappes ne sont pas correctement alignées ou qu'une grappe a chuté.
- cas 2 :
Si le réacteur fonctionne en mode de commande automatique, plusieurs défaillances mécaniques ou électriques simultanées peuvent occasionner le retrait incontrôlé d'une grappe.

Dans tous les cas, la vitesse de la grappe extraite est limitée .

Le retrait incontrôlé d'une grappe entraîne une augmentation du flux de chaleur dans le cœur. Le déséquilibre entre la chaleur extraite par les générateurs de vapeur et la puissance dégagée dans le primaire augmente. Il en résulte un accroissement de la température et de la pression du réfrigérant. La combinaison de conditions thermo-hydrauliques dégradées et d'une distribution de puissance perturbée peut conduire à endommager le combustible (crise d'ébullition ou fusion du combustible).

protection

Les différentes actions du système de protection du réacteur qui peuvent intervenir dans la protection du cœur sont les suivantes :

- AAR sur bas rapport de flux thermique critique (bas RFTC),
- AAR sur puissance linéique élevée,
- AAR sur puissance thermique élevée,
- AAR sur haute pression dans le pressuriseur.

critères d'étude

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés à la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet incident PCC-3 sont présentés ci-dessous.

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptible d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
- L'absence de fusion du combustible doit être démontrée. Ce critère est satisfait si la température dans la pastille au point chaud reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium (2810°C pour un combustible neuf, décroissant de 7,6°C tous les 10 000 MWJ/t).
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les incidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état contrôlé (arrêt à chaud), les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- l'AAR, déclenché à partir d'une des chaînes suivantes : « Bas RFTC », « Puissance linéique élevée », « Puissance thermique élevée » ou « Haute pression dans le pressuriseur »,
- 4 trains VDA pour l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation de la pression [] ,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV lorsque le niveau GV < [] % Gamme Large,
- 3 soupapes de sûreté du pressuriseur pour limiter la pression du RCP avec des seuils à [] bar abs (1^{ère} soupape pressuriseur), [] bar abs (2^{ème} soupape pressuriseur) et [] bar abs (3^{ème} soupape pressuriseur).

De l'événement initiateur à l'état contrôlé, l'incident peut être divisé en deux phases distinctes :

- la phase « court terme », caractérisée par des marges en RFTC et en puissance linéique réduites et un risque d'apparition de la crise d'ébullition ou de fusion du combustible, typiquement durant les 80 premières secondes de l'incident,
- la phase « moyen terme », au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur par le fluide primaire doit être assurée et pour laquelle le rejet d'activité dans l'atmosphère du fluide secondaire via les trains VDA doit être évalué jusqu'à obtention de l'état contrôlé.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, les fonctions F1B suivantes (au moins) sont disponibles :

- 4 trains VDA pour le refroidissement jusqu'à la connexion du RRA [] ,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV [] ,
- 2 trains RBS pour la borication [] .

Dans les phases à moyen et à long termes, la prise en compte de la maintenance préventive et d'un aggravant peut conduire à la perte d'un ou de deux systèmes décrits ci-dessus.

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Pour l'évolution de l'incident jusqu'à obtention de l'état contrôlé, les deux phases susmentionnées (court terme et moyen terme) sont étudiées séparément.

L'étude de la phase à court terme consiste à démontrer le respect des critères techniques d'acceptation susmentionnés, lors du retrait d'une grappe en puissance.

L'étude explicite des phases à moyen et à long termes (comportement global de l'installation) n'est pas nécessaire car ces phases sont couvertes par d'autres événements (appelés « cas de référence »).

choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté. Pour des raisons de simplifications spécifiques à cette étude, l'analyse de la phase court terme est réalisée de manière conservative en considérant deux aggravants simultanés. Aucune maintenance préventive pénalisant l'incident n'est identifiée.

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus anti-réactive) et □	Aucun impact
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	Cf. cas de référence (voir paragraphes § 3.2. et § 3.3.)	
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr		

Tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

1) **méthode d'analyse**

L'analyse de la phase court terme se base sur la démarche suivante :

- Une analyse neutronique est réalisée □ afin de déterminer les caractéristiques neutroniques (la valeur maximale de réactivité introduite ainsi que le déséquilibre de puissance maximal entre les quadrants □) au cours du retrait d'une grappe à partir de son insertion limite (voir sous-chapitre 15.1). Les caractéristiques neutroniques sont présentées en détail en alinéa 4 du [§ 2.1.](#)
- simulation du transitoire cinétique : □ Le fonctionnement d'ensemble de la chaudière est simulé en tenant compte de la dissymétrie thermo-hydraulique dans le cœur provoquée par le retrait de la grappe. Une matrice de mélange pénalisée est retenue de manière à favoriser le recyclage de la boucle affectée (boucle correspondant au quadrant de la grappe retirée) sur elle-même, avec des coefficients pénalisés tels que présentés dans l'étude de la RTV (voir section 15.2.4b).
- vérification des marges aux critères.

La représentativité de la réponse du système de protection en présence de perturbations radiales et axiales de la distribution de puissance lors du transitoire est évaluée dans le dimensionnement des seuils « site » des chaînes « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée » via les calculs de Tracking Error (voir sous-chapitre 4.4). En particulier, les variations des facteurs de point chaud (FQ et FΔH) consécutifs au retrait de la grappe sont prises en compte dans les calculs de Tracking Error, et il n'est donc pas nécessaire de les considérer dans la présente étude.

L'évolution du RFTC physique au cours du transitoire est calculée [1]. En parallèle, un algorithme global fournit l'évolution du RFTC en ligne tel que calculé par le système de protection (voir sous-chapitre 4.4) : une description de l'algorithme de calcul du RFTC en ligne est fournie dans la figure 15.2.2m FIG 1. Ces deux calculs sont effectués avec la même distribution axiale de puissance (maintenue constante tout au long du transitoire, voir alinéa 3 du § 2.1.) et le même RFTC initial.

L'évolution de la puissance linéique évaluée par le système de protection au cours du transitoire est calculée [1] avec une distribution axiale de puissance et un facteur de point chaud maintenus constants tout au long du transitoire.

L'évolution de la température du combustible au point chaud au cours du transitoire est calculée [1] à partir des données issues du transitoire [1].

2) données neutroniques et thermiques

Les contre-réactions minimales sont considérées afin de pénaliser le transitoire cinétique. Ainsi, les coefficients de densité modérateur, Doppler puissance et Doppler température sont pris à leurs valeurs minimales en valeur absolue (voir sous-chapitre 4.3).

Les hypothèses relatives aux caractéristiques neutroniques (taux d'insertion de réactivité et déséquilibre de puissance maximal entre les quadrants [1]) du retrait de la grappe sont quant à elles présentées en alinéa 4 du § 2.1..

Pour maximiser la puissance thermique au cours du transitoire, la valeur maximale du coefficient de transfert de chaleur du combustible vers le réfrigérant est retenue tout au long du transitoire.

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.3p.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

3) conditions initiales et limites

Les conditions initiales ont été sélectionnées de manière à être les plus pénalisantes vis-à-vis des risques de crise d'ébullition et de fusion du combustible. Les valeurs initiales de puissance, température moyenne du modérateur et pression primaire sont les valeurs extrêmes compatibles avec un fonctionnement en régime permanent :

[1]

La valeur de $F\Delta H$ est constante et est choisie de façon à ce que le RFTC initial soit égal à la valeur « étude » de la limite de fonctionnement en RFTC. La valeur étude de la limite de fonctionnement en RFTC correspond à la valeur étude du seuil DNB_{LCO} [1].

- Le recalage du RFTC initial calculé par l'algorithme [1] est assuré par une valeur de $F\Delta H$ [1].
- Le recalage du RFTC initial physique [1] est assuré par une valeur de $F\Delta H$ [1].

[1]

Le facteur de point chaud FQ est constant [1]. Il est choisi de façon à ce que l'arrêt automatique du réacteur soit déclenché simultanément par les chaînes de protection « Puissance linéique élevée » et « Bas RFTC ». Cette valeur de FQ conduit à une puissance linéique initiale pénalisante supérieure à la valeur « étude » de la limite de fonctionnement en puissance linéique (seuil $HLPD_{LCO}$) [1].

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.3p.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

4) taux d'insertion de réactivité et déséquilibre de puissance maximal entre les quadrants [1]

Le poids de la grappe est évalué pour toute extraction d'une grappe, à la vitesse maximale [1], depuis son insertion limite jusqu'à son extraction complète, et ce pour tous les cycles de la première gestion et à différents épuisements (DVX, MDV, FDV), à partir des calculs effectués pour la détermination de la Tracking Error (voir sous-chapitre 4.4) : ces derniers permettent de définir une valeur enveloppe du poids de la grappe retirée. Des facteurs d'incertitude, pénalité et provision sont appliqués sur la valeur obtenue (voir [TAB-15.2.3p.2](#)).

Le retrait de la grappe occasionne un déséquilibre de puissance dans le cœur entre le quadrant le plus chaud [1], et le 3^{ème} quadrant le plus chaud [1]. Ce déséquilibre de puissance est déterminé dans les mêmes conditions que celles étudiées pour définir le poids maximal de la grappe retirée, en considérant le retrait de chacune des grappes. Des pénalités et provision sont ensuite appliquées sur la valeur obtenue.

Les insertions limites (IL) correspondant au jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B) ont été conservées dans la présente étude. Cette hypothèse est conservative, puisque les IL correspondant à l'état final de conception (voir sous-chapitre 15.1) ont été relevées par rapport à

celles du jeu d'hypothèses intermédiaire : les situations correspondant à l'état final de conception sont donc couvertes par les situations correspondant au jeu d'hypothèses intermédiaire.

5) hypothèses relatives aux systèmessystème de protection

□

Le temps de chute des grappes considéré ne prend pas en compte le séisme. □.

L'efficacité intégrale de l'arrêt automatique du réacteur prend en compte le blocage au dessus du cœur de la grappe la plus anti-réactive. L'insertion d'antiréactivité suite à l'arrêt automatique du réacteur est de ce fait minimisée. Par ailleurs, la courbe d'insertion de réactivité en fonction du temps de chute totale la plus conservatrice est utilisée. Par cohérence avec le temps de chute des grappes, cette courbe ne prend pas en compte le séisme (voir sous-chapitre 15.1).

systèmes de régulation

Pour être conservatif vis-à-vis des risques de crise d'ébullition, de fusion du combustible et de température maximale de la gaine :

- Le système de contrôle de la température primaire est en mode □. En effet en mode automatique, l'augmentation de température provoquée par le retrait de la grappe conduirait à une insertion des groupes de régulation et au rétablissement rapide des marges vis-à-vis des critères techniques d'acceptation.
- Le système de contrôle de la pression primaire est par hypothèse opérationnel et le débit d'aspersion du pressuriseur est pris à sa valeur maximale pour limiter l'accroissement de pression dans le circuit primaire au cours de l'incident.

6) vérification du critère en fusion

La température de pastille est calculée à partir des données suivantes :

- Les conditions thermo-hydrauliques (température, pression, débit massique et densité) ainsi que la puissance nucléaire □.
- Le facteur de point chaud FQ est constant □.
- L'entrée en crise d'ébullition est supposée intervenir au moment où le RFTC physique devient inférieur à 1,0.
- Le coefficient de transfert thermique dans le jeu pastille/gaine est, de façon conservatrice, maximal tout au long du transitoire pour pénaliser la température du combustible □.

7) vérification du critère en nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition et du critère en température de gaine

Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le cas le plus pénalisant entre l'analyse sans et avec cumul du MDTE est présenté. Vis-à-vis des critères de nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition et de température de gaine, la réduction de débit primaire engendrée par le cumul du MDTE est pénalisante, puisque la surchauffe du fluide primaire qu'elle provoque accentue le risque d'ébullition critique dans le cœur. En effet, cette surchauffe n'affecte pas la puissance cœur compte tenu de la prise en compte d'un coefficient modérateur nul.

La vérification des critères de nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition et de température de gaine est donc réalisée au [§ 4.4.](#)

2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

L'étude de l'événement initiateur à l'état contrôlé n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres événements (voir [§ 3.2.](#)).

2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR : ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

aspects crise d'ébullition, fusion du combustible et température maximale de gaine :

Dans le cas d'un incident ne conduisant pas à un AAR à court terme, il peut s'en suivre une déformation radiale de puissance provoquée par une oscillation radiale ou azimutale du xénon, elle-même induite par le retrait de la grappe.

Dans ce cas, les chaînes de protection par « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée » sont valorisées. En effet, la représentativité de la réponse du système de protection en présence de perturbations radiales et axiales de la distribution de puissance engendrée par l'oscillation xénon est évaluée dans le dimensionnement des seuils « site » des chaînes « Bas RFTC » et « Puissance linéique élevée » via les calculs de Tracking Error (voir sous-chapitre 4.4).

L'étude de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par la phase à court terme de l'incident.

aspects évacuation de la puissance résiduelle, rejet d'activité dans l'atmosphère et sous-criticité du cœur :

L'étude de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres événements (voir [§ 3.3.](#)).

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME

Concernant l'analyse neutronique, la valeur maximale de la réactivité insérée par le retrait de la grappe obtenue est de β pcm. Elle prend en compte les pénalités tilt, SCTR, FPPR et stretch enveloppes présentées dans le tableau [TAB-15.2.3p.2](#). Comme indiqué dans le tableau [TAB-15.2.3p.1](#), cette valeur est obtenue sur le cycle P1 en DVX par le retrait d'une des grappes du groupe P1. Ce tableau fournit également le déséquilibre de puissance maximal et les pénalités associées.

La séquence des évènements du transitoire pénalisant vis-à-vis du RFTC avec cumul du MDTE se trouve dans le tableau [TAB-15.2.3p.4](#). Les évolutions des principaux paramètres du transitoire sont représentées sur les figures [FIG-15.2.3p.1](#) à [FIG-15.2.3p.3](#).

La marge minimale vis-à-vis du critère de fusion est obtenue en considérant un épuisement du combustible β . La température maximale atteinte par le combustible au point chaud β reste inférieure à la température de fusion du combustible β .

Concernant le nombre de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition et la température de gaine, le respect des critères est démontré au [§ 4.](#)

Par conséquent, les critères techniques d'acceptation « nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition < 10% », « température maximale de la gaine < 1482°C » et « absence de fusion du combustible » sont respectés pour l'incident de retrait incontrôlé d'une grappe en puissance.

3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppés par rapport à l'incident de retrait incontrôlé d'une grappe en puissance avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1. sont donc vérifiés.

3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRR/SEC ou ISBP/RRR/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppés par rapport à l'incident de retrait incontrôlé d'une grappe en puissance :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.

Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme

Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1. sont donc vérifiés.

Les actions de conduite décrites ci-dessous prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE. La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG.

Les actions de conduite sont les suivantes :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », le Diagnostic Primaire Fermé, après vérification de la non dégradation des fonctions d'état, oriente l'opérateur vers la procédure « Stabilisation en Conduite Incidentelle » pour le cas sans cumul du MDTE. Pour le cas avec cumul du MDTE, après application de la fiche EFS « perte 10kV » l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en Conduite Incidentelle » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et sont négatives.

Pour le cas sans MDTE, après la phase de stabilisation, l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication CI » sur le critère $CB < CB \text{ requise}$ et $V_{RBS} < V_{RBS} \text{ requis}$, vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN \text{ ou } N \text{ PZR} > \text{ \%}$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable .

Dans la procédure Borication CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'injecter le volume RBS requis. L'opérateur est ensuite orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères délai d'amorçage écoulé ou somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< MIN \text{ ou } N \text{ PZR} > \text{ \%}$, vers la procédure « Stabilisation CI » sur le critère $CB > CB \text{ requise}$ ou $V_{RBS} > V_{RBS} \text{ requis}$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable .

Dans la procédure PER en CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB \text{ requise}$ et $V_{RBS} < V_{RBS} \text{ requis}$.

Le RCP est refroidi à 50° C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et la $CB > CB \text{ requise}$ ou si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et le $V_{RBS} > V_{RBS} \text{ requis}$ ou si 2 trains RBS sont en service, ou à 25 °C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service.

Le RCP est dépressurisé. Sous les bar, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas où un GV devient inutilisable avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, l'opérateur est réorienté vers la procédure PAF sans IS.

Dans la procédure PAF sans IS, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si $CB > CB_{requis}$ ou si $V_{RBS} > V_{RBS_{requis}}$, ou à 25°C/h si 1 train RBS est en service et le $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bar, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

4. CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Ce paragraphe présente l'impact du cumul du MDTE (Manque De Tension Externe) sur l'incident de retrait incontrôlé d'une grappe en puissance étudié précédemment dans le chapitre. Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué au plus pénalisant des trois instants suivants : à l'instant initial, à l'arrêt automatique du réacteur et au signal d'IS. Par ailleurs, seuls les équipements classés séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté, et un temps de chute des grappes allongé (avec séisme) est considéré pour l'arrêt automatique du réacteur.

4.1. IDENTIFICATION DES CAUSES DE L'INCIDENT

Elles sont identiques à celles décrites pour l'incident de retrait incontrôlé d'une grappe en puissance sans MDTE (voir § 1.).

4.2. CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation pour cet accident sont les suivants :

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section de crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10% de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :

- Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

4.3. MOYENS DE PROTECTION

En complément des actions du système de protection du réacteur décrites pour l'incident sans cumul du MDTE (voir [§ 1.](#)), les actions du système de protection du réacteur suivantes peuvent intervenir :

- « Bas débit boucle » dans 2 boucles sur 4,
- « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4.

Les caractéristiques de ces chaînes de protection sont précisées dans le sous-chapitre 15.1.

4.4. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

1) choix de l'aggravant et impact de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

□

□

Aucune maintenance préventive pénalisant l'accident n'est identifiée.

2) méthode d'analyse et codes de calcul

La démarche d'analyse est analogue à celle de l'étude sans cumul du MDTE (voir [§ 2.1.](#)), à l'exception de la détermination des caractéristiques neutroniques des cas pénalisants qui sont reconduites de l'analyse de l'étude sans cumul du MDTE.

□ Le fonctionnement d'ensemble de la chaudière est simulé en tenant compte de la dissymétrie thermo-hydraulique dans le cœur provoquée par le retrait de la grappe. Une matrice de mélange pénalisée est retenue de manière à favoriser le recyclage de la boucle affectée (boucle correspondant au quadrant de la grappe retirée) sur elle-même, avec des coefficients pénalisés tels que présentés dans l'étude de la RTV (voir section 15.2.4b).

□

La démonstration du respect des critères vis-à-vis de la fusion du combustible au point chaud et de la température maximale de gaine est réalisée par argumentaire (voir alinéa 4 du [§ 4.4.](#)).

3) hypothèses d'étude

Les caractéristiques neutroniques de la grappe retirée sont identiques à celles du transitoire étudié sans cumul du MDTE (voir [§ 2.1.](#)).

De même, les conditions initiales et limites, ainsi que les données neutroniques, sont identiques à celles retenues pour le transitoire étudié sans cumul du MDTE (voir [§ 2.1.](#)).

Le cumul du MDTE est postulé à l'instant le plus défavorable entre :

- l'instant initial,
- l'instant du dépassement du seuil d'AAR,
- l'instant du signal d'IS.

La prise en compte d'un cumul MDTE à l'instant initial induit l'activation du signal d'AAR par « Basse vitesse des GMPP » et la chute des grappes alors que l'insertion de réactivité due au retrait de la grappe a à peine débuté. Un cumul MDTE à l'instant du signal IS, donc postérieur à la chute des grappes, n'a pas d'impact sur la valeur du RFTC minimal.

Le MDTE doit alors être postulé à l’instant d’AAR. De manière pénalisante, il est considéré au moment de franchissement du seuil d’AAR et conduit :

- au ralentissement des 4 pompes primaires,
- à la perte de l’alimentation normale des générateurs de vapeur : le débit ARE est supposé s’annuler instantanément.

Le temps de chute des grappes considéré pour l’arrêt automatique du réacteur prend en compte le séisme. □ L’efficacité intégrale de l’arrêt automatique du réacteur prend en compte le blocage au-dessus du cœur de la grappe la plus anti-réactive. L’insertion d’antiréactivité suite à l’arrêt automatique du réacteur est de ce fait minimisée. Par ailleurs, la courbe d’insertion de réactivité en fonction du temps de chute totale la plus conservatrice est utilisée. Par cohérence avec le temps de chute des grappes, cette courbe prend en compte le séisme (voir sous-chapitre 15.1). Le nombre de crayons susceptibles d’entrer en crise d’ébullition est calculé, autour de l’instant de RFTC minimal, à partir des conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) □. Par ailleurs, le calcul est réalisé avec la courbe de fuel census spécifique présentée dans le sous-chapitre 15.1, recalée par homothétie sur le facteur d’élévation d’enthalpie maximal FΔH choisi de façon à ce que le RFTC initial physique □ soit égal à la valeur du seuil DNB_{SAL} □

4) **résultats**

La séquence des événements de l’incident avec cumul du MDTE se trouve dans le tableau [TAB-15.2.3p.4](#). Les évolutions des principaux paramètres du transitoire sont représentées sur les figures [FIG-15.2.3p.4](#) à [FIG-15.2.3p.6](#).

□ Concernant le risque de fusion du combustible et de la température de gaine, l’accident est couvert par le RIGP avec cumul du MDTE. En effet, l’augmentation de la puissance nucléaire présente une cinétique comparable à celle résultant d’un transitoire de retrait incontrôlé de groupes en puissance □ (voir section 15.2.2m). L’analyse de ce transitoire avec cumul du MDTE montre que la chaîne de protection par « Puissance linéique élevée » assure une protection efficace du cœur vis-à-vis du risque de fusion du combustible et de la température de gaine □. Par conséquent, on peut conclure sans calcul spécifique que le cœur est efficacement protégé vis-à-vis du risque de fusion du combustible durant l’incident de retrait incontrôlé d’une grappe en puissance avec cumul du MDTE.

En conclusion, les critères techniques d’acceptation « nombre de crayons susceptibles d’entrer en crise d’ébullition < 10% », « température maximale de la gaine < 1482° C » et « fusion du combustible au point chaud < 10% en volume » sont respectés pour l’incident de retrait incontrôlé d’une grappe en puissance avec cumul du MDTE.

4.5. DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ : ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

Cette transition n’est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d’autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l’atteinte de l’état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d’activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport à l’incident de retrait incontrôlé d’une grappe en puissance avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l’état contrôlé est plus faible.

Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme avec cumul du MDTE

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 4.2.](#) sont donc vérifiés.

4.6. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR : ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Nota : en cas de MDTE, il n'existe pas d'accident sans AAR à court terme pouvant donner lieu à une oscillation radiale ou azimutale du xénon dès lors que l'AAR par « Basse vitesse GMPP » dans 2 boucles sur 4 est systématiquement sollicité.

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport à l'incident de retrait incontrôlé d'une grappe en puissance avec cumul du MDTE :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.

Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

tableau : respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RR/SEC ou ISBP/RR/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme avec cumul du MDTE

Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 4.2.](#) sont donc vérifiés.

Les actions de conduite permettant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont présentées en [§ 3.3.](#)

TAB-15.2.3P.1 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES

□



□



□

**TAB-15.2.3P.2 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN
PUISSANCE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ ÉTUDE COURT TERME – PÉNALITÉS ET
VALEURS RETENUES POUR LA RÉACTIVITÉ INSÉRÉE
PAR LE RETRAIT DE LA GRAPPE ET LES PUISSANCES
PAR QUADRANT**

□

TAB-15.2.3P.3 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN PUISSANCE – SANS CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLE – ÉTUDE COURT TERME – SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

Instant (s)	Événement
0,0	Initiateur de l'incident : début du retrait de la grappe □
75,55	Le seuil d'AAR par « Bas RFTC » est atteint par le RFTC calculé par l'algorithme (valeur après filtre passe bas et module d'avance retard)
76,0	Le seuil d'AAR par « Puissance linéique élevée » est atteint par la puissance linéique mesurée par les collectrons (valeur après filtre passe-bas et module d'avance-retard)
□	Signal d'AAR par « Bas RFTC » et par « Puissance linéique élevée »
□	Début de la chute des grappes
77,2	Maximum de puissance linéique □
79,29	Instant d'atteinte de la température du combustible maximale □

**TAB-15.2.3P.4 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLE ÉTUDE COURT TERME –
SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS**

Instant (s)	Événement
0,0	Initiateur de l'incident : début du retrait de la grappe □
75,55	Le seuil d'AAR par « Bas RFTC » est atteint par le RFTC calculé par l'algorithme (valeur après filtre passe bas et module d'avance retard) Cumul du MDTE : arrêt des 4 GMPP et perte de l'ARE.
□	Début de la chute des grappes
79,75	Maximum de nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition □ □ □

**FIG-15.2.3P.1 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN
PUISSANCE – SANS CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
PUISSANCE CŒUR**

□

**FIG-15.2.3P.2 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN
PUISSANCE – SANS CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.3P.3 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN
PUISSANCE – SANS CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
PRESSION PRESSURISEUR**

□

**FIG-15.2.3P.4 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN
PUISSANCE – AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
PUISSANCE CŒUR**

□

**FIG-15.2.3P.5 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN
PUISSANCE – AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
TEMPÉRATURES MOYENNES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.3P.6 RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE EN
PUISSANCE – AVEC CUMUL DU MDTE DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
PRESSION PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3Q

PAGE 1/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

**.15.2.3Q RUPTURE D'UNE LIGNE VEHICULANT DU FLUIDE PRIMAIRE A
L'EXTERIEUR DE L'ENCEINTE, PAR EXEMPLE LIGNE
D'ECHANTILLONNAGE NUCLEAIRE 2**



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3Q

PAGE 2/2

.15.2.3Q RUPTURE D'UNE LIGNE VEHICULANT DU FLUIDE PRIMAIRE A L'EXTERIEUR DE L'ENCEINTE, PAR EXEMPLE LIGNE D'ECHANTILLONNAGE NUCLEAIRE

Ce transitoire n'est représentatif que pour les aspects conséquences radiologiques. Les calculs correspondants sont présentés dans le sous-chapitre 15.3 « Conséquences radiologiques » (voir paragraphe 3.13 du sous-chapitre 15.3).

SOMMAIRE

.15.2.3R PCC-3 — PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES

(SUPÉRIEUR À 2 HEURES), ASPECT REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE

BK (ETAT A)	3
1. INTRODUCTION	3
2. PRINCIPES D'ÉTUDE	3
3. CRITÈRES D'ÉTUDE	3
4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	3
5. DÉLAI DE GRÂCE	3
6. TRANSITOIRES	4
7. CONCLUSION	4
8. INFLUENCE DES ÉVÉNEMENTS CŒUR SUR LE PTR	4



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3R

PAGE 2/5

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

**TAB-15.2.3R.1 PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES EXTERNES,
ASPECT REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION
(ÉTAT A) HYPOTHESES PRINCIPALES ET RESULTATS (□
MWTH)..... 5**

.15.2.3R PCC-3 — PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES (SUPÉRIEUR À 2 HEURES), ASPECT REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE BK (ETAT A)

1. INTRODUCTION

La perte des alimentations électriques externes entraîne la perte de l'alimentation électrique de tous les auxiliaires de la tranche. Ceci signifie que toutes les fonctions de refroidissement de la piscine combustible, les pompes des trains principaux PTR et les systèmes supports sont arrêtés. Dans une telle situation, les quatre diesels de secours démarrent et fournissent l'alimentation électrique aux consommateurs secourus.

Le schéma mécanique fonctionnel de principe du système PTR est présenté dans le paragraphe 5 de la section 9.1.3, l'alimentation électrique des pompes PTR et la méthodologie d'analyse appliquée sont présentées dans la section 15.2.2x .

Dans cette étude, l'événement PCC-3 « Perte des alimentations électriques externes (> 2 heures) (état A) » est analysé du point de vue des conséquences sur le refroidissement de la piscine combustible, mais le cas couvre également l'événement PCC-4 « Perte des alimentations électriques externes (> 2 heures) (état C) » et l'événement PCC-2 « Perte totale d'alimentation électrique externe de courte durée (< 2 heures) (états A, C, D et E) ».

En fait, pour le refroidissement de la piscine combustible, le délai de grâce avant d'atteindre une température de l'eau de 80°C est dans tous les cas supérieur à 2 heures (voir le § 5. ci-dessous), et de ce fait aucune contre-mesure n'est nécessaire en cas de PCC-2, □.

2. PRINCIPES D'ÉTUDE

Ceux-ci sont explicités au paragraphe 1 de la section 9.1.3.

3. CRITÈRES D'ÉTUDE

Pour les transitoires de perte de refroidissement, il s'agit de ne pas dépasser une température moyenne de l'eau de 80°C dans la piscine de désactivation.

Le respect de ce critère permet ainsi de respecter le critère de non-découvrement des assemblages combustibles.

Le maintien de la sous-criticité est assuré par conception par le râtelier de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages combustibles.

4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE

□

5. DÉLAI DE GRÂCE

Afin de souligner l'inertie des transitoires liés à la piscine combustible, les temps disponibles, avant d'atteindre une température de 80°C dans la piscine de désactivation et d'atteindre l'ébullition, sont calculés pour les situations étudiées.

FDC : la température moyenne de l'eau dans la piscine combustible atteindra 80°C □ heures après la perte totale des fonctions de refroidissement et l'ébullition de la piscine combustible commencera après □ heures.

DDC : la température moyenne de l'eau dans la piscine combustible atteindra 80°C [] heures après la perte totale des fonctions de refroidissement et l'ébullition de la piscine combustible commencera après [] heures.

6. TRANSITOIRES

[]

7. CONCLUSION

La température moyenne de l'eau de la piscine combustible reste inférieure à 80°C tout au long du transitoire : les critères d'étude sont donc respectés.

Le tableau [TAB-15.2.3r.1](#) synthétise les hypothèses et résultats de cette étude.

8. INFLUENCE DES ÉVÉNEMENTS CŒUR SUR LE PTR

En complément des études relatives à la piscine de désactivation, il est vérifié qu'un événement PCC-3 ou PCC-4 affectant le cœur ne conduit pas à un effet important sur la température de l'eau de la piscine de désactivation.

Pour cela, la température de la piscine est calculée en régime permanent en considérant :

- le bon fonctionnement des trains de refroidissement du PTR,
- les différentes configurations du PTR : début de cycle, fin de cycle et fin de rechargement, avec un, puis deux trains principaux en service,
- une puissance résiduelle enveloppe ([]) avec marge,
- un volume d'eau dans la piscine PTR de [] m³,
- une température RRI de []°C. Cette température étant la température de découplage retenue, représentative de la température maximale pouvant être atteinte dans le RRI en situation PCC-3 ou PCC-4 affectant le cœur.

La température moyenne maximale calculée est de []°C, obtenue pour une situation [], avec une puissance résiduelle de [] MW (puissance résiduelle avec marges) et un seul train principal en service.

Ce résultat démontre l'absence d'influence significative des événements cœur PCC-3 et PCC-4 sur le système PTR et sur la piscine de désactivation.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3R

PAGE 5/5

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3R.1 PERTE DES ALIMENTATIONS
ELECTRIQUES EXTERNES, ASPECT REFROIDISSEMENT
DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION (ÉTAT A)
HYPOTHESES PRINCIPALES ET RESULTATS (□ MWTH)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3S

PAGE 1/4

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.15.2.3S PCC-3 — PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT DU PTR OU D'UN SYSTÈME SUPPORT DU PTR (ÉTAT F)	3
1. INTRODUCTION	3
2. PRINCIPES D'ÉTUDE	3
3. CRITERES D'ÉTUDE	3
4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	3
5. DÉLAI DE GRÂCE	3
6. TRANSITOIRE	3
7. CONCLUSION	3



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3S

PAGE 2/4

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

**TAB-15.2.3S.1 PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT DU PTR OU D'UN
SYSTEME SUPPORT DU PTR (ÉTAT F) HYPOTHÈSES PRINCIPALES
ET RÉSULTATS (□ MWTH)..... 4**

.15.2.3S PCC-3 — PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT DU PTR OU D'UN SYSTÈME SUPPORT DU PTR (ÉTAT F)

1. INTRODUCTION

La perte d'un train de refroidissement du système PTR est étudiée en état F, c'est-à-dire lorsque le réacteur est totalement déchargé. Dans cette situation, le cœur est déchargé de la cuve de réacteur et placé dans la piscine combustible. Deux trains principaux assurent le refroidissement dans cette phase de fonctionnement.

Le schéma mécanique fonctionnel de principe du système PTR est présenté au paragraphe 5 de la section 9.1.3, l'alimentation électrique des pompes PTR et la méthodologie d'analyse appliquée sont présentées dans la section 15.2.2x..

2. PRINCIPES D'ÉTUDE

Ceux-ci sont explicités au paragraphe 1 de la section 15.2.2x.

3. CRITERES D'ÉTUDE

Pour les transitoires de perte de refroidissement, il s'agit de ne pas dépasser une température moyenne de l'eau de 80°C dans la piscine de désactivation.

Le respect de ce critère permet ainsi de respecter le critère de non-découvrement des assemblages combustibles.

Le maintien de la sous-criticité est assuré par conception par le râtelier de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages combustibles.

4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE

□

5. DÉLAI DE GRÂCE

Le délai de grâce sans refroidissement sera de □ heures avant d'atteindre 80°C et de □ heures avant d'atteindre l'ébullition de la piscine combustible.

6. TRANSITOIRE

Pour les initiateurs de perte de refroidissement de la piscine, compte-tenu des délais de grâce importants avant un éventuel découvrement d'un assemblage, il est considéré que l'état contrôlé est atteint dès l'instant initial. Les parades identifiées ci-après permettent donc de rejoindre l'état sûr.

□

7. CONCLUSION

La température moyenne de l'eau de la piscine combustible reste inférieure à 80°C tout au long du transitoire : les critères d'étude sont donc respectés.

Le tableau [TAB-15.2.3s.1](#) synthétise les hypothèses et résultats de cette étude.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3S

PAGE 4/4

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.3S.1 PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT
DU PTR OU D'UN SYSTEME SUPPORT DU PTR (ÉTAT F)
HYPOTHÈSES PRINCIPALES ET RÉSULTATS (□ MWTH)**

□

SOMMAIRE

.15.2.3T PCC-3 — RUPTURE DE TUYAUTERIE ISOLABLE SUR UN CIRCUIT CONNECTÉ À LA PISCINE DE DÉSACTIVATION (ETATS A À F)	4
1. BRECHE SUR UNE TUYAUTERIE CONNECTEE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ÉTATS A À D ET F)	4
1.1. DÉFINITION DE L'INCIDENT	4
1.2. PRINCIPES D'ÉTUDE	4
1.3. CRITÈRES D'ÉTUDES	4
1.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	5
1.4.1. ETAT INITIAL	5
1.4.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT	5
1.5. DÉLAI DE GRÂCE	5
1.6. ANALYSE – ÉTATS A À D ET F	6
1.6.1. BRÈCHE SUR UNE TUYAUTERIE DU CIRCUIT DE PURIFICATION DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE	6
1.6.2. BRÈCHE SUR UNE TUYAUTERIE DU CIRCUIT D'ÉCRÉMAGE DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE	6
1.6.3. BRÈCHE SUR UNE TUYAUTERIE DU CIRCUIT D'APPOINT D'EAU DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE	6
1.6.4. RUPTURE DE TUYAUTERIE SUR UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR	6
1.7. CONCLUSION – ÉTATS A À D ET F	9
2. ETAT E	9
2.1. DÉFINITION DE L'INCIDENT	9
2.2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	10
2.2.1. DESCRIPTION DE L'INCIDENT	10
2.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	11
2.3. MOYENS DE PROTECTIONS	11
2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	12
2.4.1. ETAT INITIAL	12

2.4.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT	12
2.4.3. CHOIX DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	12
2.4.4. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	12
2.5. ANALYSE – ÉTAT E	14
2.5.1. CAS « BRÈCHE SUR UN TRAIN PTR (ÉTATS E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE ET CHARGEMENT- DÉCHARGEMENT) »	14
2.5.2. CAS « BRÈCHES SUR LES AUTRES CIRCUITS CONNECTÉS À LA PISCINE DE DÉSACTIVATION (ÉTATS E CHARGEMENT- DÉCHARGEMENT ET HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE COMMANDE GROUPEE ACTIVÉE) »	16
2.6. CONCLUSION – ÉTAT E	19
A- -15.2.3T.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS	23

TABLEAUX :

TAB-15.2.3T.1 RUPTURE DE TUYAUTERIE ISOLABLE SUR UN CIRCUIT CONNECTE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ETATS A À D ET F) HYPOTHESES PRINCIPALES ET RESULTATS []	20
TAB-15.2.3T.2 CAS TUBE DE TRANSFERT MAINTENU OUVERT [] (APPOINT BR PAR DEUX ISMP)	21

FIGURES :

FIG-15.2.3T.1 ETAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES BR ET BK.....	22
--	-----------

.15.2.3T PCC-3 — RUPTURE DE TUYAUTERIE ISOLABLE SUR UN CIRCUIT CONNECTÉ À LA PISCINE DE DÉSACTIVATION (ETATS A À F)

1. BRECHE SUR UNE TUYAUTERIE CONNECTEE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ÉTATS A À D ET F)

1.1. DÉFINITION DE L'INCIDENT

Une rupture de tuyauterie est considérée sur l'un des systèmes suivants, connectés à la piscine de désactivation, en fonction des différentes configurations de fonctionnement :

- dans tous les états pour les tuyauteries connectées à la piscine de désactivation (pour le circuit de purification ou d'écémage, pour le circuit d'appoint, pour un train principal PTR),
- en état E (tube de transfert ouvert) pour les tuyauteries connectées à la piscine du bâtiment réacteur (pour le circuit de purification ou d'écémage),
- en état A uniquement pour le 3^{ème} train PTR.

En cas de vidange, la séquence des événements est la suivante : isolement de la fuite ou brèche, réalisation d'un appoint si nécessaire et redémarrage du refroidissement.

Les fuites non isolables de circuits connectés à la piscine de désactivation sont étudiées en tant que condition de fonctionnement RRC-A (voir sous-chapitre 19.1.0 et section 19.1.3Fsq).

1.2. PRINCIPES D'ÉTUDE

L'analyse de tous les accidents PCC relatifs à la vidange de la piscine de désactivation est faite selon la méthodologie présentée ci-dessous.

Différentes valeurs de débit de vidange sont étudiées pour déterminer celle qui maximise la durée de perte de refroidissement avec un niveau initial de la piscine de désactivation pris égal à son niveau nominal [1].

L'élévation de la température moyenne de la piscine de désactivation suite à la perte de refroidissement est évaluée en considérant l'échauffement du volume d'eau de la piscine de désactivation par la puissance résiduelle des éléments combustibles usés. Par conservatisme, le volume considéré pour le calcul de la période de grâce correspond [2].

Une fois le refroidissement de la piscine rétabli, la température moyenne est calculée en régime permanent en considérant des valeurs de température de source froide pénalisées.

1.3. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les critères techniques d'acceptation à vérifier sont ceux définis dans la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- Maintien permanent de la sous-criticité ;
- Absence de dénoyage des assemblages de combustible ;
- Évacuation de la puissance résiduelle BK par le ou les trains PTR principaux ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- Non ébullition dans la piscine BK ;

- Maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau de la piscine de désactivation ($T_{\text{piscine}} \leq 80^{\circ}\text{C}$). Pour les situations PCC de vidange, le dépassement transitoire de la température au-delà de 80°C sans toutefois atteindre 100°C est admissible.

1.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

1.4.1. Etat initial

Comme tout autre événement PCC, le transitoire est analysé avec des hypothèses pénalisées.

En fonctionnement normal, un train principal PTR pour les états A à D et deux trains principaux PTR pour les états E et F (avec une pompe par train) sont utilisés pour refroidir la piscine de désactivation.

En état A, le démarrage préventif du 3^{ème} train lors des travaux de maintenance sur le système PTR ou un système support est pris en compte pour l'étude.

Les valeurs de puissance résiduelle retenues sont évaluées pour une gestion combustible enveloppe, une valeur de puissance thermique de $[\]$. Par conservatisme, l'échauffement des masses des structures n'est pas considéré.

Pour les brèches en état F, la charge thermique maximale dans la piscine combustible est atteinte juste après que le dernier élément combustible a été déchargé du réacteur et correspond à une puissance résiduelle de $[\]$.

Pour les brèches en états A à D, la charge thermique dans la piscine de désactivation est prise en état A en début de cycle (DDC) et correspond à une puissance résiduelle $[\]$.

La piscine de désactivation et les tuyauteries du PTR sont considérées dans la modélisation comme adiabatiques.

Une température initiale enveloppe de la piscine de désactivation $[\]$ est retenue pour couvrir toutes les situations de fonctionnement.

Une température pénalisante du RRI, représentative des situations PCC-3 BK, $[\]$ est retenue.

Le niveau initial de la piscine de désactivation est pris égal à son niveau nominal $[\]$.

Pour les transitoires de vidange accidentelle, la cinétique de montée en température suite à la perte de refroidissement est évaluée avec un inventaire en eau dégradé dans la piscine de désactivation :

- $[\]$ en cas de brèche sur un train principal PTR, correspondant à un niveau piscine $[\]$ après arrêt de la vidange par les casse-siphons.
- $[\]$ en cas de brèche sur le 3^{ème} train PTR, correspondant à un niveau piscine $[\]$ après arrêt de la vidange par débardage de la tuyauterie d'aspiration.

1.4.2. Choix de l'aggravant

Le plan de maintenance est pris en compte dans l'analyse. $[\]$ (conformément à la section 15.0.3, aucun aggravant n'est cumulé lors de la prise en compte d'un MDTE) ; $[\]$.

Le démarrage préventif du 3^{ème} train PTR lors des travaux de maintenance est pris en compte pour l'étude (en état A).

1.5. DÉLAI DE GRÂCE

$[\]$

1.6. ANALYSE – ÉTATS A À D ET F**1.6.1. BRÈCHE SUR UNE TUYAUTERIE DU CIRCUIT DE PURIFICATION DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE**

En cas de rupture d'une tuyauterie du circuit de purification dans le bâtiment combustible, les vannes motorisées à l'aspiration des lignes de vidange des compartiments transfert bâtiment combustible ou fosse de déchargement sont automatiquement fermées sur détection d'un bas niveau dans la piscine de désactivation [], assurant un double isolement.

La vidange par les lignes d'aspiration dans la piscine de désactivation et de refoulement dans chaque compartiment est arrêtée [] par les dispositifs casse-siphons équipant chaque tuyauterie plongeant en piscine.

L'état contrôlé est ainsi automatiquement atteint, sans perte de la réfrigération de la piscine (déclenchement des pompes des trains principaux à l'atteinte du niveau []) et sans nécessiter d'appoint en eau. En conséquence, l'état sûr correspond à l'état contrôlé.

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure à 80°C et aucun assemblage n'est découvert durant le transitoire : les critères d'études sont respectés.

1.6.2. BRÈCHE SUR UNE TUYAUTERIE DU CIRCUIT D'ÉCRÉMAGE DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE

Le dispositif fixe d'écémage de la piscine de désactivation est installé à une altimétrie supérieure au seuil de déclenchement des pompes PTR []. En cas de rupture d'une tuyauterie sur ce circuit, la vidange par siphonage ne peut pas conduire à une baisse de niveau d'eau entraînant un déclenchement des pompes de refroidissement.

L'état contrôlé est atteint, sans perte de la réfrigération de la piscine et sans nécessiter d'appoint. En conséquence, l'état sûr correspond à l'état contrôlé.

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure à 80°C et aucun assemblage n'est découvert durant le transitoire : les critères d'études sont respectés.

1.6.3. BRÈCHE SUR UNE TUYAUTERIE DU CIRCUIT D'APPOINT D'EAU DE LA PISCINE DE DÉSACTIVATION DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE

La ligne d'appoint JAC/JPI est installée dans la piscine de désactivation à une altimétrie [] et est reliée au bas des crosses d'aspiration du train principal PTR n°2 []. Ces tuyauteries plongent donc à une altimétrie inférieure au seuil de déclenchement des pompes PTR [].

En cas de rupture d'une tuyauterie sur ce circuit, la vidange de la piscine de désactivation est arrêtée [] par le dispositif casse-siphons équipant la tuyauterie plongeant en piscine.

L'état contrôlé est ainsi automatiquement atteint, sans perte du refroidissement de la piscine (déclenchement des pompes des trains principaux à l'atteinte []) et sans nécessiter d'appoint en eau. En conséquence, l'état sûr correspond à l'état contrôlé.

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure à 80°C et aucun assemblage n'est découvert durant le transitoire : les critères de sûreté sont respectés.

1.6.4. RUPTURE DE TUYAUTERIE SUR UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR**1.6.4.1. PRÉAMBULE**

Ce paragraphe décrit l'analyse d'une rupture de tuyauterie d'un train PTR conduisant à la perte totale, momentanée, de la réfrigération de la piscine combustible à l'atteinte du niveau [], par déclenchement des pompes principales PTR.

En état A, une maintenance peut être effectuée sur un train principal ou un système support. La troisième file PTR doit alors être démarrée préventivement.

En état F, la maintenance n'est pas autorisée sur les trains principaux mais peut être réalisée sur deux divisions électriques. Des interconnexions électriques sont alors préalablement installées.

Le cas d'une brèche sur un train principal pendant la maintenance de l'autre train en état A n'est pas spécifiquement traité dans ce paragraphe dans la mesure où il ne conduirait ni à la perte de la réfrigération de la piscine, assurée par le 3^{ème} train préventivement démarré, ni au découvrage d'un assemblage en cours de manutention, la manutention combustible étant interdite lorsque le 3^{ème} train PTR est en service.

En cas de MDTE, lestrains PTR s'arrêtent, le refroidissement de la piscine est alors totalement perdu. Les diesels principaux de secours sont alors démarrés et le système PTR et ses systèmes support sont retestés, permettant de récupérer le refroidissement de la piscine.

1.6.4.2. ETUDE DU TRANSITOIRE

1.6.4.2.1. Description du transitoire

En fonctionnement normal au moins un train PTR principal étant en service, une brèche sur un train principal peut se produire dans tous les états de tranche.

Celle-ci conduit à un arrêt automatique des pompes des trains principaux à l'atteinte du niveau [] et donc à la perte de réfrigération de la piscine de désactivation.

[]. Même si les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée d'une heure. Par ailleurs, le redémarrage d'un train principal PTR n'est valorisé qu'une fois la vidange arrêtée.

Le niveau initial [] permet de maximiser la durée de vidange et par conséquent la durée de perte de refroidissement [].

Différentes valeurs de débit de vidange sont analysées, parmi un spectre de valeurs comprises entre [].

Suivant la taille et la localisation de la brèche ainsi que la cinétique de la vidange, celle-ci est arrêtée :

- en cas de rupture sur un train principal PTR générant une cinétique de vidange rapide, [] par les dispositifs casse-siphons équipant chaque tuyauterie d'aspiration des trains principaux PTR. L'état contrôlé est alors atteint passivement.
- en cas de rupture sur la troisième file PTR générant une cinétique de vidange rapide, [] par débardage de la tuyauterie d'aspiration de la troisième file PTR. L'état contrôlé est alors atteint passivement.
- en cas de rupture sur un train PTR générant une cinétique de vidange lente, à un niveau supérieur au précédent par isolement [] de l'aspiration de chaque train PTR initialement en service et par le dispositif casse-siphon équipant la tuyauterie de refoulement situé au niveau []. L'état contrôlé est alors atteint.

Pour rallier l'état sûr, en cas d'arrêt passif de la vidange, la brèche doit être localisée et isolée [] par l'une des deux vannes redondantes situées à l'aspiration du train PTR portant la brèche.

La recherche de fuite en local sur un train PTR ou sur tout autre circuit connecté à la piscine de désactivation est initiée dès la première alarme []. Cette recherche de fuite en local permet d'isoler la fuite qui aura été ainsi détectée entre [] après la première information significative [] [] après l'entrée en CIA [].

Un appoint de secours JAC/JPI [] est ensuite effectué pour remonter le niveau piscine à un niveau suffisant pour redémarrer le train principal sain []. [] La réfrigération de la piscine est récupérée [] par le démarrage du train PTR sain. L'état sûr est alors atteint.

1.6.4.2.2. Rupture sur un train principal PTR en états A à D

A partir du niveau d'eau initial []

Les brèches pour lesquelles le débit de vidange est inférieur [] seront détectées et isolées avant d'atteindre le seuil de déclenchement du refroidissement à []. La vidange est ainsi arrêtée à une altimétrie supérieure au seuil de déclenchement des trains principaux PTR. Aucun appoint à la piscine n'est nécessaire pour la restauration du refroidissement et la température moyenne de la piscine BK va se stabiliser à la température d'équilibre lorsqu'un seul train PTR participe à l'évacuation de la puissance résiduelle [].

Pour des débits de brèche supérieurs [], le niveau d'eau atteint dans la piscine de désactivation est compris entre le seuil de déclenchement du refroidissement [] et le niveau [] assuré par les dispositifs de casse-siphons équipant les aspirations des trains principaux PTR.

L'appoint à la piscine de désactivation est initié après isolement de la brèche, via une pompe JAC/JPI afin de rehausser le niveau au dessus du seuil de déclenchement du refroidissement. Dès l'atteinte du niveau [] dans la piscine, le train PTR déclaré intact à l'issue de la recherche de fuite en local peut être remis en service : le refroidissement de la piscine de désactivation est récupéré.

Les valeurs de débit de vidange les plus pénalisantes en termes de durée de perte de refroidissement sont celles supérieures []. Elles conduisent à une perte de réfrigération [] qui correspond :

- A l'instant d'isolement de la brèche après atteinte du casse-siphon [],
- Ajouté à l'instant d'atteinte d'un niveau permettant la récupération du refroidissement après appoint JAC/JPI [].

La température moyenne maximale atteinte en piscine de désactivation durant le transitoire reste inférieure à []. Le critère d'étude de 100°C est respecté.

L'état sûr est rallié et la température moyenne piscine avec un train principal en service se stabilise [] à long terme. Le critère d'étude de 80°C est respecté.

1.6.4.2.3. Rupture sur un train principal PTR en état F

A partir du niveau d'eau initial [], une perte de refroidissement est considérée compte tenu de la prise en compte du MDTE dès l'instant initial.

Quelque soit le débit de brèche étudié, le niveau d'eau atteint dans la piscine de désactivation est compris entre le seuil de déclenchement du refroidissement à [] et le niveau [] assuré par les dispositifs de casse-siphons équipant les aspirations des trains principaux PTR.

L'appoint à la piscine de désactivation est initié après isolement de la brèche, via une pompe JAC/JPI afin de rehausser le niveau au dessus du seuil de déclenchement du refroidissement. Dès l'atteinte du niveau [] dans la piscine, le train PTR déclaré intact à l'issue de la recherche de fuite en local peut être remis en service : le refroidissement de la piscine de désactivation est récupéré.

Les valeurs de débit de vidange les plus pénalisantes en termes de durée de perte de refroidissement sont celles supérieure []. Elles conduisent à une perte de réfrigération [] qui correspond :

- A l'instant d'isolement de la brèche après atteinte du casse-siphon [],
- Ajouté à l'instant d'atteinte d'un niveau permettant la récupération du refroidissement après appoint JAC/JPI [].

La température moyenne maximale atteinte en piscine de désactivation durant le transitoire reste []. Le critère d'étude [] est respecté.

L'état sûr est rallié et la température moyenne piscine avec un train principal en service se stabilise [] à long terme. Le critère d'étude [] est respecté.

1.6.4.2.4. Rupture sur la troisième file PTR en état A

A partir du niveau d'eau initial [], une perte de refroidissement est considérée compte tenu de la prise en compte du MDTE dès l'instant initial.

Les brèches pour lesquelles le débit de vidange est inférieur [] seront détectées et isolées avant d'atteindre le seuil de déclenchement du refroidissement à []. La vidange est ainsi arrêtée à une altimétrie supérieure au seuil de déclenchement des trains principaux PTR. Aucun appoint à la piscine n'est nécessaire pour la restauration du refroidissement et la température moyenne de la piscine BK va se stabiliser à la température d'équilibre lorsqu'un seul train PTR participe à l'évacuation de la puissance résiduelle [].

Pour des débits de brèche supérieurs [], le niveau d'eau atteint dans la piscine de désactivation est compris entre le seuil de déclenchement du refroidissement [] et le niveau [] par dégorgement de la tuyauterie d'aspiration.

L'appoint à la piscine de désactivation est initié après isolement de la brèche, via une pompe JAC/JPI afin de rehausser le niveau au dessus du seuil de déclenchement du refroidissement. Dès l'atteinte du niveau [] dans la piscine, le train PTR déclaré intact à l'issue de la recherche de fuite en local peut être remis en service : le refroidissement de la piscine de désactivation est récupéré.

Les valeurs de débit de vidange les plus pénalisantes en termes de durée de perte de refroidissement sont celles supérieures à []. Elles conduisent à une perte de réfrigération de [] qui correspond :

- A l'instant d'isolement de la brèche après atteinte du casse-siphon [],
- A l'atteinte d'un niveau permettant la récupération du refroidissement après appoint JAC/JPI [].

La température moyenne maximale atteinte en piscine de désactivation durant le transitoire reste []. Le critère d'étude de 100°C est respecté.

L'état sûr est rallié et la température moyenne piscine avec un train principal en service se stabilise [] à long terme. Le critère d'étude de 80°C est respecté.

1.7. CONCLUSION – ÉTATS A À D ET F

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure à 80°C pour les scénarios étudiés ; l'incursion de température au-delà de 80°C durant le transitoire de rupture sur un train principal PTR en état F est limitée dans le temps avec une température maximale qui reste inférieure à 100°C. Les critères d'études sont respectés.

Le niveau piscine reste en permanence supérieur au niveau haut d'un assemblage combustible en cours de manutention []. La seule exception est le cas de la brèche sur le 3^{ème} train PTR pour lequel le niveau piscine descend à []. Cependant, les manutentions combustible sont strictement proscrites lorsque celui-ci est ligné et démarré préventivement. Aucun assemblage n'est donc découvert durant le transitoire.

Le tableau [TAB-15.2.3t.1](#) synthétise les hypothèses et résultats de cette étude.

2. ETAT E

2.1. DÉFINITION DE L'INCIDENT

L'événement initiateur de l'incident est une brèche isolable située sur une des tuyauteries connectées à la piscine de désactivation. Les débits de brèche retenus lors de l'étude sont compris entre [].

La rupture d'une tuyauterie isolable sur un circuit connecté à la piscine de désactivation peut affecter l'un des cinq circuits suivants :

- circuit de purification du BK ;

- circuit d'écrémage du BK ;
- circuit d'appoint de la piscine de désactivation du BK ;
- circuit de purification du BR ;
- train principal PTR.

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- Etat E hors manutention combustible : les assemblages de combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être ouvert (commande groupée activée) ou fermé (commande groupée non activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont disponibles. La piscine BK est refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage de combustible a été déchargé en piscine. L'état hors manutention combustible débute au plus tôt t_0 après l'arrêt du réacteur et dure au minimum t_1 ;
- Etat E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage de combustible est extrait de la cuve. Il transite soit dans la piscine réacteur « principale », soit dans l'un des compartiments de transfert ou dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage combustible peut être en cours de manutention dans la piscine BK. Pour assurer le refroidissement de la piscine, trois trains RIS-RA sont disponibles. La piscine BK est, elle, refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre BR et BK est ouvert. L'état chargement-déchargement débute au plus tôt t_0 après l'arrêt du réacteur et se termine au plus tôt t_1 après l'arrêt du réacteur.

Une brèche située sur une des tuyauteries connectées à la piscine de désactivation a les conséquences suivantes :

- Vidange des piscines BR et BK,
- Augmentation des températures des piscines BR et BK accompagnée d'une élévation de température du cœur du réacteur.

2.2. DESCRIPTION DE L'INCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.2.1. Description de l'incident

La description des différents scénarios pouvant se dérouler est exposée ci-après.

La fermeture du Tube de Transfert au cours de l'incident n'est pas prise en compte pour la démonstration de sûreté.

2.2.1.1. Cas « brèche sur un train PTR tube de transfert ouvert (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

De manière conservatrice, un seul calcul est fait pour couvrir l'état E « hors manutention combustible » commande groupée activée (tube de transfert ouvert) et l'état E pour chargement / déchargement, en prenant en compte des puissances résiduelles BR et BK enveloppes : la puissance résiduelle dans le cœur est prise à P_0 (soit au début de l'état E hors manutention combustible), et la puissance résiduelle dans la piscine de désactivation est prise à P_1 en fin de déchargement.

Lors de la détection de la baisse du niveau dans une des deux piscines, suite à l'ouverture d'une brèche, la refermeture du tube de transfert va être demandée au titre de la conduite normale. Seule la configuration avec tube de transfert maintenu ouvert est étudiée ici.

t_0 dès l'instant initial se traduit par la perte des systèmes de refroidissement pendant t_1 pour la piscine BR. Même si par conception les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des

diesels principaux, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR , et donc une perte de refroidissement de la piscine de désactivation pendant cette durée. De façon conservative on considère la perte d'un train RIS-RA initialement en service en mode RA. Il n'y a donc plus que deux trains RIS-RA qui participent à l'évacuation de la puissance résiduelle dans la piscine BR, qui parviennent néanmoins à maintenir la température de la piscine .

Le train PTR portant la brèche est considéré perdu pour le refroidissement dès l'instant initial, il n'y a donc plus qu'un train qui participe à l'évacuation de la puissance résiduelle dans la piscine de désactivation, une fois ce dernier redémarré manuellement. Suite au MDTE et à la perte de refroidissement de la piscine de désactivation , la température dans la piscine BK augmente. Suite au redémarrage manuel des trains PTR et avant d'atteindre le seuil dans la piscine BK conditionnant l'arrêt automatique des pompes PTR, la température de la piscine va tendre vers , température d'équilibre de la piscine BK avec un train PTR principal en service.

2.2.1.2. Cas « brèches sur les autres circuits connectés à la piscine de désactivation tube de transfert ouvert (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Cet incident peut également affecter l'un des systèmes ci-dessous :

- Le circuit de purification du BK ;
- Le circuit d'écumage du BK ;
- Le circuit d'appoint de la piscine de désactivation dans le BK ;
- Le circuit de purification du BR ;

Ces scénarios sont couverts par celui présenté au [§ 2.2.1.1.](#)

2.2.2. Critères d'études

Les critères techniques d'acceptation à vérifier sont ceux définis dans la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- Maintien permanent de la sous-criticité ;
- Absence de dénoyage des assemblages de combustible ;
- Évacuation de la puissance résiduelle BR par le système RIS-RA ;
- Évacuation de la puissance résiduelle BK par le ou les trains PTR principaux ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- Non ébullition dans la piscine BR ;
- Non ébullition dans la piscine BK ;
- Maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK ($T_{\text{piscines}} \leq 80^{\circ}\text{C}$). Pour les situations PCC de vidange, le dépassement transitoire de la température au-delà de 80°C sans toutefois atteindre 100°C est admissible.

2.3. MOYENS DE PROTECTIONS

En état E « hors manutention combustible » commande groupée non activée (tube de transfert fermé), les signaux de protection disponibles sont le signal d'Injection de Sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA. Dans cette configuration le signal d'IS est émis sur l'atteinte sur seuil Min1p : « bas niveau boucle » et le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil Min2p : « bas niveau boucle ».

En état E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil Min 1 : « bas niveau piscine transfert BR », (cf. figure [FIG-15.2.3t.1](#)).

Le temps de fermeture automatique de la vanne d'isolement RIS-RA considéré est de \square s.

Le ou les trains PTR principaux initialement en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil Min 4 BK « bas niveau piscine BK » \square .

À l'atteinte du niveau piscine \square m (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

2.4.1. Etat initial

En état E, à pression atmosphérique dans l'enceinte, la température du circuit primaire et de la piscine BR est de $\square \square$. L'évacuation de la puissance résiduelle du primaire peut être assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La température initiale de la piscine BK est de \square °C (critère STE), et le refroidissement de la piscine de désactivation peut être assuré par un train PTR principal avec la commande groupée non activée et par les deux trains principaux PTR principaux avec la commande groupée activée ou qu'au moins un assemblage de combustible a été déchargé en piscine.

Dans les scénarios de vidange accidentelle des piscines, le niveau d'eau initial pour les piscines BR et BK considéré est de \square m.

\square

L'activation des protections valorisées au cours de l'incident, en fonction de la position initiale de la vanne du tube de transfert est décrite au [§ 2.3.](#)

2.4.2. Choix de l'aggravant

\square

Côté BK, le ou les trains PTR principaux, initialement en service, restent donc disponibles tant qu'ils ne sont pas arrêtés sur signal BK MIN4.

2.4.3. Choix de la maintenance préventive

\square

2.4.4. Hypothèses spécifiques

2.4.4.1. Puissance résiduelle

Les puissances résiduelles des piscines BR et BK sont supposées, de façon pénalisante, constantes sur toute la durée de l'incident, et correspondent quel que soit l'instant du déchargement à un cœur complet.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BR, pour les calculs réalisés avec une puissance nominale de \square MW en état « hors manutention combustible » et 19,78 MW en état « chargement-déchargement ». Elle est déterminée vis-à-vis de la courbe de puissance \square (voir sous-chapitre 15.1).

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BK est égale à \square MW en état « chargement-déchargement ». Elle est maximale juste après que le dernier assemblage ait été déchargé du réacteur (Il est considéré de manière pénalisante que le dernier assemblage est déchargé \square après

l'arrêt du réacteur). Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance de la piscine BR [] à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle [].

2.4.4.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Trains RIS-RA :

On considère que trois trains RIS-RA en mode RA sont en service avant l'apparition de la brèche, hypothèse pénalisante vis-à-vis du délai de réalisation du Test d'intégrité Primaire (TIP) et donc du temps de perte de refroidissement.

En état E hors maintenance combustible avec la commande groupée non activée, le 4^{ème} train est en stand-by mais n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de ce scénario.

[].

GMPP :

En état E, tous les GMPP sont à l'arrêt.

IS :

En état E, trois trains ISMP sont disponibles. Aucun train ISMP n'est supposé perdu à la brèche. Toutefois, [], deux pompes ISMP sont disponibles pour réaliser l'Injection de Sécurité.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur [] pour la démonstration de sûreté. L'analyse de la recirculation est elle effectuée avec le débit maximal de l'ISMP soit []. La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST [].

PTR :

Le refroidissement de la piscine BK est assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage de combustible a été déchargé en piscine. Les trains PTR principaux sont refroidis par le RRI. Le 3^{ème} train PTR, refroidi par EVU intermédiaire n'est pas valorisé.

[]

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR sont mentionnées en [A- -15.2.3t.1](#).

Le délai de remise en service des trains PTR et d'atteinte du plein débit est de [] min depuis la salle de commande.

Suite au MDTE postulé au moment de l'initiateur, par conception les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux. Il est toutefois considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR [] et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée [].

Vannes de fond de piscine BR :

[]

[]

IRWST

En état E, le volume minimal disponible dans l'IRWST est de

- \square m³ en état E hors manutention combustible (commande groupée non activée). Cette valeur est prise de manière conservatrice,
- \square m³ en état E chargement/déchargement (commande groupée activée).

La température initiale IRWST est la même que celle de la piscine BR \square .

Le fonctionnement de l'ISMP requiert un niveau \square dans l'IRWST pour éviter les phénomènes de cavitation et de vortex, soit un volume \square .

2.4.4.3. Autres systèmes

JAC/JPI :

En conditions PCC, l'intégralité du volume JAC/JPI ne peut être considérée dans la mesure où il est nécessaire de garantir la disponibilité d'une réserve d'eau suffisante en cas de cumul incendie. La réserve d'eau « libre » pour restaurer le niveau d'eau dans le PTR est de \square . Le débit d'injection du JAC/JPI (classé F1B) est pris à sa valeur minimale \square . Le JAC est nécessaire pour remonter le niveau de la piscine BK \square afin de reconnecter les trains PTR principaux.

Casse-siphons :

Les tuyauteries connectées à la piscine de désactivation sont équipées de dispositifs passifs permettant l'arrêt de la vidange.

Les altimétries de désamorçage des casse-siphons sur les trains PTR principaux sont situées à \square à l'aspiration, et à \square au refoulement.

Le circuit de purification du BK porte des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées \square à l'aspiration et au refoulement.

Le circuit de purification du BR porte des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées \square au niveau du refoulement.

Ces altimétries de désamorçage garantissent l'isolement de la brèche lorsqu'elles sont franchies.

2.5. ANALYSE – ÉTAT E

2.5.1. Cas « brèche sur un train PTR (états E hors manutention combustible et chargement-déchargement) »

2.5.1.1. Cas « Tube de transfert fermé commande groupée non activée »

L'impact sur le refroidissement de la piscine BR d'une brèche sur un train principal PTR lorsque le tube de transfert est fermé est négligeable.

L'impact sur le refroidissement de la piscine BK lorsque le tube de transfert est initialement fermé est couvert par l'état F avec le tube de transfert initialement fermé.

2.5.1.2. Cas « Tube de transfert ouvert commande groupée activée »

Suite au MDTE postulé au moment de l'initiateur, par conception les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux. Il est toutefois considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR \square , et donc une perte de refroidissement de la piscine de désactivation pendant cette durée. Côte BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement \square .

L'entrée en CIA se fait à l'atteinte du niveau \square dans la piscine BR, et les trains RIS-RA initialement en service en mode RA sont automatiquement arrêtés et isolés. Aucune action opérateur n'est initiée

durant les 30 min suivantes. Une fois ce délai opérateur révolu, les actions de conduite que l'opérateur sera amené à effectuer dépendent du niveau atteint dans les piscines.

La récupération du refroidissement de la piscine BR dépend de la vitesse de vidange et du niveau de la piscine BR lorsque l'opérateur intervient :

- Si le niveau dans la piscine BR est supérieur au seuil de \square , lorsque l'opérateur intervient, la brèche peut être sur un train RIS-RA, sur le circuit primaire ou sur un circuit connecté aux piscines BR et BK. Dans ce cas, l'opérateur procède à la réalisation du Test d'Intégrité Primaire (T.I.P), en parallèle de la recherche de fuite en local. Les trains RIS-RA étant intègres, le refroidissement du circuit primaire reprend durant les temps d'observation de la baisse de niveau, et est interrompu durant les opérations d'isolement et de dés-isolement des trains RIS-RA. La recherche de fuite en local permettra d'identifier le train PTR affecté et d'isoler la brèche. Les trains RIS-RA sont remis en service. Finalement, la perte de refroidissement côté BR est inférieure à \square
- Si le niveau de la piscine BR est inférieur au seuil de \square , lorsque l'opérateur intervient, la possibilité d'une brèche sur un train RIS-RA est exclue. Les trains RIS-RA étant déclarés intègres, au moins deux d'entre eux sont remis en service en mode RA, au plus tard \square après l'isolement automatique des trains.

La température moyenne maximale atteinte dans la piscine BR de \square (voir tableau [TAB-15.2.3t.2](#)) garantit l'absence d'ébullition dans la piscine BR.

A long terme la piscine BR est refroidie par deux trains RIS-RA en mode RA, ce qui permet de maintenir la température de la piscine BR sous 80 °C (voir [A- -15.2.3t.1](#)).

Toute action opérateur autre que le redémarrage des trains RIS-RA sains dépend des résultats de la recherche de fuite en local, sur un train PTR ou sur tout autre circuit connecté à la piscine de désactivation, initiée dès la première alarme \square . Cette recherche de fuite en local permet d'isoler la fuite qui aura été ainsi détectée au plus tard entre \square minutes après la première alarme à \square et \square après l'entrée en CIA \square . En fonction de la taille de brèche et donc de la vitesse de vidange, les seuils de \square (arrêt automatique des pompes PTR) et \square (arrêt de la vidange par les casse-siphons) seront ou non atteints lorsque la brèche sera isolée.

Côté BK, les brèches pour lesquelles le débit de vidange est inférieur à \square seront détectées et isolées avant d'atteindre \square . La température de la piscine BK va donc augmenter à cause de la perte d'un train à la brèche et de l'arrêt temporaire des trains PTR suite au MDTE, et non suite à l'arrêt automatique des pompes sur bas niveau dans la piscine BK. Le train PTR sain restant en service, aucun appoint à la piscine n'est nécessaire, et la température moyenne de la piscine BK va se stabiliser à \square qui est la température d'équilibre lorsqu'un seul train PTR participe à l'évacuation de la puissance résiduelle.

Pour des débits brèche supérieurs à \square , le niveau d'eau atteint dans les piscines lorsque la brèche a été isolée est inférieur à \square , ce qui signifie que l'échauffement de la piscine BK est dû dans un premier temps à l'arrêt temporaire des trains PTR suite au MDTE et à la perte à l'instant initial d'un train PTR (supposé perdu à la brèche), et dans un deuxième temps à la perte totale du refroidissement suite à l'atteinte du seuil \square .

A partir du moment où la brèche est détectée, la stratégie adoptée est orientée brèche PTR. L'appoint aux piscines est initié dès l'isolement de la brèche, via une pompe JAC/JPI côté BK et deux pompes ISMP côté BR. Dès l'atteinte du niveau \square dans la piscine BK, le train PTR déclaré intact à l'issue de la recherche de fuite en local peut être redémarré, et le refroidissement de la piscine BK est lui aussi récupéré.

La détermination de la température moyenne maximale atteinte dans la piscine BK dépend du niveau minimal atteint lorsque la brèche a été isolée :

- Si le niveau minimal est supérieur à \square , donc si les pompes PTR ne sont arrêtées qu' \square suite au cumul du MDTE, la température maximale est celle de l'équilibre avec un seul train PTR en service. En effet, après \square d'échauffement sans train PTR en service, la température de la piscine BK est légèrement inférieure à la température d'équilibre avec un seul train PTR en service ;

- Si le niveau minimal est inférieur à \square , la température maximale correspond à l'instant où le niveau dans les piscines est remonté à \square à l'issue de l'appoint. Le train PTR sain est alors remis en service et la température diminuera jusqu'à atteindre l'équilibre.

La température maximale atteinte dans la piscine BK est liée à la durée de la perte de refroidissement, et est donc par conséquent dépendante de la durée nécessaire pour effectuer l'appoint permettant de remonter à un niveau suffisant pour le redémarrage du train PTR sain.

Les résultats de ce cas d'analyse sont mentionnés dans le tableau [TAB-15.2.3t.2](#). \square .

A long terme, la température de la piscine BK reste inférieure à \square la température d'équilibre de la piscine BK avec un train PTR principal en service (voir [A- -15.2.3t.1](#)). \square .

En cas de brèche sur un train PTR principal, l'absence de dénoyage des assemblages de combustible, côté piscine BR comme côté piscine BK, est garantie par les casse-siphons \square .

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible et pas d'ébullition dans les piscines BR et BK ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Côté BK, le maintien permanent de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Côté BR, la concentration en bore est supérieure à la Cb pour rechargement. Par ailleurs, une fois la brèche isolée, l'appoint en eau est effectué par l'ISMP. Le maintien de la sous-criticité est donc assuré.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2](#). est respecté et l'état d'arrêt sûr est atteint :

- Suite à la remise en service par l'opérateur des trains RIS-RA et du train PTR sain, la puissance résiduelle est évacuée côté BR et côté BK et la température finale de l'eau des piscines est inférieure à 80 °C ;
- Il n'y a pas de découvrement des assemblages de combustible puisque la vidange est arrêtée grâce à la présence des casse-siphons ;
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

2.5.2. Cas « brèches sur les autres circuits connectés à la piscine de désactivation (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

2.5.2.1. Cas « brèche sur le circuit de purification du BK tube de transfert ouvert commande groupée activée »

Une vidange liée à une brèche sur le circuit de purification du BK sera arrêtée, en fonction de la position de la brèche, soit \square , par la fermeture automatique des vannes situées sur les lignes d'aspiration, soit \square par les casse-siphon situés sur les lignes d'aspiration et de refoulement. L'absence de dénoyage des assemblages est donc garantie. Cette séquence se traduit par l'entrée en CIA, à l'atteinte du niveau \square dans la piscine BR, avec un isolement automatique des trains RIS-RA initialement en service en mode RA. Côte BK, suite au MDTE à l'instant initial, il est considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR \square , et donc une perte de refroidissement de la piscine de désactivation pendant cette durée. L'échauffement associé à cette perte de refroidissement de la piscine BK ne conduit cependant pas à dépasser la température d'équilibre de la piscine BK avec un train PTR principal en service (\square voir [§ 2.5.1.2](#)). Suite au redémarrage manuel des trains PTR, ces derniers restent en service tout au long de l'accident

Ainsi côté BK, le non dénoyage des assemblages de combustible est garanti tout comme le respect de la température maximale admissible dans la piscine et l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme.

La récupération du refroidissement de la piscine BR dépend de la vitesse de vidange et du niveau auquel la vidange s'arrête :

- Si 30 min après l'entrée en CIA, (atteinte du seuil d'isolement des trains RIS-RA[]) le niveau dans la piscine BR est supérieur à [] m, une brèche sur un train RIS-RA est suspectée et un Test d'Intégrité Primaire (TIP) est mis en place ;
 - Si la vidange s'est arrêtée par la fermeture des vannes d'aspiration [], le TIP sur les trains RIS-RA permettra de déclarer ces trains intègres. Le circuit primaire sera déclaré intègre si une brèche est identifiée sur un circuit connecté à la piscine de désactivation au cours du TIP.
 - Si au contraire la vidange se poursuit jusqu'à atteindre les casse-siphons [], le niveau de la piscine BR continuera à baisser durant le TIP sur les trains RIS-RA, permettant de les déclarer intègres et de considérer que la brèche se trouve soit sur le circuit primaire, soit sur un circuit annexe connecté à la piscine de désactivation. La distinction entre ces deux cas, pour adapter la conduite au type de brèche concerné, se fait sur le critère de niveau dans la piscine BR : tant que le niveau est supérieur à [] m, le refroidissement de la piscine BK n'étant pas perdu, aucune action n'est entreprise avant le retour de la recherche de fuite en local ; si le niveau est inférieur à [] m, la possibilité d'une brèche sur un circuit connecté à la piscine BK est écartée au profit d'une brèche sur le circuit primaire traitée dans la section 15.2.4g. L'éventualité de l'atteinte des casse-siphons durant le TIP sur un train RIS-RA, pouvant conduire à déclarer ce train non intègre de manière erronée, se traduit par le maintien en service des trains PTR et d'au moins un train RIS-RA en mode RA, permettant d'évacuer la puissance résiduelle côté BK et côté BR.

Les trains RIS-RA étant intègres, le refroidissement du circuit primaire reprend durant les temps d'observation de la baisse de niveau, et est interrompu durant les opérations d'isolement et de désisolement des trains. Finalement, la perte de refroidissement est inférieure à [] et conduit à une température moyenne maximale inférieure à 80°C. Ce scénario est couvert par le cas d'une brèche sur un train PTR principal, dans la mesure où le niveau d'eau dans la piscine BR sera plus élevé que dans le cas d'une brèche sur un train PTR.

- Si 30 min après l'entrée en CIA (atteinte du seuil d'isolement des trains RIS-RA[]), le niveau dans la piscine BR est inférieur à [], les trains RIS-RA sont déclarés sains et deux trains sont remis en service au plus tard [] après l'arrêt. Ce scénario est couvert par le cas d'une brèche sur un train principal PTR, dans la mesure où le niveau d'eau dans la piscine BR sera plus élevé que dans le cas d'une brèche sur un train PTR.

Ainsi côté BR, le non dénoyage des assemblages de combustible est garanti tout comme le respect de la température maximale admissible dans la piscine et l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme.

Côté BK, le maintien permanent de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Côté BR, la concentration en bore est supérieure à la Cb pour rechargement. Par ailleurs, une fois la brèche isolée, l'appoint en eau est effectué par l'ISMP. Le maintien de la sous-criticité est donc assuré.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible et pas d'ébullition dans les piscines BR et BK ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. est donc respecté et l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.5.2.2. Cas « brèche sur le circuit de purification du BR tube de transfert ouvert commande groupée activée »

Le scénario d'une vidange liée à une brèche sur le circuit de purification du BR lorsque le tube de transfert est ouvert est identique à celui d'une brèche sur le circuit de purification du BK, et est détaillé au § 2.5.2.1.

Ainsi puisque les critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. (sous-criticité, non découverture des assemblages, respect de la température maximale admissible dans les piscines, évacuation de la puissance résiduelle et rejets radiologiques tolérables) sont respectés pour le scénario de brèche sur le circuit de purification du BK, ils le sont également pour le scénario de brèche sur le circuit de purification du BR.

2.5.2.3. Cas « brèche sur le circuit d'écémage du BK tube de transfert ouvert commande groupée activée »

Côté BK, les tuyauteries du circuit d'écémage plongent à une altimétrie supérieure à [] ; l'absence de dénoyage des assemblages est garantie. Une vidange liée à une brèche sur ce circuit ne pourra de ce fait conduire au seuil entraînant l'arrêt automatique des pompes PTR. Suite au MDTE à l'instant initial, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR [], et donc une perte de refroidissement de la piscine de désactivation pendant cette durée. L'échauffement associé à cette perte du refroidissement de la piscine BK ne conduit cependant pas à dépasser la température d'équilibre de la piscine BK avec un train PTR principal en service ([voir § 2.5.1.2.]). Suite au redémarrage manuel des trains PTR, ces derniers restent en service tout au long de l'accident, sans échauffement supplémentaire de la piscine BK.

Côté BR, en revanche, l'atteinte du niveau [] va automatiquement provoquer l'arrêt et l'isolement des trains RIS-RA en mode RA alors en service. Le délai de récupération du refroidissement de la piscine BR dépendra de la vitesse de vidange, et est identique à celui observé pour le cas d'une brèche sur le circuit de purification du BK, détaillé au § 2.5.2.1.. Comme pour la brèche sur le circuit de purification du BK détaillé au § 2.5.2.1., il n'y a aucun découverture des assemblages de combustible, les critères relatifs aux températures des piscines sont respectés et la puissance résiduelle est évacuée à long terme.

Côté BK, le maintien permanent de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découverte des assemblages de combustible.

Côté BR, la concentration en bore est supérieure à la Cb pour rechargement. Par ailleurs, une fois la brèche isolée, l'appoint en eau est effectué par l'ISMP. Le maintien de la sous-criticité est donc assuré.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible et pas d'ébullition dans les piscines BR et BK ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. est donc respecté et l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.5.2.4. Cas « brèche sur le circuit d'appoint à la piscine de désactivation tube de transfert ouvert commande groupée activée »

Côté BK, les tuyauteries du circuit d'appoint à la piscine de désactivation plongent à une altimétrie supérieure à [] ; l'absence de dénoyage des assemblages est garantie. La vidange ne pourra de ce fait conduire au seuil entraînant l'arrêt automatique des pompes PTR. Suite au MDTE à l'instant initial, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR [] et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation pendant cette durée. L'échauffement associé à cette perte du refroidissement de la piscine BK ne conduit cependant pas à dépasser la température d'équilibre de la piscine BK avec un train PTR principal en service ([voir § 2.5.1.2.]). Suite au redémarrage manuel des trains PTR, ces derniers restent en service tout au long de l'accident, sans échauffement supplémentaire de la piscine BK.

Côté BR, en revanche, l'atteinte du niveau [] va automatiquement provoquer l'arrêt et l'isolement des trains RIS-RA en mode RA alors en service. Le délai de récupération du refroidissement de la piscine BR dépendra de la vitesse de vidange, et est identique à celui observé pour le cas d'une brèche sur le circuit de purification du BK, détaillé au § 2.5.2.1.. Comme pour la brèche sur le circuit de purification du BK détaillé au § 2.5.2.1., il n'y a aucun découverture des assemblages de combustible, les critères relatifs aux températures des piscines sont respectés et la puissance résiduelle est évacuée à long terme.

Côté BK, le maintien permanent de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Côté BR, la concentration en bore est supérieure à la Cb pour rechargement. Par ailleurs, une fois la brèche isolée, l'appoint en eau est effectué par l'ISMP. Le maintien de la sous-criticité est donc assuré.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible et pas d'ébullition dans les piscines BR et BK ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) est donc respecté et l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.6. CONCLUSION – ÉTAT E

L'étude des différents scénarios de brèche isolable située sur une des tuyauteries connectées à la piscine de désactivation en état E, montre que malgré le conservatisme sur la non prise en compte d'un train ISMP et d'un train RIS-RA ([§ 2.4.2.](#)) et la maintenance préventive, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint :

- La puissance résiduelle est évacuée côté BR et côté BK (grâce aux trains RIS-RA et PTR sains) et la température finale de l'eau des piscines est inférieure à 80 °C ;
- Il n'y a pas de découvrement des assemblages de combustible puisque la vidange est arrêtée grâce à la présence de casse-siphons ;
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Les températures moyennes maximales atteintes restent inférieures à la température limite autorisée par les critères de découplage.

TAB-15.2.3T.1 RUPTURE DE TUYAUTERIE ISOLABLE SUR UN CIRCUIT CONNECTE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ETATS A À D ET F)
HYPOTHESES PRINCIPALES ET RESULTATS □

□

TAB-15.2.3T.2 CAS TUBE DE TRANSFERT MAINTENU OUVERT □ (APPOINT BR PAR DEUX ISMP)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3T

PAGE 22/23

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.3T.1 ETAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES
BR ET BK**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.3T

PAGE 23/23

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.3T.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS

□

15.2.4 TRANSITOIRES PCC-4

15.2.4A PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES (>2HEURES) (ÉTAT C)

15.2.4B RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR

15.2.4C RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE

15.2.4D OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHÈRE OU D'UNE SOUPE GE (ÉTAT B)

15.2.4E ÉJECTION DE GRAPPE (ÉTATS A, B)

15.2.4F1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES (ÉTAT A)

15.2.4F2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES (ÉTAT B)

15.2.4G APRP PETITES BRÈCHES (\leq DN 50) (ÉTATS C, D, E)

15.2.4H DÉFAILLANCE D'UNE POMPE PRIMAIRE (ROTOR BLOQUÉ)

15.2.4I RUPTURE DE L'ARBRE D'UNE POMPE PRIMAIRE

15.2.4K RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR, 2 TUBES DANS UN GE [ÉTAT A]

15.2.4M ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE

15.2.4P DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON ISOLABLE D'UN TUBE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR (ÉTATS C À E)

15.2.4Q BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (JUSQU'À DN 250) À L'EXTÉRIEUR OU À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C, D, E)

15.2.4R PETITE BRECHE PRIMAIRE NON ISOLABLE (\leq DN 50) OU BRECHE ISOLABLE SUR LE SYSTEME RIS EN MODE RA (\leq DN250), ASPECT VIDANGE PISCINE (ETAT E)



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE : 15

SECTION : 2.4

PAGE : 2/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**15.2.4S DEFILLANCE MULTIPLE DES SYSTEMES DANS LE
BATIMENT DES AUXILIAIRES NUCLEAIRES (BAN) ET LE
BATIMENT DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS (BTE) SOUS SEISME**

**15.2.4T FUITE NON ISOLABLE SUR UNE TUYAUTERIE D'UN
CIRCUIT CONNECTE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ETATS A
F)**

SOMMAIRE

.15.2.4T FUI TE NON ISOLABLE SUR UNE TUYAUTERIE D'UN CIRCUIT CONNECTE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ETATS A F).	6
1. FUI TE NON ISOLABLE SUR UNE TUYAUTERIE CONNECTEE A LA PISCINE DE DESACTIVATION [ÉTATS A À D ET F]	6
1.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	6
1.2. PRINCIPES D'ÉTUDE	6
1.3. CRITÈRES D'ÉTUDES	6
1.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	7
1.4.1. ETAT INITIAL	7
1.4.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT	8
1.5. ANALYSE – ÉTATS A À D ET F	8
1.5.1. FUI TE SUR UNE TUYAUTERIE DU CIRCUIT DE PURIFICATION DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE	8
1.5.2. FUI TE SUR UNE TUYAUTERIE SUR UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR	9
1.6. CONCLUSION – ÉTATS A À D ET F	11
2. FUI TE SUR LA LIGNE DE VIDANGE DE LA PISCINE DU BR [ÉTAT E]	12
2.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	12
2.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	12
2.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	12
2.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	13
2.3. MOYENS DE PROTECTIONS	14
2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	14
2.4.1. ETAT INITIAL	14
2.4.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT	14
2.4.3. CHOIX DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	14
2.4.4. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	15
2.5. ANALYSE – ETAT E	17

2.5.1. CAS « TUBE DE TRANSFERT FERMÉ INITIALEMENT (ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE) »	17
2.5.2. CAS « TUBE DE TRANSFERT OUVERT INITIALEMENT ET MAINTENU OUVERT PENDANT TOUTE LA SÉQUENCE ACCIDENTELLE (ÉTAT E POUR CHARGEMENT-DÉCHARGEMENT ET HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE COMMANDE GROUPÉE ACTIVÉE) »	17
2.6. CONCLUSION	19
3. FUITE SUR LA LIGNE DE VIDANGE DU COMPARTIMENT DE TRANSFERT BK [ÉTAT E]	19
3.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	19
3.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	20
3.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	20
3.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	21
3.3. MOYENS DE PROTECTIONS	21
3.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	22
3.4.1. ETAT INITIAL	22
3.4.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT	22
3.4.3. CHOIX DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	22
3.4.4. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	22
3.5. ANALYSE – ETAT E	24
3.5.1. CAS « TUBE DE TRANSFERT FERMÉ INITIALEMENT (ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE) »	24
3.5.2. CAS « TUBE DE TRANSFERT OUVERT INITIALEMENT ET MAINTENU OUVERT PENDANT TOUTE LA SÉQUENCE ACCIDENTELLE (ÉTAT E POUR CHARGEMENT-DÉCHARGEMENT ET HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE COMMANDE GROUPÉE ACTIVÉE) »	25
3.6. CONCLUSION – ETAT E	26
4. FUITE A L'ASPIRATION D'UN TRAIN PTR PRINCIPAL [ÉTAT E]	27
4.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	27
4.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	27

4.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	27
4.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	28
4.3. MOYENS DE PROTECTIONS	29
4.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	29
4.4.1. ETAT INITIAL	29
4.4.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT	29
4.4.3. CHOIX DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	29
4.4.4. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	30
4.5. ANALYSE – ETAT E	32
4.5.1. CAS « TUBE DE TRANSFERT FERMÉ INITIALEMENT (ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE) »	32
4.5.2. CAS « TUBE DE TRANSFERT OUVERT INITIALEMENT ET MAINTENU OUVERT PENDANT TOUTE LA SÉQUENCE ACCIDENTELLE (ÉTAT E POUR CHARGEMENT-DÉCHARGEMENT ET HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE COMMANDE GROUPEE ACTIVÉE) »	32
4.6. CONCLUSION – ETAT E	35
5. FUIITE SUR LA LIGNE D'ASPIRATION DE LA TROISIÈME FILE PTR [ÉTAT E]	35
5.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	35
5.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	36
5.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	36
5.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	36
5.3. MOYENS DE PROTECTIONS	37
5.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	37
5.4.1. ETAT INITIAL	37
5.4.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT	38
5.4.3. CHOIX DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	38
5.4.4. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	38
5.5. ANALYSE – ETAT E	40
5.5.1. CAS « TUBE DE TRANSFERT FERMÉ INITIALEMENT (ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE) »	40



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 4/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

5.5.2. CAS « TUBE DE TRANSFERT OUVERT INITIALEMENT ET MAINTENU OUVERT PENDANT TOUTE LA SÉQUENCE ACCIDENTELLE (ÉTAT E POUR CHARGEMENT-DÉCHARGEMENT ET HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE COMMANDE GROUPEE ACTIVÉE) »	40
5.6. CONCLUSION – ETAT E	43
A- -15.2.4T.1 ANNEXE - DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS	56

TABLEAUX :**TAB-15.2.4T.1 EVALUATION DU DÉBIT DE FUITE DE TAILLE****CONVENTIONNELLE 44****TAB-15.2.4T.2 SÉQUENCES DES ÉVÈNEMENTS 45****TAB-15.2.4T.3 EVALUATION DE LA PUISSANCE RESIDUELLE DANS LA****PISCINE BK..... 51****TAB-15.2.4T.4 FUITE DE TUYAUTERIE NON ISOLABLE SUR UN CIRCUIT****CONNECTE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ETATS A À D ET F)****HYPOTHESES PRINCIPALES ET RESULTATS (4500 MWTH ÉTATS A À****D ET 4300 MWTH ÉTATS E ET F) 52****FIGURES :****FIG-15.2.4T.1 ETAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES BR ET****BK..... 53****FIG-15.2.4T.2 EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE LA PISCINE DE****DÉSACTIVATION POUR LE CAS AVEC FERMETURE DE LA PORTE****PIVOTANTE DES L'INSTANT INITIAL 54****FIG-15.2.4T.3 EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE LA PISCINE DE****DÉSACTIVATION POUR LE CAS AVEC FERMETURE DE LA PORTE****PIVOTANTE  APRES L'ATTEINTE DU PREMIER SIGNAL****SIGNIFICATIF 55**

.15.2.4T FUITE NON ISOLABLE SUR UNE TUYAUTERIE D'UN CIRCUIT CONNECTE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ETATS A F)

1. FUITE NON ISOLABLE SUR UNE TUYAUTERIE CONNECTEE A LA PISCINE DE DESACTIVATION [ÉTATS A À D ET F]

1.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

Une fuite de taille conventionnelle est considérée sur les tronçons non isolables connectés à la piscine de désactivation (pour le circuit de purification ainsi qu'un train de refroidissement PTR).

Dans ce paragraphe et sauf mention contraire, seuls les états A à D et F sont traités ; l'état E fait l'objet d'une analyse particulière.


Les ruptures isolables des circuits connectés à la piscine de désactivation sont étudiées en tant que condition de fonctionnement PCC-3 (voir sous-chapitre 15.2.3t).

1.2. PRINCIPES D'ÉTUDE

Les tronçons non isolables connectés à la piscine de désactivation sont les suivants :

- L'aspiration du système de refroidissement de la piscine de désactivation jusqu'au second organe d'isolement,
- L'aspiration du système de vidange de la piscine BK jusqu'au second organe d'isolement.

Les fuites non isolables sont étudiées jusqu'au second organe d'isolement de sorte à être robuste à l'application du critère de défaillance unique sur la fermeture des vannes d'isolement.

- Le cas d'une fuite non isolable au refoulement des trains PTR n'est pas spécifiquement étudié, dans la mesure où le niveau se stabilise passivement par le dispositif de casse-siphon équipant chacune des tuyauteries de refoulement . Cette situation ne conduit ni à la perte de la réfrigération de la piscine de désactivation ni au découlement d'un assemblage en cours de manutention.

La fuite non isolable génère un débit de vidange correspondant à une fuite de taille conventionnelle. La fuite de taille conventionnelle pour les tuyauteries à moyenne énergie se définit comme une fuite équivalente à un diamètre d'ouverture $e \cdot D/4$, e représentant l'épaisseur de la tuyauterie et D son diamètre interne. Le calcul et les valeurs des débits de fuite qui en découlent sont détaillés au [TAB-15.2.4T.1](#).

L'élévation de la température moyenne de la piscine de désactivation suite à la perte de refroidissement est évaluée en considérant l'échauffement du volume d'eau de la piscine de désactivation par la puissance résiduelle des éléments combustibles usés. Par conservatisme, le volume considéré pour le calcul de la période de grâce correspond uniquement au volume de la piscine de désactivation avec un niveau d'eau minimal correspondant au niveau d'arrêt de la vidange. De plus, l'effet bénéfique du refroidissement de l'eau de la piscine de désactivation par l'eau d'appoint n'est pas considéré dans les études.

Une fois le refroidissement de la piscine restauré, la température moyenne est calculée en régime permanent en considérant des valeurs de température de source froide pénalisées.

1.3. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les critères techniques d'acceptation à vérifier sont ceux définis dans la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- Maintien permanent de la sous-criticité ;
- Absence de dénoyage des assemblages de combustible ;

- Évacuation de la puissance résiduelle BK par au moins un train PTR ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- Non ébullition dans la piscine BK ;
- Maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau de la piscine de désactivation [1].

1.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

1.4.1. Etat initial

Comme tout autre événement PCC, le transitoire est analysé avec des hypothèses pénalisées.

En fonctionnement normal, un train principal PTR pour les états A à D et deux trains principaux PTR pour l'état F (avec une pompe par train) sont utilisés pour refroidir la piscine de désactivation.

En état A, le démarrage préventif de la troisième file PTR lors des travaux de maintenance sur le système PTR ou un système support est pris en compte pour l'étude.

Les valeurs de puissance résiduelle retenues sont évaluées pour une gestion combustible enveloppe. [1]. Par conservatisme, l'échauffement des masses des structures n'est pas considéré.

Pour les transitoires accidentels de fuite non isolable en états A à D, la charge thermique dans la piscine de désactivation est prise en état A en début de cycle (DDC) [1].

Pour les transitoires accidentels de fuite non isolable en état F, la charge thermique maximale dans la piscine combustible est considérée, soit juste après que le dernier élément combustible ait été déchargé du réacteur. [1].

La piscine de désactivation et les tuyauteries du PTR sont considérées dans la modélisation comme adiabatiques.

Une température initiale enveloppe de la piscine de désactivation [1] est retenue pour couvrir toutes les situations de fonctionnement.

[1]

Le niveau initial de la piscine de désactivation enveloppe de [1] est considéré pour couvrir toutes les situations de fonctionnement. Pour les transitoires de vidange accidentelle, la première information significative opérée en CIA est considérée [1] (F1A).

Suite à la transmission de la première information significative à l'opérateur, toute action manuelle locale, c'est-à-dire qui doit être effectuée à l'extérieur de la Salle de Commande, peut être prise en compte [1] après l'information significative.

La mise en position sûre de l'assemblage en cours de manutention est réalisée par du personnel déjà présent sur place à l'instant initial du transitoire ; la durée forfaitaire pour cette action est [1] après la transmission de la première information significative (conformément au sous-chapitre 15.0). Toutefois, en l'absence d'alimentation électrique, le positionnement manuel en local de l'assemblage combustible en cours de manutention dans le râtelier d'entreposage ou de la cuve du réacteur est supposé effectué [1] après la première information significative opérée en CIA.

La recherche de fuite en local réalisée dans le cadre de la conduite normale est une anticipation des actions qui seront ensuite demandées en CIA. Toutefois, le résultat de la recherche de fuite en local est valorisé [1] après l'atteinte de la première information significative [1].

[1]

1.4.2. Choix de l'aggravant

Le plan de maintenance est pris en compte dans l'analyse.

Un MDTE est pris en compte à l'instant initial (conformément à la section 15.0.3, aucun aggravant n'est cumulé lors de la prise en compte d'un MDTE). Le MDTE est jugé plus pénalisant qu'un aggravant dans la mesure où l'aggravant est sans effet sur les systèmes valorisés.

Le démarrage préventif de la troisième file PTR lors des travaux de maintenance est pris en compte pour l'étude (en état A).

1.5. ANALYSE – ÉTATS A À D ET F

1.5.1. FUITE SUR UNE TUYAUTERIE DU CIRCUIT DE PURIFICATION DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE

Les lignes de vidange du circuit de purification du BK permettent la purification ainsi que le transfert d'eau entre les compartiments transfert BK et la fosse de chargement. Une fuite non isolable sur une ligne de vidange BK a des conséquences sur le combustible entreposé ou en cours de manutention dans chaque état de tranche.

La fosse de chargement et le compartiment de transfert BK n'étant jamais simultanément remplis, les conséquences d'une fuite sur une ligne de vidange de ces compartiments sont étudiées séparément.

1.5.1.1. Fuite sur la ligne de vidange de la fosse de chargement

La fosse de chargement peut être en eau dans tous les états de tranche sauf en état E. Lorsque la piscine de désactivation est en communication avec la fosse de chargement, la porte entre la piscine de désactivation et le compartiment de transfert BK est fermée et le batardeau BK est posé (faisant office de double isolement). Le tube de transfert est isolé.

Un MDTE est appliqué au moment de l'initiateur de vidange []. Même si les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation [].

En considérant le débit de vidange de [] sur la ligne de vidange de la fosse de chargement (voir [TAB-15.2.4T.1](#)) et la surface de la piscine de désactivation (seule de façon pénalisante), le niveau piscine est alors établi [] ; l'échauffement maximum de la piscine durant le délai de perte de refroidissement suite au MDTE est respectivement [] en états A à D et [] en état F.

A l'atteinte du niveau d'entrée en CIA [], l'arrêt des manutentions combustibles est initié ainsi que le positionnement des assemblages combustibles en cours de manutention dans le râtelier de stockage. Cette action est supposée effective [] après l'entrée en CIA en l'absence d'alimentation électrique ; en considérant le débit de vidange [] et la surface de la piscine combustible en communication avec la fosse de chargement, le niveau piscine est alors [], soit au-dessus du niveau haut d'un assemblage en cours de manutention [].

L'opérateur en salle de commande demande les actions locales de fermeture de la porte pivotante entre la piscine et le compartiment en eau adjacent. Cette action opérateur en local est supposée réalisée [] après l'entrée en CIA ; en considérant le débit de vidange [] et la surface de la piscine combustible en communication avec la fosse de chargement, le niveau de la piscine combustible est alors établi [] (si la porte est initialement fermée, la fuite n'aura pas de conséquences sur la piscine de désactivation).

La recherche de fuite en local permet de détecter la tuyauterie à l'origine de la fuite [] après l'entrée en CIA []. La piscine de désactivation est isolée de ses compartiments adjacents sans perte de la réfrigération [] et sans nécessiter d'appoint en eau. En conséquence, l'état contrôlé est atteint.

Le niveau de la piscine combustible se stabilise à une hauteur supérieure [] et, avec un train principal PTR en service, la température de l'eau de la piscine combustible se stabilise respectivement à une température maximale [] en états A à D et [] en état F.

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure [] et aucun assemblage n'est découvert durant le transitoire : les critères d'études sont respectés.

1.5.1.2. Fuite sur la ligne de vidange du compartiment de transfert BK

Le compartiment de transfert BK peut être en eau dans tous les états de tranche. Lorsque la piscine de désactivation est en communication avec le compartiment de transfert BK, la porte entre la piscine de désactivation et la fosse de chargement est fermée et le batardeau BK est posé (faisant office de double isolement). Il est supposé ici que le tube de transfert est isolé (le cas où le tube de transfert est ouvert est traité aux paragraphes relatifs aux états E).

Un MDTE est appliqué au moment de l'initiateur de vidange []. Même si les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée [].

En considérant le débit de vidange de [] sur la ligne de vidange du compartiment de transfert BK (voir [TAB-15.2.4T.1](#)) et la surface de la piscine de désactivation (seule de façon pénalisante), le niveau piscine est alors établi [] ; l'échauffement maximum de la piscine durant le délai de perte de refroidissement suite au MDTE est respectivement [] en états A à D et [] en état F.

A l'atteinte du niveau d'entrée en CIA [], l'arrêt des manutentions combustibles est initié ainsi que le positionnement des assemblages combustibles en cours de manutention dans le râtelier de stockage. Cette action est supposée effective [] après l'entrée en CIA en l'absence d'alimentation électrique ; en considérant le débit de vidange [] et la surface de la piscine de désactivation en communication avec le compartiment de transfert BK, le niveau piscine est alors [], soit au-dessus du niveau haut d'un assemblage en cours de manutention [].

L'opérateur en salle de commande demande les actions locales de fermeture de la porte pivotante entre la piscine et le compartiment en eau adjacent. Cette action opérateur en local est supposée réalisée [] après l'entrée en CIA ; en considérant le débit de vidange de [] et la surface de la piscine de désactivation en communication avec le compartiment de transfert BK, le niveau de la piscine de désactivation est alors de [] (si la porte est initialement fermée, la vidange n'aura pas de conséquences sur la piscine de désactivation).

La recherche de fuite en local permet de détecter la tuyauterie à l'origine de la fuite [] après l'entrée en CIA []. La piscine de désactivation est isolée de ses compartiments adjacents sans perte de la réfrigération [] et sans nécessiter d'appoint en eau. En conséquence, l'état contrôlé est atteint.

Le niveau de la piscine combustible se stabilise à une hauteur supérieure [] et avec un train principal PTR en service, la température de l'eau de la piscine de désactivation se stabilise respectivement à une température maximale [] en états A à D et [] en état F.

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure [] et aucun assemblage n'est découvert durant le transitoire : les critères d'études sont respectés.

1.5.2. FUIE SUR UNE TUYAUTERIE SUR UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR

1.5.2.1. PRÉAMBULE

En états A à D, une maintenance peut être effectuée sur un train principal PTR ou un système support. La troisième file PTR doit alors être démarrée préventivement.

En états F, la maintenance n'est pas autorisée sur les trains principaux PTR mais peut être réalisée sur deux divisions électriques. Des interconnexions électriques sont alors préalablement installées.

Le cas d'une fuite non isolable sur un train principal PTR pendant la maintenance de l'autre train en état A n'est pas traité dans ce paragraphe, dans la mesure où il ne conduirait ni à la perte de la réfrigération de la piscine, assurée par la troisième file PTR préventivement démarrée, ni au découverture d'un assemblage en cours de manutention, la manutention combustible étant interdite lorsque la troisième file PTR est en service.

1.5.2.2. ETUDE DU TRANSITOIRE

1.5.2.2.1. Description du transitoire

En fonctionnement normal, au moins un train PTR principal est en service, une fuite non isolable à l'aspiration d'un train PTR peut se produire dans tous les états de tranche.

Un MDTE est appliqué au moment de l'initiateur de vidange []. Même si les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée [].

La fuite non isolable postulée en amont des deux organes d'isolement à l'aspiration des trains PTR génère une vidange de la piscine qui, en l'absence d'actions opérateurs, est arrêtée :

- en cas de fuite non isolable sur un train principal PTR, [] par les dispositifs casse-siphons équipant chaque tuyauterie d'aspiration des trains principaux PTR.
- en cas de fuite non isolable sur la troisième file PTR, [] par dégardage de la tuyauterie d'aspiration de la troisième file PTR.

1.5.2.2.2. Fuite non isolable sur un train principal PTR

A partir du niveau d'eau [], une perte de refroidissement est considérée compte tenu de la prise en compte du MDTE dès l'instant initial. En considérant le débit de vidange [] (voir [TAB-15.2.4T.1](#)) et la surface de la piscine de désactivation, le niveau piscine est alors établi []. [] l'échauffement maximum de la piscine durant le délai de perte de refroidissement suite au MDTE est [] en états A à D et [] en état F.

A l'atteinte du niveau d'entrée en CIA [], l'arrêt des manutentions combustibles est initié ainsi que le positionnement des assemblages combustibles en cours de manutention dans le râtelier de stockage. Cette action est supposée effective [] après l'entrée en CIA en l'absence d'alimentation électrique ; en considérant le débit de vidange [] et la surface de la piscine de désactivation (seule), le niveau piscine est alors établi [] au-dessus du niveau haut d'un assemblage en cours de manutention [].

L'opérateur en salle de commande demande les actions locales de fermeture de la porte pivotante entre la piscine et le compartiment en eau adjacent. Cette action opérateur en local est supposée réalisée [] après l'entrée en CIA. La situation où la porte pivotante est initialement fermée est pénalisante pour l'échauffement de la piscine de désactivation.

La recherche de fuite en local permet de détecter la tuyauterie à l'origine de la fuite [] après l'entrée en CIA []. En considérant le débit de vidange [] et la surface de la piscine de désactivation (seule), le niveau de la piscine combustible est [] en dessous du seuil de déclenchement [].

La fuite non isolable étant identifiée sur un train principal PTR, l'opérateur va mettre en service la troisième file PTR (l'altimétrie plus basse de l'aspiration de la troisième file PTR permet de garantir son opérabilité en cas de fuite ou brèche sur un train principal PTR).

Compte tenu de l'arrêt momentané du refroidissement [], l'échauffement qui en résulte entraîne une augmentation moyenne maximale de la température de la piscine [] qui reste inférieure aux critères d'études.

Le niveau de la piscine combustible se stabilise à la hauteur des casse-siphons [] ; l'état contrôlé est ainsi passivement atteint. Avec la troisième file PTR en service, la température de l'eau de la piscine de désactivation se stabilise à une température maximale [] garantissant l'absence d'ébullition. La

décroissance progressive de la puissance résiduelle va mener à une décroissance progressive de la température moyenne en piscine [1]. L'état sûr est atteint.

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure au critère d'étude [1] et aucun assemblage n'est découvert durant le transitoire : les critères d'études sont respectés.

1.5.2.2.3. Fuite non isolable sur la troisième file PTR

A partir du niveau d'eau [1], une perte de refroidissement est considérée compte tenu de la prise en compte du MDTE dès l'instant initial. En considérant le débit de vidange [1] (voir [TAB-15.2.4T.1](#)) et la surface de la piscine de désactivation, le niveau piscine est alors établi [1] ; l'échauffement maximum de la piscine durant le délai de perte de refroidissement suite au MDTE est [1] en dessous du critère d'ébullition.

A l'atteinte du niveau d'entrée en CIA [1], l'arrêt des manutentions combustibles est initié ainsi que le positionnement des assemblages combustibles en cours de manutention dans le râtelier de stockage. Cette action est supposée effective [1] après l'entrée en CIA en l'absence d'alimentation électrique ; en considérant le débit de vidange [1] et la surface de la piscine de désactivation (seule), le niveau piscine est [1] au-dessus du niveau haut d'un assemblage en cours de manutention [1].

L'opérateur en salle de commande demande les actions locales de fermeture de la porte pivotante entre la piscine et le compartiment en eau adjacent. Cette action opérateur en local est supposée réalisée [1] après l'entrée en CIA. La situation où la porte pivotante est initialement fermée est pénalisante pour l'échauffement de la piscine de désactivation.

La recherche de fuite en local permet de détecter la tuyauterie à l'origine de la fuite [1] après l'entrée en CIA [1]. En considérant le débit de vidange [1] et la surface de la piscine de désactivation (seule), le niveau de la piscine est alors [1] au-dessus des assemblages combustibles et compatible avec le refroidissement par au moins un train principal PTR.

La fuite non isolable étant identifiée sur la troisième file PTR, l'opérateur procède à sa mise à l'arrêt et demande l'installation du dispositif mobile d'obturation sur le train. [1].

L'opérateur procède à la mise en service de l'appoint de secours [1] ; l'état contrôlé est atteint. Le volume JAC requis pour maintenir un niveau stable ou croissant dans la piscine de désactivation est [1] compatible avec le dimensionnement du système JAC). Le niveau de la piscine stabilisé, le maintien du refroidissement par au moins un train principal PTR est assuré.

Après la pose du système mobile d'obturation sur la troisième file PTR, le niveau de la piscine combustible se stabilise à une hauteur supérieure [1]. Avec un train principal PTR en service, la température de l'eau de la piscine de désactivation se stabilise [1] à une température respectant les critères d'étude. L'état sûr est atteint.

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure au critère d'étude [1] et aucun assemblage n'est découvert durant le transitoire : les critères d'études sont respectés.

1.6. CONCLUSION – ÉTATS A À D ET F

La température moyenne finale de l'eau de la piscine combustible reste inférieure à 80°C pour les scénarios de fuite non isolables étudiés [1]. Les critères d'études sont respectés.

Le niveau piscine reste en permanence supérieur au niveau haut d'un assemblage combustible en cours de manutention [1]. Bien que le positionnement des assemblages combustibles en cours de manutention dans le râtelier de stockage ne soit pas requis au titre de l'étude, celui-ci pourra être réalisé manuellement en local en l'absence d'alimentation électrique. Aucun assemblage n'est découvert durant le transitoire.

Durant toute la durée du transitoire, le combustible en piscine est sous-critique et les rejets radioactifs restent tolérables.

Le [TAB-15.2.4T.4](#) synthétise les hypothèses et résultats de cette étude.

2. FUIITE SUR LA LIGNE DE VIDANGE DE LA PISCINE DU BR [ÉTAT E]

2.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

L'événement initiateur de l'accident est une fuite située en amont du deuxième organe d'isolement sur la ligne de vidange de la piscine BR. La fuite est donc localisée soit dans la piscine réacteur « principale », soit dans le compartiment de transfert BR. La fuite est qualifiée de non isolable dans la mesure où elle est située en amont des organes qui permettent d'arrêter la vidange de la piscine (par application de l'aggravant, l'analyse est valable pour une fuite apparaissant en amont du deuxième organe d'isolement).

La fuite de taille conventionnelle pour les tuyauteries à moyenne énergie se définit comme une fuite équivalente à une section d'ouverture $e^*D/4$, e représentant l'épaisseur de la tuyauterie et D son diamètre interne. □.

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- État E hors manutention combustible : les assemblages de combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être fermé (commande groupée non activée) ou ouvert (commande groupée activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont en service. Le 4^{ème} train RIS-RA est en stand-by. La piscine BK est, elle, refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR alors que la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine. □ ;
- État E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage de combustible est extrait de la cuve. Il transite soit dans la piscine réacteur « principale », soit dans l'un des compartiments de transfert ou dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage de combustible peut être en cours de manutention dans la piscine BK. Compte tenu du niveau de puissance résiduelle retenue, trois trains RIS-RA sont en service pour assurer le refroidissement de la piscine BR. La piscine BK est, elle, refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre BR et BK est ouvert. □.

Une fuite située sur une ligne de vidange de la piscine BR a les conséquences suivantes :

- Vidange de la piscine BR si le tube de transfert est fermé, sans élévation de la température du cœur du réacteur,
- Vidange des piscines BR et BK si le tube de transfert est ouvert, pouvant générer l'arrêt du système de refroidissement et ainsi mener à une augmentation de leurs températures.

2.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.2.1. Description de l'accident

La description des différents scénarios pouvant se dérouler est exposée ci-après. Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être initialement ouvert ou fermé. Pour ce scénario, lorsque le tube de transfert est ouvert initialement, sa fermeture au cours de la séquence accidentelle n'est pas prise en compte pour la démonstration de sûreté.

2.2.1.1. Cas « Tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

En état E, hors manutention combustible, avec la commande groupée non activée (tube de transfert initialement fermé), la fuite sur la ligne de vidange de la piscine du BR entraîne la perte de l'inventaire en eau de la piscine BR. L'inventaire en eau de la piscine de désactivation (piscine BK) n'est pas dégradé suite à l'apparition de la fuite sur la ligne de vidange de la piscine du BR, le tube de transfert étant fermé. La séquence des événements suite à l'apparition de la fuite est la suivante :

- Le MDTE cumulé à l'évènement initiateur implique la perte des systèmes de refroidissement [] pour la piscine BR. Côté BK, le train PTR initialement en service est perdu suite à l'application de l'aggravant sur un diesel principal.
- Deux trains RIS-RA sont relestés automatiquement et fonctionnent de manière efficace (le 3^{ème} train RIS-RA et le train PTR initialement en service sont affectés par l'aggravant). Côté BK, l'opérateur démarre le 2^{ème} train PTR principal manuellement ;
- [] Le signal IS « Bas niveau boucle » (Min1p) n'est jamais atteint.

2.2.1.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Dans cet état où le tube de transfert est ouvert, la fuite sur la ligne de vidange de la piscine du BR entraîne la perte de l'inventaire en eau des piscines BR et BK.

La séquence des évènements faisant suite à l'apparition de la fuite est la suivante :

- Le MDTE est appliqué au moment de l'initiateur. Même si les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement [].
- Un train PTR et deux trains RIS-RA sont relestés suite au MDTE et fonctionnent de manière efficace (le 3^{ème} train RIS-RA et le 2^{ème} train PTR principal sont affectés par l'aggravant) ;
- A l'atteinte du niveau [] dans les piscines BR et BK : isolement automatique des trains RIS-RA et perte du refroidissement de la piscine BR (La perte de refroidissement de la piscine BK interviendrait suite au déclenchement du train PTR sain []).

2.2.2. Critères d'étude

Les critères techniques d'acceptation à vérifier pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont ceux définis à la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- Maintien permanent de la sous-criticité ;
- Absence de découvrément des assemblages de combustible :
 - Non-découvrement du cœur en état E hors manutention combustible,
 - Non-dénoyage du combustible en cours de manutention [] en état E chargement-déchargement.
- Evacuation durable de la puissance résiduelle :
 - Évacuation de la puissance résiduelle BR par le système RIS-RA ;
 - Évacuation de la puissance résiduelle BK par au moins un train PTR principal ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables ;
- La mise en place d'une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST doit être assurée lorsque le primaire est entre-ouvert ou ouvert.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- Non ébullition dans la piscine BR ;
- Non ébullition dans la piscine BK ;
- Maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK []. Pour les situations PCC de vidange, le dépassement transitoire de température [] est admissible [].

2.3. MOYENS DE PROTECTIONS

En état E commande groupée non activée (état E « hors manutention combustible », tube de transfert fermé), les signaux de protection crédités sont le signal automatique d'Injection de Sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA. Dans cette configuration le signal d'IS est émis sur l'atteinte du seuil Min1p « bas niveau boucle » et le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil Min2p « très bas niveau boucle ».

En état E commande groupée activée (chargement-déchargement), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil Min1 « bas niveau piscine transfert BR » (cf. [FIG-15.2.4T.1](#)).

□

Le ou les trains principaux PTR en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil Min 4 BK « bas niveau piscine BK » □.

À l'atteinte du niveau piscine □ (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

2.4.1. Etat initial

En état E, à pression atmosphérique dans l'enceinte, la température du circuit primaire et de la piscine BR est de 59 °C (55°C + 4°C d'incertitudes). L'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La concentration initiale en bore des piscines BR et BK est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

□ et le refroidissement de la piscine de désactivation est assuré par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains principaux PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine.

□

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. Lorsqu'il est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant toute la séquence accidentelle.

L'activation des protections valorisées dans les séquences accidentelles, par rapport à la position initiale du tube de transfert sont décrites au [§ 2.3.](#)

2.4.2. Choix de l'aggravant

Compte tenu de la prise en compte du MDTE à l'instant initial du scénario, l'aggravant le plus pénalisant est la perte d'un diesel de secours principal ne démarrant pas sur sollicitation et impliquant côté BR la perte d'un train RIS-RA, d'un train ISMP et d'un train PTR coté BK.

2.4.3. Choix de la maintenance préventive

Côté piscine de désactivation, aucune maintenance préventive sur un système de sauvegarde ou un système de refroidissement n'est prise en compte dans l'étude des conditions de fonctionnement PCC en état E.

Côté BR, en état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), une maintenance est prise en compte sur un train ISMP.

En état E pour chargement-déchargement (commande groupée activée), une maintenance préventive est postulée sur une division électrique, se traduisant par l'indisponibilité d'un train ISMP et d'un train RIS-RA.

2.4.4. Hypothèses spécifiques

2.4.4.1. Puissance résiduelle

Les puissances résiduelles des piscines BR et BK sont supposées constantes sur toute la durée de la séquence accidentelle, de façon conservative.

Sur la base d'une puissance initiale de 4386 MW (102%PN), la puissance résiduelle retenue dans la piscine BR est égale à 22,07 MW en état E « hors manutention combustible » et 19,78 MW en état E « chargement-déchargement ».

La puissance résiduelle BR retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 [] ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. La puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP en service.

[] Elle est maximale juste après le déchargement du dernier assemblage combustible du réacteur. Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance de la piscine BR [] à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle, [].

2.4.4.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Trains RIS-RA :

En état « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4^{ème} train est en stand-by mais n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de ce scénario.

En état « chargement-déchargement » (commande groupée activée), trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial.

On postule la perte d'un train RIS-RA du fait de l'aggravant. Ainsi en état E deux trains RIS-RA restent disponibles pour évacuer la puissance.

GMPP :

En état E, tous les GMPP sont à l'arrêt.

IS :

L'aggravant appliqué à un diesel de secours principal (cumul MDTE) entraîne la perte d'un train ISMP. Un 2^{ème} train ISMP est indisponible du fait de la maintenance préventive. Deux trains ISMP sont donc disponibles pour gérer l'accident.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale de [] pour la démonstration de sûreté. L'analyse de la recirculation est, elle, effectuée avec le débit maximal de l'ISMP []. La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST, [].

PTR :

Le refroidissement de la piscine BK est assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé dans la piscine. Les trains PTR principaux sont refroidis par le RRI.

Aucune maintenance préventive n'est autorisée sur les trains PTR principaux en état E.

Du fait de l'aggravant pris sur un diesel de secours, un train PTR est perdu pour assurer le refroidissement de la piscine BK.

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR sont mentionnées en [A- -15.2.4T.1](#).

Vannes de fond de piscine BR :

Les trois vannes F1A de pied de compartiments (cuve, internes, transfert) sont pré-positionnées ouvertes en état E. Les deux vannes communes en aval des vannes de pied de compartiments vers l'IRWST sont fermées et assorties d'une condamnation administrative après l'activation de la commande groupée.

MDTE

Le MDTE est postulé dès l'événement initiateur conformément à la section **15.0.2**.

IRWST

Avant l'activation de la commande groupée, le volume minimal disponible dans l'IRWST est considéré de manière conservative []. Sa température initiale est la même que celle de la piscine BR, [].

Une recirculation entre l'IRWST et la piscine BR est mise en place en état E commande groupée activée, pour assurer la réalimentation constante de l'IRWST dans les situations de fuite non isolable sur une ligne de vidange de la piscine BR.

En états E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible tube de transfert ouvert » avec la commande groupée activée, la recirculation est mise en place par l'ouverture des vannes d'isolement, classées F1A, de la ligne de trop-plein compartiment cuve vers l'IRWST. La tuyauterie de la ligne de trop-plein de la piscine [], permet un débit de recirculation maximal [] lorsque celle-ci est noyée.

La démonstration de la capacité à mettre en place une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST a été faite en prenant en compte un volume de rétention conservatif [].

2.4.4.3. Autres systèmes

JAC/JPI :

En conditions PCC, l'intégralité du volume JAC/JPI ne peut être considérée dans la mesure où il est nécessaire de garantir la disponibilité d'une réserve d'eau suffisante, en cas de cumul incendie indépendant pendant la phase long terme.

[] Le débit d'injection du JAC/JPI (classé F1B) est pris à sa valeur minimale []. Le JAC peut être nécessaire pour remonter le niveau de la piscine BK [] afin de remettre en service les trains PTR principaux.

Casse-siphons :

Les tuyauteries connectées à la piscine de désactivation sont équipées de dispositifs passifs permettant l'arrêt de la vidange.

Les altimétries de désamorçage des casse-siphons sur les trains PTR principaux sont situées [] à l'aspiration, et [] au refoulement.

Le circuit de purification des compartiments transfert BK et fosse de chargement (lignes de vidange BK) portent des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées [] à l'aspiration et au refoulement.

Le circuit de purification du BR porte des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées au niveau du refoulement.

Ces altimétries de désamorçage garantissent l'arrêt de la vidange due à une fuite sur une tuyauterie connectée à la piscine de désactivation lorsqu'elles sont franchies.

Porte pivotante BK :

La porte pivotante BK placée entre le compartiment de transfert BK et la piscine de désactivation peut être manœuvrée en état E commande groupée activée et tube de transfert ouvert. Sa fermeture dès l'atteinte du seuil d'isolement des trains RIS-RA sur « bas niveau piscine transfert BR » est pénalisante dans la mesure où elle conduit l'opérateur à détecter une baisse de niveau de la piscine BR lors du T.I.P. ce qui allonge la durée de perte de refroidissement de la piscine BR.

Sans fermeture de la porte pivotante, le débit de fuite est trop faible pour obtenir une baisse de niveau suffisante pour être observée lors du T.I.P. et l'opérateur maintient en service le premier train RIS-RA testé. La perte de refroidissement côté BR ne dure alors que le temps de dés-isoler le premier train RIS-RA testé après les premières actions opérateur. Du côté de la piscine BK, l'instant de fermeture de la porte pivotante n'impacte pas la durée de perte de refroidissement, .

2.5. ANALYSE – ETAT E

2.5.1. Cas « tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

Le tube de transfert étant fermé, les piscines BR et BK sont totalement découplées.

La séquence des événements de cet accident est exposée au [§ 2.2.1.1.](#)

Côté BK, il n'y a pas de perte d'inventaire en eau et, suite à la perte du train PTR initialement en service (aggravant), l'opérateur mettra en service le second train PTR pour évacuer la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Il n'y a donc pas de découvrément du combustible. Le signal IS sur « Bas niveau boucle » (Min1p) n'est donc pas atteint, tout comme le signal d'arrêt des trains RIS-RA sur « très bas niveau boucle » (Min2p) qui restent donc en service en mode RA après leur retestage consécutif au MDTE. Le refroidissement de la piscine BR n'est donc perdu que le temps du retestage automatique des trains RIS-RA, . L'évacuation de la puissance résiduelle est donc assurée côté BR. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Le maintien de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale des piscines BR supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement et de l'absence d'apport d'eau claire.

Les rejets radiologiques restent tolérables car aucun découvrément du cœur n'est observé.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) est respecté.

2.5.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (état E pour chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Suite au MDTE postulé au moment de l'initiateur de vidange, les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux. Il est toutefois considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée . Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement .

La séquence des événements est présentée dans le [TAB-15.2.4T.2.](#)

. Dans ce scénario, il est supposé que l'opérateur ferme la porte pivotante BK dès cet instant, ce qui est pénalisant vis-à-vis de l'échauffement de la piscine BR.

Le niveau de la piscine de désactivation cesse alors d'évoluer et reste stable [] pendant toute la suite de l'accident []. La recherche de fuite en local côté BK, initiée dès la première alarme [] permet de détecter la fuite []. Aucune autre action opérateur n'est prise en compte entre l'apparition de la fuite et 30 min après le signal consécutif à l'atteinte du niveau piscine [].

La piscine BR se vidange jusqu'à la mise en service d'une pompe ISMP par l'opérateur compte tenu du fait que la fuite est non-isolable. La baisse de niveau de la piscine BK s'arrête quant à elle suite à la fermeture de la porte pivotante BK.

Suite à la perte d'un train RIS-RA en mode RA (aggravant) dès l'instant initial, deux trains restent disponibles pour évacuer la puissance du primaire. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire [] jusqu'à leur isolement automatique sur « bas niveau piscine transfert BR ». En effet, la perte d'inventaire en eau à la brèche (non isolée) est compensée [].

[]

Dans cette situation, l'opérateur procède à la réalisation du T.I.P. (par dés-isolement séquentiel des trains RIS-RA), en parallèle de la recherche de fuite en local, permettant de déclarer le primaire non intègre ou d'identifier le train RIS-RA portant la fuite.

L'opérateur teste un premier train RIS-RA sain ce qui permet de restaurer l'évacuation de la puissance résiduelle dès la fin du dés-isolement de ce train. Du fait de la fermeture de la porte pivotante BK, le débit de fuite [] est suffisant pour observer une baisse de niveau de la piscine BR. L'opérateur isole donc le train RIS-RA connecté et le considère comme potentiellement non intègre. L'opérateur teste alors le second train et observe que le niveau piscine continue de baisser. Dans la mesure où aucune brèche sur un train RIS-RA n'a été détectée et que la recherche de fuite en local n'a pas détecté de brèche, l'opérateur considère alors le primaire comme non intègre. Il remet alors en service tous les trains RIS-RA disponibles. L'opérateur met alors en place une recirculation entre l'IRWST et la piscine BR via la ligne de trop plein.

[] Le critère de sûreté relatif au non-dénoyage des assemblages en manutention [] est donc respecté. Le niveau minimal de la piscine BR est donc atteint après la mise en place de la recirculation et correspond au niveau de la génératrice inférieure de la ligne de trop plein [].

Côté BK, la température moyenne augmente suite au MDTE et avant le redémarrage du train PTR principal disponible. [] Cette température permet de garantir des marges satisfaisantes vis-à-vis de l'ébullition de la piscine BK et reste inférieure à la température limite []. [].

Côté BR, concernant les critères de température, l'état E « hors manutention combustible » est enveloppe de l'état « chargement-déchargement » puisque la puissance résiduelle en état E « hors manutention combustible » est plus élevée. []. Les températures maximales atteintes permettent de garantir des marges satisfaisantes vis-à-vis de l'ébullition de la piscine BR et restent donc inférieures à la température limite [].

A la suite du T.I.P., deux trains RIS-RA sains sont en service en mode RA. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire []. En effet, la recirculation IRWST est disponible pour effectuer l'appoint en eau et compenser la perte d'inventaire en eau à la brèche (non isolée). [].

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale de la piscine BR (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement) et de l'injection ISMP qui compense la fuite. Côté BK, le maintien de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages au cours de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. est respecté.

En effet :

- Le niveau piscine BR minimum atteint avant mise en place de la recirculation permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention. Par la suite, le démarrage d'une pompe ISMP par l'opérateur et la mise en œuvre de la recirculation piscine BR/IRWST par la ligne de trop plein permettent de maintenir l'inventaire en eau et de garantir le non-dénoyage des assemblages à long terme ;
- Le niveau piscine BK minimum atteint permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention
- En fin de T. I. P., deux trains RIS-RA en mode RA sont en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire ;
- Au moins un train PTR est disponible pour refroidir la piscine de désactivation ;
- Les températures moyennes maximales atteintes au cours du scénario restent inférieures à la température limite autorisée ;
- La sous-criticité des piscines BR et BK est assurée ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables (pas de dénoyage des assemblages et pas d'ébullition dans les piscines) ;
- La recirculation entre la piscine BR et l'IRWST est bien mise en place.

L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

2.6. CONCLUSION

L'étude de la fuite non isolable sur une ligne de vidange de la piscine du BR en état E montre que malgré l'aggravant le plus pénalisant sur un diesel de secours, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint grâce aux actions de mitigations suivantes :

- Le démarrage d'une pompe ISMP par l'opérateur et la mise en œuvre de la recirculation piscine BR/IRWST par la ligne de trop plein en état E « chargement-déchargement » (commande groupée activée) pour maintenir l'inventaire en eau et garantir le non-découvrement des assemblages coté BR ;
- La fermeture de la porte pivotante BK pour mettre fin à la baisse de niveau de la piscine BK en état E commande groupée activée et tube de transfert ouvert ;
- Deux trains RIS-RA en mode RA restent en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire,
- Un train PTR principal est disponible pour refroidir la piscine de désactivation.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation est respecté :

- L'absence de dénoyage des assemblages de combustible assure que les rejets radiologiques restent tolérables ;
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti (appoint en eau effectué par l'IS côté BR et par conception des râteliers de stockage pour la piscine BK) ;
- .

3. FUIE SUR LA LIGNE DE VIDANGE DU COMPARTIMENT DE TRANSFERT BK [ÉTAT E]

3.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

L'événement initiateur de l'accident est une fuite située en amont du deuxième organe d'isolement sur la ligne de vidange du compartiment de transfert BK. La fuite est qualifiée de non isolable dans la mesure où elle est située en amont des organes qui permettent d'arrêter la vidange de la piscine (par

application de l'aggravant, l'analyse est valable pour une fuite apparaissant en amont du deuxième organe d'isolement).

La fuite de taille conventionnelle pour les tuyauteries à moyenne énergie se définit comme une fuite équivalente à une section d'ouverture $e^*D/4$, e représentant l'épaisseur de la tuyauterie et D son diamètre interne. [].

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- État E hors manutention combustible : les assemblages de combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être fermé (commande groupée non activée) ou ouvert (commande groupée activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont en service. Le 4^{ème} train RIS-RA est en stand-by. La piscine BK est, elle, refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR alors que la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine. [];
- État E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage de combustible est extrait de la cuve. Il transite soit dans la piscine réacteur « principale », soit dans l'un des compartiments de transfert ou dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage de combustible peut être en cours de manutention dans la piscine BK. Compte tenu du niveau de puissance résiduelle retenue, trois trains RIS-RA sont en service pour assurer le refroidissement de la piscine BR. La piscine BK est, elle, refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre BR et BK est ouvert. [].

Une fuite située sur une ligne de vidange du compartiment de transfert BK a les conséquences suivantes :

- Vidange des piscines BR et BK pouvant générer l'arrêt du système de refroidissement et ainsi mener à une augmentation de leurs températures.

3.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

3.2.1. Description de l'accident

La description des différents scénarios pouvant se dérouler est exposée ci-après. Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être initialement ouvert ou fermé. Pour ce scénario, la fermeture du tube de transfert au cours de la séquence accidentelle n'est pas prise en compte pour la démonstration de sûreté.

3.2.1.1. Cas « Tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

La fuite sur la ligne de vidange du compartiment de transfert BK n'affecte pas le refroidissement de la piscine BR, le tube de transfert étant fermé.

Si le compartiment de transfert et la piscine de désactivation sont connectés (porte pivotante ouverte et batardeau BK non posé côté compartiment de transfert), la fuite peut induire une vidange et une perte de refroidissement de cette dernière. L'impact sur le refroidissement de la piscine BK lorsque le tube de transfert est initialement fermé est couvert par l'étude de la fuite sur la ligne de vidange du compartiment de transfert BK en état F avec le tube de transfert initialement fermé.

3.2.1.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Dans cet état où le tube de transfert est ouvert, la fuite sur la ligne de vidange du compartiment de transfert BK entraîne la perte de l'inventaire en eau des piscines BR et BK.

La séquence des évènements faisant suite à l'apparition de la fuite est :

- Le MDTE est appliqué au moment de l'initiateur. Même si les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement [].
- Les deux trains PTR et trois trains RIS-RA sont relestés suite au MDTE et fonctionnent de manière efficace ;
- A l'atteinte du niveau [] dans les piscines BR et BK : isolement automatique des trains RIS-RA et perte du refroidissement de la piscine BR. La perte de refroidissement de la piscine BK intervient suite au déclenchement des trains PTR lors du passage du niveau d'eau dans la piscine BK [].

3.2.2. Critères d'étude

Les critères techniques d'acceptation à vérifier pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont ceux définis à la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- Maintien permanent de la sous-criticité ;
- Absence de découverture des assemblages de combustible :
 - Non-découvrement du cœur en état E hors manutention combustible,
 - Non-dénoyage du combustible en cours de manutention [] en état E chargement-déchargement.
- Evacuation durable de la puissance résiduelle :
 - Évacuation de la puissance résiduelle BR par le système RIS-RA ;
 - Évacuation de la puissance résiduelle BK par au moins un train PTR principal ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- Non ébullition dans la piscine BR ;
- Non ébullition dans la piscine BK ;
- Maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK []. Pour les situations PCC de vidange, le dépassement transitoire de température [] est admissible [].

3.3. MOYENS DE PROTECTIONS

En état E commande groupée non activée (état E « hors manutention combustible », tube de transfert fermé), les signaux de protection crédités sont le signal automatique d'Injection de Sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA. Dans cette configuration le signal d'IS est émis sur l'atteinte du seuil Min1p « bas niveau boucle » et le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil Min2p « très bas niveau boucle ».

En état E commande groupée activée (chargement-déchargement), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil Min1 « bas niveau piscine transfert BR » (cf. [FIG-15.2.4T.1](#)).

[]

Le ou les trains principaux PTR en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil Min 4 BK « bas niveau piscine BK » [].

À l'atteinte du niveau piscine □ (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

3.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

3.4.1. Etat initial

□ L'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La concentration initiale en bore des piscines BR et BK est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

□ et le refroidissement de la piscine de désactivation est assuré par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains principaux PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine.

□

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. Lorsqu'il est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant toute la séquence accidentelle.

3.4.2. Choix de l'aggravant

Conformément aux règles d'étude relatives aux initiateurs situés côté BK (section 15.0.3), un aggravant ou un MDTE à l'instant initial sont à considérer pour la présente étude.

Sans MDTE, aucun aggravant n'est pertinent pour cet accident. Le MDTE implique une perte temporaire des moyens de refroidissement BR et BK, ce qui est pénalisant par rapport aux critères d'étude à respecter. C'est donc le cas avec MDTE qui est étudié. Aucun aggravant n'est par conséquent pris en compte.

3.4.3. Choix de la maintenance préventive

Côté piscine de désactivation, aucune maintenance préventive sur un système de sauvegarde ou un système de refroidissement n'est à prendre en compte dans l'étude des conditions de fonctionnement PCC en état E.

Côté BR, en état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), une maintenance est prise en compte sur un train ISMP.

En état E pour chargement-déchargement (commande groupée activée), une maintenance préventive est postulée sur une division électrique, se traduisant par l'indisponibilité d'un train ISMP et d'un train RIS-RA.

3.4.4. Hypothèses spécifiques

3.4.4.1. Puissance résiduelle

Les puissances résiduelles des piscines BR et BK sont supposées constantes sur toute la durée de la séquence accidentelle, de façon conservative.

□

La puissance résiduelle BR retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 □ ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. La puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP en service.

□ Elle est maximale juste après le déchargement du dernier assemblage combustible du réacteur. Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance de la piscine BR □ à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle, □.

3.4.4.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Trains RIS-RA :

En état « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4^{ème} train est en stand-by mais n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de ce scénario.

En état « chargement-déchargement » (commande groupée activée), trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial.

GMPP :

En état E, tous les GMPP sont à l'arrêt.

IS :

Un train ISMP est indisponible suite à la maintenance. Trois trains ISMP sont donc disponibles pour gérer l'accident.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale □ pour la démonstration de sûreté. La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST, □.

PTR :

Le refroidissement de la piscine BK est assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé dans la piscine. Les trains PTR principaux sont refroidis par le RRI.

Aucune maintenance préventive n'est autorisée sur les trains PTR principaux en état E.

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR sont mentionnées en [A- -15.2.4T.1](#).

Vannes de fond de piscine BR :

Les trois vannes F1A de pied de compartiment (cuve, internes, transfert) sont pré-positionnées ouvertes en état E. Les deux vannes communes en aval des vannes de pied de compartiments vers l'IRWST sont fermées et assorties d'une condamnation administrative après l'activation de la commande groupée.

MDTE

Le MDTE est postulé dès l'événement initiateur conformément à la section **15.0.3**.

IRWST

Avant l'activation de la commande groupée, le volume minimal disponible dans l'IRWST est considéré de manière conservative □. □ Sa température initiale est la même que celle de la piscine BR, □.

3.4.4.3. Autres systèmes

JAC/JPI :

En conditions PCC, l'intégralité du volume JAC/JPI ne peut être considérée dans la mesure où il est nécessaire de garantir la disponibilité d'une réserve d'eau suffisante, en cas de cumul incendie indépendant pendant la phase long terme. [] Le débit d'injection du JAC/JPI (classé F1B) est pris à sa valeur minimale []. Le JAC peut être nécessaire pour remonter le niveau de la piscine BK [] afin de remettre en service les trains PTR principaux.

Casse-siphons :

Les tuyauteries connectées à la piscine de désactivation sont équipées de dispositifs passifs permettant l'arrêt de la vidange.

Les altimétries de désamorçage des casse-siphons sur les trains PTR principaux sont situées [] à l'aspiration, et [] au refoulement.

Le circuit de purification des compartiments transfert BK et fosse de chargement (lignes de vidange BK) portent des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées [] à l'aspiration et au refoulement.

Le circuit de purification du BR porte des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées [] au niveau du refoulement.

Ces altimétries de désamorçage garantissent l'arrêt de la vidange due à une fuite sur une tuyauterie connectée à la piscine de désactivation lorsqu'elles sont franchies.

Porte pivotante BK :

La porte pivotante BK placée entre le compartiment de transfert BK et la piscine de désactivation peut être manœuvrée. En état E commande groupée activée et tube de transfert ouvert, sa fermeture dès l'atteinte du seuil d'isolement des trains RIS-RA sur « bas niveau piscine transfert BR » est pénalisante (coté BR) dans la mesure où elle conduit l'opérateur à détecter une baisse de niveau de la piscine BR lors du T.I.P. ce qui allonge la durée de perte de refroidissement de la piscine BR.

Sans fermeture de la porte pivotante, le débit de fuite est trop faible pour obtenir une baisse de niveau suffisante pour être observée lors du T.I.P. et l'opérateur maintient en service le premier train RIS-RA testé. La perte de refroidissement côté BR ne dure alors que [] le temps de dés-isoler le premier train RIS-RA après les premières actions opérateur.

Du côté de la piscine BK, l'instant de fermeture de la porte pivotante n'impacte pas la durée de perte de refroidissement [].

En ce qui concerne l'assemblage combustible en cours de manutention, la fermeture de la porte pivotante dès l'atteinte du seuil d'isolement des trains RIS-RA est pénalisante car elle accélère la vidange de la piscine BR et réduit donc la marge au non-découvrement lors de l'affalage manuel [] côté BR. Côté piscine BK, le niveau étant toujours supérieur au égal à celui de la piscine BR, le non-découvrement lors de l'affalage manuel est également couvert par cette hypothèse.

3.5. ANALYSE – ETAT E

3.5.1. Cas « tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

L'impact sur le refroidissement de la piscine BR d'une brèche sur une ligne de vidange du compartiment de transfert BK lorsque le tube de transfert est fermé est négligeable.

L'impact sur le refroidissement de la piscine BK lorsque le tube de transfert est initialement fermé est couvert par l'étude de la fuite sur la ligne de vidange du compartiment de transfert BK en état F avec le tube de transfert initialement fermé.

3.5.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (état E pour chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Suite au MDTE postulé au moment de l'initiateur de vidange, les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux. Il est toutefois considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée [1]. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement [1].

La séquence des événements est présentée dans le [TAB-15.2.4T.2](#).

Le premier signal significatif permettant l'entrée en CIA est l'atteinte d'un niveau piscine [1]. Dans ce scénario, il est supposé que l'opérateur ferme la porte pivotante BK dès cet instant, ce qui est pénalisant vis-à-vis de l'échauffement de la piscine BR.

Le niveau de la piscine de désactivation cesse alors d'évoluer et reste stable [1] pendant toute la suite de l'accident [1]. Ainsi, le niveau dans la piscine de désactivation reste supérieur au niveau minimum assurant le fonctionnement des trains PTR principaux [1]. La recherche de fuite en local, initiée dès la première alarme [1], permet de détecter la fuite [1]. Aucune autre action opérateur n'est prise en compte entre l'apparition de la fuite et 30 min après le signal consécutif à l'atteinte du niveau piscine [1].

Trois trains RIS-RA maintiennent la température du primaire [1] jusqu'à leur isolement automatique sur « bas niveau piscine transfert BR » [1].

[1]

Dans cette situation, l'opérateur procède à la réalisation du T.I.P. (par dés-isolement séquentiel des trains RIS-RA), en parallèle de la recherche de fuite en local, permettant de déclarer le primaire non intègre ou d'identifier le train RIS-RA portant la fuite.

L'opérateur lance le T.I.P. sur des trains RIS-RA sains ce qui permet de restaurer l'évacuation de la puissance résiduelle dès la fin du dés-isolement du train testé. Du fait de la fermeture de la porte pivotante BK, le débit de fuite [1] est suffisant pour observer une baisse de niveau significative de la piscine BR. L'opérateur isole donc le train RIS-RA connecté et le considère comme potentiellement non intègre. L'opérateur teste alors le second train et observe que le niveau piscine continue de baisser. Dans la mesure où aucune brèche sur un train RIS-RA n'a été détectée l'opérateur remet en service tous les trains RIS-RA disponibles.

En parallèle de la réalisation du T.I.P., la recherche de fuite en local permet de situer la fuite [1] sur la ligne de vidange du compartiment de transfert BK. Par conséquent, à la fin du T. I. P. aucune recirculation entre l'IRWST et la piscine BR n'est mise en place.

L'affalage manuel de l'assemblage combustible en cours de manutention est terminé [1] après le premier signal significatif. [1] Le critère de sûreté relatif au non-dénoyage des assemblages en manutention dans la piscine BK ou BR [1] est donc respecté.

Côté BK, la température moyenne augmente suite au MDTE et avant le redémarrage des trains PTR principaux. A long terme, la fuite peut entraîner la perte du train PTR n°2 par inondation dans le BK. Par conséquent, bien que les deux trains PTR soient redémarrés [1] après le MDTE, il est considéré que seul le train PTR n°1 refroidit la piscine de désactivation. [1] Cette température permet de garantir des marges satisfaisantes vis-à-vis de l'ébullition de la piscine BK et reste inférieure à la température limite [1]. [1]

Côté BR, concernant les critères de température, l'état E « hors manutention combustible » est enveloppe de l'état « chargement-déchargement » puisque la puissance résiduelle en état E « hors manutention combustible » est plus élevée. [1] Les températures maximales atteintes permettent de garantir des marges satisfaisantes vis-à-vis de l'ébullition de la piscine BR et restent donc inférieures à la température limite [1].

A la suite du T.I.P., trois trains RIS-RA sont en service en mode RA. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire [] [].

La vidange de la piscine BR « principale » est interrompue par la présence du muret du compartiment de transfert BR à une hauteur []. Le compartiment transfert BK se vide entièrement tandis que le compartiment transfert BR se vidange jusqu'à la hauteur du tube de transfert.

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale de la piscine BR (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement). Côté BK, le maintien de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages au cours de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. est respecté. En effet :

- [] Par la suite, une fois l'affalage combustible réalisé, le muret du compartiment de transfert BR permet de stabiliser le niveau piscine BR [], assurant ainsi le non-dénoyage des assemblages à long terme ;
- En fin de T.I.P., trois trains RIS-RA en mode RA sont en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire [] ;
- Au moins un train PTR est disponible pour refroidir la piscine de désactivation [] ;
- Les températures moyennes maximales atteintes au cours du scénario restent inférieures à la température limite autorisée ;
- La sous-criticité des piscines BR et BK est assurée ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables (pas de dénoyage des assemblages et pas d'ébullition dans les piscines).

L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

3.6. CONCLUSION – ETAT E

L'étude de la fuite non isolable sur une ligne de vidange du compartiment de transfert BK en état E montre que l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 3.2.2. est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint grâce aux dispositions et actions de mitigation suivantes :

- L'affalage manuel de l'assemblage combustible en cours de manutention ;
- La fermeture de la porte pivotante du compartiment de transfert BK pour mettre fin à la baisse de niveau, maintenir l'inventaire en eau et garantir le non-découvrement des assemblages côté BK ;
- La présence du muret [] dans le compartiment de transfert BR permet de maintenir l'inventaire en eau et garantir le non-découvrement des assemblages côté BR, une fois l'affalage combustible effectué ;
- Trois trains RIS-RA en mode RA restent en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire en état E,
- Un train PTR principal est disponible pour refroidir la piscine de désactivation.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation est respecté :

- L'absence de dénoyage des assemblages de combustible assure que les rejets radiologiques restent tolérables ;
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti (concentration initiale en bore côté BR et par conception des râteliers de stockage pour la piscine BK) ;
- Pour l'état E commande groupée activée, [].

4. FUIITE A L'ASPIRATION D'UN TRAIN PTR PRINCIPAL [ÉTAT E]

4.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

L'événement initiateur de l'accident est une fuite située en amont du deuxième organe d'isolement à l'aspiration sur un train PTR principal. La fuite est qualifiée de non isolable dans la mesure où elle est située en amont des organes qui permettent d'arrêter la vidange de la piscine (par application de l'aggravant, l'analyse est valable pour une fuite apparaissant en amont du deuxième organe d'isolement).

La fuite de taille conventionnelle pour les tuyauteries à moyenne énergie se définit comme une fuite équivalente à une section d'ouverture $e^*D/4$, e représentant l'épaisseur de la tuyauterie et D son diamètre interne. [1].

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- État E hors manutention combustible : les assemblages de combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être ouvert (commande groupée activée) ou fermé (commande groupée non activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont en service. Le 4^{ème} train RIS-RA est en stand-by. La piscine BK est, elle, refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR alors que la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine. [1];
- État E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage de combustible est extrait de la cuve. Il transite soit dans la piscine réacteur « principale », soit dans l'un des compartiments de transfert ou dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage de combustible peut être en cours de manutention dans la piscine BK. Compte tenu du niveau de puissance résiduelle retenue, trois trains RIS-RA sont en service pour assurer le refroidissement de la piscine BR. La piscine BK est, elle, refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre BR et BK est ouvert. [1].

Une fuite située sur un train PTR principal a la conséquence suivante :

- Vidange des piscines BR et BK pouvant générer l'arrêt du système de refroidissement et ainsi mener à une augmentation de leurs températures.

4.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

4.2.1. Description de l'accident

La description des différents scénarios pouvant se dérouler est exposée ci-après. Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être initialement ouvert ou fermé. Pour ce scénario, lorsque le tube de transfert est ouvert initialement, sa fermeture au cours de la séquence accidentelle n'est pas prise en compte pour la démonstration de sûreté.

4.2.1.1. Cas « Tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

En état E, hors manutention combustible, avec la commande groupée non activée (tube de transfert initialement fermé), la fuite à l'aspiration d'un train PTR principal entraîne la perte de l'inventaire en eau de la piscine de désactivation (piscine BK). L'inventaire en eau de la piscine BR n'est pas dégradé suite à l'apparition de la fuite à l'aspiration d'un train PTR principal, le tube de transfert étant fermé. La séquence des événements suite à l'apparition de la fuite est la suivante :

- Le MDTE est appliqué au moment de l'initiateur. Même si le train PTR initialement en service est retesté automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel du train PTR principal et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée [1]. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de

refroidissement . Trois trains RIS-RA sont relestés automatiquement et fonctionnent de manière efficace ;

- A l'atteinte du niveau dans la piscine BK : perte de refroidissement de la piscine BK suite au déclenchement des trains PTR ;
- En l'absence d'isolement de la fuite et d'appoint, la baisse de niveau de la piscine BK s'interrompt à la hauteur des casse-siphons de l'aspiration des trains principaux PTR.

4.2.1.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Dans cet état où le tube de transfert est ouvert, la fuite à l'aspiration d'un train PTR principal entraîne la perte de l'inventaire en eau des piscines BR et BK.

La séquence des évènements faisant suite à l'apparition de la fuite est :

- Le MDTE est appliqué au moment de l'initiateur. Même si les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR principaux et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée . Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement .
- Les deux trains PTR et trois trains RIS-RA sont relestés suite au MDTE. Les trois trains RIS-RA et un train PTR principal fonctionnent de manière efficace (le train PTR principal affecté par la fuite est supposé perdu) ;
- A l'atteinte du niveau dans les piscines BR et BK : isolement automatique des trains RIS-RA et perte de refroidissement de la piscine BR. La perte de refroidissement de la piscine BK intervient suite au déclenchement des trains PTR lors du passage du niveau d'eau dans la piscine BK en-dessous de ;
- En l'absence d'isolement de la fuite et d'appoint, la baisse de niveau de la piscine BK s'interrompt à la hauteur des casse-siphons de l'aspiration des trains principaux PTR.

4.2.2. Critères d'étude

Les critères techniques d'acceptation à vérifier pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont ceux définis à la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- Maintien permanent de la sous-criticité ;
- Absence de découverture des assemblages de combustible :
 - Non-découvrement du cœur en état E hors manutention combustible,
 - Non-dénoyage du combustible en cours de manutention en état E chargement-déchargement.
- Evacuation durable de la puissance résiduelle :
 - Evacuation de la puissance résiduelle BR par le système RIS-RA ;
 - Evacuation de la puissance résiduelle BK par au moins un train PTR principal ;

Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- Non ébullition dans la piscine BR ;
- Non ébullition dans la piscine BK ;

- Maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK []. Pour les situations PCC de vidange, le dépassement transitoire de température [] est admissible [].

4.3. MOYENS DE PROTECTIONS

En état E commande groupée non activée (état E « hors manutention combustible », tube de transfert fermé), les signaux de protection crédités sont le signal automatique d'Injection de Sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA. Dans cette configuration le signal d'IS est émis sur l'atteinte du seuil MIN1p « bas niveau boucle » et le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil MIN2p « très bas niveau boucle ».

En état E commande groupée activée (tube de transfert initialement ouvert), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil MIN1 « bas niveau piscine transfert BR » (cf. [FIG-15.2.4T.1](#)).

[]

Le ou les trains principaux PTR en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil MIN4 BK « bas niveau piscine BK » [].

A l'atteinte du niveau piscine [] (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

4.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

4.4.1. Etat initial

[] L'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La concentration initiale en bore des piscines BR et BK est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

[] le refroidissement de la piscine de désactivation est assuré par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains principaux PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine.

[]

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. Lorsqu'il est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant toute la séquence accidentelle.

L'activation des protections valorisées dans les séquences accidentelles, par rapport à la position initiale du tube de transfert sont décrites dans le [§ 4.3.](#)

4.4.2. Choix de l'aggravant

Conformément aux règles d'étude relatives aux initiateurs situés côté BK (section 15.0.3), soit un aggravant soit un MDTE à l'instant initial est à considérer pour la présente étude.

Sans MDTE, aucun aggravant n'est pertinent pour cet accident. Le MDTE implique une perte temporaire des moyens de refroidissement BR et BK, ce qui est pénalisant par rapport aux critères d'étude à respecter. C'est donc le cas avec MDTE qui est étudié.

4.4.3. Choix de la maintenance préventive

Coté piscine de désactivation, aucune maintenance préventive sur un système de sauvegarde ou un système de refroidissement n'est à prendre en compte dans l'étude des conditions de fonctionnement PCC en état E.

Côté BR, en état E « hors manutention combustible » commande groupée non activée (tube de transfert fermé), une maintenance est prise en compte sur un train ISMP. En état E « hors manutention combustible » et « chargement-déchargement » commande groupée activée (tube de transfert ouvert), une maintenance préventive est postulée sur une division électrique, se traduisant par l'indisponibilité d'un train ISMP et d'un train RIS-RA.

4.4.4. Hypothèses spécifiques

4.4.4.1. Puissance résiduelle

La puissance résiduelle de la piscine BR est supposée constante sur toute la durée de la séquence accidentelle, de façon conservative.

□

La puissance résiduelle BR retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 □ ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. La puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP en service.

□ La puissance résiduelle retenue dans la piscine BK est prise décroissante au cours de l'accident (cf. [TAB-15.2.4T.3](#)). Elle est maximale juste après le déchargement du dernier assemblage combustible du réacteur. Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance de la piscine BR □ à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle, □.

4.4.4.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Trains RIS-RA :

En état « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4^{ème} train est en stand-by mais n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de ce scénario.

En état E commande groupée activée (« hors manutention combustible » et « chargement-déchargement », tube de transfert ouvert) trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial.

GMPP :

En état E, tous les GMPP sont à l'arrêt.

IS :

Un train ISMP est indisponible suite à la maintenance. Trois trains ISMP sont donc disponibles pour gérer l'accident.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale □ pour la démonstration de sûreté. La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST, □.

PTR :

Le refroidissement de la piscine BK est assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé dans la piscine. Les trains PTR principaux sont refroidis par le RRI.

La troisième file PTR, refroidie par EVU intermédiaire, est valorisée après son démarrage par l'opérateur suite à la perte des trains PTR principaux.

Aucune maintenance préventive n'est autorisée sur les trains PTR principaux en état E. Il est supposé que le train PTR principal affecté par la fuite est perdu et n'évacue donc plus la puissance résiduelle côté BK. Un seul train PTR principal est donc disponible pour assurer le refroidissement de la piscine BK.

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR principal et de la troisième file PTR sont mentionnées en [A- -15.2.4T.1](#).

Vannes de fond de piscine BR :

Les trois vannes F1A de pied de compartiments (cuve, internes, transfert) sont pré-positionnées ouvertes en état E. Les deux vannes communes en aval des vannes de pied de compartiments vers l'IRWST sont fermées et assorties d'une condamnation administrative après l'activation de la commande groupée.

MDTE

Le MDTE est postulé dès l'événement initiateur conformément à la section **15.0.3**.

IRWST

Avant l'activation de la commande groupée, le volume minimal disponible dans l'IRWST est considéré de manière conservatrice . Sa température initiale est la même que celle de la piscine BR, .

4.4.4.3. Autres systèmes

JAC/JPI :

En conditions PCC, l'intégralité du volume JAC/JPI ne peut être considérée dans la mesure où il est nécessaire de garantir la disponibilité d'une réserve d'eau suffisante, en cas de cumul avec un incendie indépendant pendant la phase long terme. Le débit d'injection du JAC/JPI (classé F1B) est pris à sa valeur minimale . Le JAC peut être nécessaire pour remonter le niveau de la piscine BK afin de remettre en service les trains PTR principaux.

Casse-siphons :

Les tuyauteries connectées à la piscine de désactivation sont équipées de dispositifs passifs permettant l'arrêt de la vidange.

Les altimétries de désamorçage des casse-siphons sur les trains PTR principaux sont situées à l'aspiration, et au refoulement.

Le circuit de purification des compartiments transfert BK et fosse de chargement (lignes de vidange BK) portent des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées à l'aspiration et au refoulement.

Le circuit de purification du BR porte des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées au niveau du refoulement.

Pour l'initiateur étudié ici, le franchissement de l'altimétrie de désamorçage de interrompt la vidange due à une fuite.

Porte pivotante BK :

La porte pivotante BK placée entre le compartiment de transfert BK et la piscine de désactivation peut être manœuvrée. En état E commande groupée activée et tube de transfert ouvert le refroidissement de la piscine BR est récupéré à l'instant de fermeture de la porte pivotante après le premier signal significatif et la vidange est arrêtée à la hauteur des casse-siphons de l'aspiration des trains principaux PTR. Par conséquent, les critères de température et de non dénoyage de l'assemblage en

cours de manutention sont respectés. En revanche, la fermeture de la porte pivotante pénalise la température de la piscine BK. Deux cas sont étudiés en fonction de l'instant de la fermeture de la porte pivotante BK.

Le premier cas à considérer prend en compte la fermeture anticipée de la porte pivotante BK [] ce qui est pénalisant vis-à-vis de la température de la piscine BK. En effet, la fermeture anticipée de la porte pivotante BK accélère la baisse de niveau de la piscine BK, l'arrêt du train PTR principal intègre et donc la hausse de la température de la piscine BK.

Le deuxième cas à considérer prend en compte la fermeture retardée de la porte pivotante BK [] après le premier signal significatif [] ce qui est pénalisant vis-à-vis de la température de la piscine BR. En effet, la fermeture retardée de la porte pivotante BK mène à l'isolement automatique des trains RIS-RA en service [], une augmentation de la vidange de la piscine BR et donc à la hausse de la température de la piscine BR.

4.5. ANALYSE – ETAT E

4.5.1. Cas « tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

La fuite à l'aspiration d'un train PTR principal n'affecte pas le refroidissement de la piscine BR.

L'impact sur le refroidissement de la piscine BK lorsque le tube de transfert est initialement fermé est couvert par l'étude de la fuite à l'aspiration d'un train PTR principal en état F avec le tube de transfert initialement fermé.

4.5.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (état E pour chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Lorsque le tube de transfert est ouvert (état E chargement-déchargement ou hors manutention combustible commande groupée activée), une fuite à l'aspiration d'un train PTR principal affecte l'inventaire en eau et le refroidissement des piscines BR et BK.

Suite au MDTE postulé au moment de l'initiateur de vidange, le seul train PTR principal intègre est retesté automatiquement suite au démarrage des diesels principaux. Il est toutefois considéré de façon conservatrice un démarrage manuel du seul train PTR principal intègre et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Il est considéré ici que le train affecté par la fuite est perdu et n'évacue donc plus la puissance résiduelle.

[] Les températures maximales BK atteintes à cet instant restent donc inférieures au critère [].

Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement [], ce qui est négligeable du point de vue de l'échauffement de la piscine BR.

[]

La recherche de fuite en local, initiée dès la première alarme [], permet de détecter la fuite [].

Le déroulement de cet accident diffère suivant l'instant auquel la porte pivotante BK est fermée.

4.5.2.1. Cas avec fermeture de la porte pivotante []

La séquence des événements de l'accident est présentée au [TAB-15.2.4T.2](#).

La fermeture de la porte pivotante se fait ici dès l'initiateur []. Cette action opérateur est la seule réalisée en plus de la recherche de fuite en local et du redémarrage du seul train PTR intègre entre l'apparition de la fuite et 30 min après le signal consécutif à l'atteinte du niveau piscine []. La fermeture de la porte pivotante BK interrompt la baisse de niveau de la piscine BR qui reste stable [] tout au long de l'accident. La piscine de désactivation se vidange jusqu'à l'atteinte des casse-siphons de

l'aspiration des trains PTR principaux, [1]. Compte-tenu du niveau minimum atteint, l'opérateur n'aura pas à demander un appoint par le JAC/JPI.

Côté BR, le refroidissement de la piscine se fait par les trois trains RIS-RA en service en mode RA. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire [1]. Le seuil MIN1 « bas niveau piscine transfert BR » [1] n'étant jamais atteint, les trains RIS-RA restent en service tout l'accident après leur retestage. [1].

Côté BK, l'opérateur démarre la troisième file PTR [1] après le premier signal significatif [1]. La recherche de fuite en local permet de localiser la fuite à l'aspiration d'un train PTR principal au même moment. [1] Compte tenu de l'arrêt du train PTR principal intègre lorsque le niveau devient inférieur [1], le refroidissement de la piscine BK est perdu pendant quelques instants. [1].

[1] Cette température permet de garantir des marges satisfaisantes vis-à-vis de l'ébullition de la piscine BK et reste inférieure à la température limite [1]. [1].

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale de la piscine BR (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement). Côté BK, le maintien de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages au cours de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 4.2.2. est respecté. En effet :

- Le niveau piscine BR minimum atteint [1] permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention ;
- Le niveau piscine BK minimum atteint [1] suite à l'atteinte des casse-siphons de l'aspiration des trains PTR principaux [1] permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention ;
- Trois trains RIS-RA en mode RA sont en service pendant l'accident pour évacuer la puissance résiduelle du primaire [1] ;
- La troisième file PTR est disponible pour refroidir la piscine de désactivation [1] à long terme ;
- La sous-criticité des piscines BR et BK est assurée ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables (pas de dénoyage des assemblages et pas d'ébullition dans les piscines).

L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

4.5.2.2. Cas avec fermeture de la porte pivotante [1] [1] après le premier signal significatif [1])

La séquence des événements de l'accident est présentée au TAB-15.2.4T.2.

Les piscines BR et BK se vidangent jusqu'à la fermeture de la porte pivotante entre la piscine de désactivation et le compartiment de transfert BK, [1] après le premier signal significatif [1]. Une fois la fermeture de la porte pivotante effective, la baisse de niveau de la piscine BR s'interrompt et la piscine de désactivation se vidange jusqu'à l'atteinte des casse-siphons de l'aspiration des trains PTR principaux [1].

Côté BR, le refroidissement de la piscine est assuré par trois trains RIS-RA en mode RA. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire [1] jusqu'à leur isolement automatique suite à l'atteinte du seuil MIN1 « bas niveau piscine transfert BR » [1].

[1]

Dans cette situation, l'opérateur procède à la réalisation du T.I.P. (par dès-isolement séquentiel des trains RIS-RA), en parallèle de la recherche de fuite en local.

La recherche de fuite en local permet de situer la fuite à l'aspiration d'un train PTR principal []. Après identification de la fuite, l'opérateur déclare le primaire intègre et les trains RIS-RA sains. Il remet donc en service les trains RIS-RA disponibles en mode RA et l'évacuation de la puissance résiduelle est alors pleinement restaurée côté BR.

Pour ce scénario, la recherche de fuite en local aboutit pendant la réalisation du T.I.P qui pourrait donc être interrompu avant que tous les trains RIS-RA ne soient testés. Par découplage, il est ici considéré que le refroidissement de la piscine BR est perdu pendant [] la durée maximale possible dans cette situation. En effet, tous les trains RIS-RA sont sains et évacuent donc la puissance résiduelle pendant leur test au cours du T.I.P.

Concernant les critères de température, l'état E « hors manutention combustible » est enveloppe de l'état « chargement-déchargement » puisque la puissance résiduelle en état E « hors manutention combustible » est plus élevée. [] Les températures maximales atteintes permettent de garantir des marges satisfaisantes vis-à-vis de l'ébullition de la piscine BR et restent donc inférieures à la température limite [].

A la suite du T.I.P., trois trains RIS-RA sains sont en service en mode RA. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire []. [].

La piscine BR se vidange jusqu'à la fermeture de la porte pivotante, [] après le premier signal significatif []. Le niveau atteint à cet instant [] permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention.

Côté BK, la troisième file PTR est démarrée lorsque la fuite est identifiée, [] après le premier signal significatif []. [] Il n'y a donc pas de perte de refroidissement dans la piscine BK. [].

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale de la piscine BR (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement). Côté BK, le maintien de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages au cours de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 4.2.2. est respecté. En effet :

- Le niveau piscine BR minimum atteint [] permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention ;
- Le niveau piscine BK minimum atteint [] suite à l'atteinte des casse-siphons de l'aspiration des trains PTR principaux [] permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention ;
- Après identification de la fuite, trois trains RIS-RA en mode RA sont en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire [] ;
- La troisième file PTR est disponible pour refroidir la piscine de désactivation [] ;
- Les températures moyennes maximales atteintes au cours du scénario restent inférieures à la température limite autorisée ;
- La sous-criticité des piscines BR et BK est assurée ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables (pas de dénoyage des assemblages et pas d'ébullition dans les piscines).

L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

4.6. CONCLUSION – ETAT E

L'étude de la fuite non isolable sur un train PTR principal en état E montre que l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 4.2.2. est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint grâce aux actions de mitigations suivantes :

- La présence des casse-siphons de l'aspiration des trains principaux PTR permet d'arrêter la baisse de niveau de la piscine BK :
 - Trois trains RIS-RA en mode RA restent en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire en état E,
 - Le démarrage de la troisième file PTR permet d'évacuer la puissance résiduelle de la piscine de désactivation.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation est respecté :

- L'absence de dénoyage des assemblages de combustible assure que les rejets radiologiques restent tolérables ;
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti (concentration initiale en bore côté BR et par conception des râteliers de stockage pour la piscine BK) ;
- .

5. FUITE SUR LA LIGNE D'ASPIRATION DE LA TROISIÈME FILE PTR [ÉTAT E]

5.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

L'événement initiateur de l'accident est une fuite située en amont du deuxième organe d'isolement à l'aspiration sur la troisième file PTR. La fuite est qualifiée de non isolable dans la mesure où elle est située en amont des organes qui permettent d'arrêter la vidange de la piscine (par application de l'aggravant, l'analyse est valable pour une fuite apparaissant en amont du deuxième organe d'isolement).

La fuite de taille conventionnelle pour les tuyauteries à moyenne énergie se définit comme une fuite équivalente à une section d'ouverture $e^*D/4$, e représentant l'épaisseur de la tuyauterie et D son diamètre interne. .

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- État E hors manutention combustible : les assemblages de combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être ouvert (commande groupée activée) ou fermé (commande groupée non activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont en service. Le 4^{ème} train RIS-RA est en stand-by. La piscine BK est, elle, refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR alors que la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine. ;
- État E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage de combustible est extrait de la cuve. Il transite soit dans la piscine réacteur « principale », soit dans l'un des compartiments de transfert ou dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage de combustible peut être en cours de manutention dans la piscine BK. Compte tenu du niveau de puissance résiduelle retenue, trois trains RIS-RA sont en service pour assurer le refroidissement de la piscine BR. La piscine BK est, elle, refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre BR et BK est ouvert. .

Une fuite située sur la troisième file PTR a les conséquences suivantes :

- Vidange des piscines BR et BK pouvant générer l'arrêt du système de refroidissement et ainsi mener à une augmentation de leurs températures.

5.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

5.2.1. Description de l'accident

La description des différents scénarios pouvant se dérouler est exposée ci-après. Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être initialement ouvert ou fermé. Pour ce scénario, lorsque le tube de transfert est ouvert initialement, sa fermeture au cours de la séquence accidentelle n'est pas prise en compte pour la démonstration de sûreté.

5.2.1.1. Cas « Tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

En état E, hors manutention combustible, avec la commande groupée non activée (tube de transfert initialement fermé), la fuite sur la ligne d'aspiration de la troisième file PTR entraîne la perte de l'inventaire en eau de la piscine de désactivation (piscine BK). L'inventaire en eau de la piscine BR n'est pas dégradé suite à l'apparition de la fuite sur la ligne d'aspiration de la troisième file PTR, le tube de transfert étant fermé. La séquence des événements suite à l'apparition de la fuite est la suivante :

- Le MDTE est appliqué au moment de l'initiateur. Même si le train PTR initialement en service est relesté automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservative le démarrage manuel du train PTR principal et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement []. Trois trains RIS-RA sont relestés automatiquement et fonctionnent de manière efficace ;
- A l'atteinte du niveau [] dans la piscine BK : perte de refroidissement de la piscine BK suite au déclenchement des trains PTR ;
- En absence d'isolement de la fuite et d'appoint, la baisse de niveau de la piscine BK s'interrompt [] par dégardage.

5.2.1.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Dans cet état où le tube de transfert est ouvert, la fuite sur la ligne d'aspiration de la troisième file PTR entraîne la perte de l'inventaire en eau des piscines BR et BK.

La séquence des événements faisant suite à l'apparition de la fuite est :

- Le MDTE est appliqué au moment de l'initiateur. Même si les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR principaux et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement [] ;
- Les deux trains PTR principaux et trois trains RIS-RA sont relestés suite au MDTE et fonctionnent de façon efficace ;
- A l'atteinte du niveau [] dans les piscines BR et BK : isolement automatique des trains RIS-RA et perte du refroidissement de la piscine BR. La perte de refroidissement de la piscine BK intervient suite au déclenchement des trains PTR lorsque le niveau d'eau dans la piscine BK devient inférieur à [] ;
- En l'absence d'isolement de la fuite et d'appoint, la baisse de niveau des piscines BR et BK s'interrompt à [] par dégardage.

5.2.2. Critères d'étude

Les critères techniques d'acceptation à vérifier pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont ceux définis à la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- Maintien permanent de la sous-criticité ;
- Absence de découverture des assemblages de combustible :
 - Non-découverture du cœur en état E hors manutention combustible,
 - Non-dénoyage du combustible en cours de manutention □ en état E chargement-déchargement.
- Evacuation durable de la puissance résiduelle :
 - Évacuation de la puissance résiduelle BR par le système RIS-RA ;
 - Évacuation de la puissance résiduelle BK par au moins un train PTR principal ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- Non ébullition dans la piscine BR ;
- Non ébullition dans la piscine BK ;
- Maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK □. Pour les situations PCC de vidange, le dépassement transitoire de température □ est admissible □.

5.3. MOYENS DE PROTECTIONS

En état E commande groupée non activée (état E « hors manutention combustible », tube de transfert fermé), les signaux de protection crédités sont le signal automatique d'Injection de Sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA. Dans cette configuration le signal d'IS est émis sur l'atteinte du seuil MIN1p « bas niveau boucle » et le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil MIN2p « très bas niveau boucle ».

En état E commande groupée activée (tube de transfert initialement ouvert), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil MIN1 « bas niveau piscine transfert BR » (cf. [FIG-15.2.4T.1](#)).

□

Les trains principaux PTR en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil MIN4 BK « bas niveau piscine BK » □.

A l'atteinte du niveau piscine □ (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

5.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

5.4.1. Etat initial

□ L'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La concentration initiale en bore des piscines BR et BK est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

□ le refroidissement de la piscine de désactivation est assuré par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains principaux PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine.

□

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. Lorsqu'il est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant toute la séquence accidentelle.

L'activation des protections valorisées dans les séquences accidentelles, par rapport à la position initiale du tube de transfert sont décrites dans le [§ 2.3.](#)

5.4.2. Choix de l'aggravant

Conformément aux règles d'étude relatives aux initiateurs situés côté BK (section 15.0.3), un aggravant ou un MDTE à l'instant initial est à considérer pour la présente étude.

Sans MDTE, aucun aggravant n'est pertinent pour cet accident. Le MDTE implique une perte temporaire des moyens de refroidissement BR et BK, ce qui est pénalisant par rapport aux critères d'étude à respecter. C'est donc le cas avec MDTE qui est étudié.

5.4.3. Choix de la maintenance préventive

Côté piscine de désactivation, aucune maintenance préventive sur un système de sauvegarde ou un système de refroidissement n'est à prendre en compte dans l'étude des conditions de fonctionnement PCC en état E.

Côté BR, en état E « hors manutention combustible » commande groupée non activée (tube de transfert fermé), une maintenance est prise en compte sur un train ISMP. En état E « hors manutention combustible » et « chargement-déchargement » commande groupée activée (tube de transfert ouvert), une maintenance préventive est postulée sur une division électrique, se traduisant par l'indisponibilité d'un train ISMP et d'un train RIS-RA.

5.4.4. Hypothèses spécifiques

5.4.4.1. Puissance résiduelle

Les puissances résiduelles des piscines BR et BK sont supposées constantes sur toute la durée de la séquence accidentelle, de façon conservative.

□

La puissance résiduelle BR retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 □ ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. La puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP en service.

□ Elle est maximale juste après le déchargement du dernier assemblage combustible du réacteur. Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance de la piscine BR □ à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle, □.

5.4.4.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Trains RIS-RA :

En état « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4ème train est en stand-by mais n'est pas requis pour la démonstration de sûreté de ce scénario.

En état E commande groupée activée (« hors manutention combustible » et « chargement-déchargement », tube de transfert ouvert), trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial.

GMPP :

En état E, tous les GMPP sont à l'arrêt.

IS :

Un train ISMP est indisponible suite à la maintenance. Trois trains ISMP sont donc disponibles pour gérer l'accident.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale [] pour la démonstration de sûreté. La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST, [].

PTR :

Le refroidissement de la piscine BK est assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé dans la piscine. Les trains PTR principaux sont refroidis par le RRI.

Aucune maintenance préventive n'est autorisée sur les trains PTR principaux en état E.

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR sont mentionnées en [A- -15.2.4T.1](#).

Vannes de fond de piscine BR :

Les trois vannes F1A de pied de compartiments (cuve, internes, transfert) sont pré-positionnées ouvertes en état E. Les deux vannes communes en aval des vannes de pied de compartiments vers l'IRWST sont fermées et assorties d'une condamnation administrative après l'activation de la commande groupée.

MDTE

Le MDTE est postulé dès l'événement initiateur conformément à la section **15.0.3** .

IRWST

Avant l'activation de la commande groupée, le volume minimal disponible dans l'IRWST est considéré de manière conservatrice []. [] Sa température initiale est la même que celle de la piscine BR, [].

5.4.4.3. Autres systèmes**JAC/JPI :**

En conditions PCC, l'intégralité du volume JAC/JPI ne peut être considérée dans la mesure où il est nécessaire de garantir la disponibilité d'une réserve d'eau suffisante en cas de cumul avec un incendie indépendant pendant la phase long terme. [].

Le débit d'injection du JAC/JPI (classé F1B) est pris à sa valeur minimale []. Le JAC peut être nécessaire pour remonter le niveau de la piscine BK [] afin de remettre en service les trains PTR principaux si nécessaire ou de maintenir le niveau de la piscine BK [] afin de conserver les trains PTR principaux en service et donc assurer l'évacuation de la puissance résiduelle.

Casse-siphons :

Les tuyauteries connectées à la piscine de désactivation sont équipées de dispositifs passifs permettant l'arrêt de la vidange.

Les altimétries de désamorçage des casse-siphons sur les trains PTR principaux sont situées [] à l'aspiration, et [] au refoulement.

Le circuit de purification des compartiments transfert BK et fosse de chargement (lignes de vidange BK) portent des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées [] à l'aspiration et au refoulement.

Le circuit de purification du BR porte des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées □ au niveau du refoulement.

Ces altimétries de désamorçage garantissent l'arrêt de la vidange due à une fuite sur une tuyauterie connectée à la piscine de désactivation lorsqu'elles sont franchies.

Porte pivotante BK :

La porte pivotante BK placée entre le compartiment de transfert BK et la piscine de désactivation peut être manœuvrée. En état E commande groupée activée et tube de transfert ouvert, deux cas sont étudiés en fonction de l'instant de la fermeture de la porte pivotante BK.

Le premier cas à considérer prend en compte la fermeture anticipée de la porte pivotante BK □ ce qui est pénalisant vis-à-vis de la température de la piscine BK. En effet, la fermeture anticipée de la porte pivotante BK accélère la baisse de niveau de la piscine BK, l'arrêt des trains PTR principaux en service et donc la hausse de la température de la piscine BK. Par ailleurs, une fermeture de la porte pivotante □ est pénalisante vis-à-vis de la consommation en eau du JAC/JPI puisque cela réduit le niveau de la piscine de désactivation au moment de la mise en service de l'appoint en eau.

Le deuxième cas à considérer prend en compte la fermeture retardée de la porte pivotante BK □ après le premier signal significatif □ ce qui est pénalisant vis-à-vis de la température de la piscine BR. En effet, la fermeture retardée de la porte pivotante BK mène à l'isolement automatique des trains RIS-RA en service suite à l'atteinte d'un niveau □ dans la piscine BR, à une augmentation de la vidange de la piscine BR et donc à la hausse de la température de la piscine BR.

Dispositif mobile d'obturation :

La pose d'un dispositif mobile d'obturation sur la troisième file PTR est initiée □ après le premier signal significatif □. □ Une fois le dispositif mobile d'obturation posé, la fuite est arrêtée.

5.5. ANALYSE – ETAT E

5.5.1. Cas « tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

La fuite sur la ligne d'aspiration de la troisième file PTR n'affecte pas le refroidissement de la piscine BR.

L'impact sur le refroidissement de la piscine BK lorsque le tube de transfert est initialement fermé est couvert par l'étude de la fuite sur la ligne d'aspiration de la troisième file PTR en état F avec le tube de transfert initialement fermé.

5.5.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (état E pour chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Lorsque le tube de transfert est ouvert (état E chargement-déchargement ou hors manutention combustible commande groupée activée), une fuite sur la ligne d'aspiration de la troisième file PTR affecte l'inventaire en eau et le refroidissement des piscines BR et BK.

Suite au MDTE postulé au moment de l'initiateur de vidange, les trains PTR sont relestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux. Il est toutefois considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée □.

□ Les températures maximales BK atteintes à cet instant restent donc inférieures au critère □.

Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement □, ce qui est négligeable du point de vue de l'échauffement de la piscine BR.

□

La recherche de fuite en local, initiée dès la première alarme [1], permet de détecter la fuite [1].

Le déroulement de cet accident diffère suivant l'instant auquel la porte pivotante BK est fermée.

5.5.2.1. Cas avec fermeture de la porte pivotante [1]

La séquence des événements de l'accident est présentée au [TAB-15.2.4T.2](#).

La fermeture de la porte pivotante se fait ici dès l'initiateur [1]. Cette action opérateur est la seule réalisée en plus de la recherche de fuite en local entre l'apparition de la fuite et 30 min après le signal consécutif à l'atteinte du niveau piscine [1].

La fermeture de la porte pivotante BK interrompt la baisse de niveau de la piscine BR qui reste stable [1] tout au long de l'accident.

Côté BR, le refroidissement de la piscine se fait par les trois trains RIS-RA en service en mode RA. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire [1]. Le seuil MIN1 « bas niveau piscine transfert BR » [1] n'étant jamais atteint, les trains RIS-RA restent en service tout au long de l'accident après leur retestage. [1].

Côté BK, la recherche de fuite en local permet de localiser la fuite sur la ligne d'aspiration de la troisième file PTR [1] après le premier signal significatif [1]. [1] les trains PTR principaux restent donc en service et assurent le refroidissement de la piscine BK. Une fois la fuite identifiée, l'opérateur initie la pose d'un système mobile d'obturation sur la troisième file PTR. [1] En parallèle, l'opérateur réalise un appoint en eau via le JAC/JPI pour restaurer le niveau de la piscine BK [1]. Ainsi, le refroidissement de la piscine de désactivation est maintenu par les deux trains PTR principaux tout au long de l'accident et le critère de [1] est respecté.

[1]

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale de la piscine BR (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement). Côté BK, le maintien de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages au cours de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 5.2.2](#) est respecté. En effet :

- Le niveau piscine BR minimum atteint [1] permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention ;
- Le niveau piscine BK minimum atteint [1] permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention ;
- Trois trains RIS-RA en mode RA sont en service pendant l'accident pour évacuer la puissance résiduelle du primaire [1] ;
- Les deux trains PTR principaux sont disponibles pour refroidir la piscine de désactivation [1] à long terme ;
- Les températures moyennes maximales atteintes au cours du scénario restent inférieures à la température limite autorisée ;
- La sous-criticité des piscines BR et BK est assurée ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables (pas de dénoyage des assemblages et pas d'ébullition dans les piscines).

L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

5.5.2.2. Cas avec fermeture de la porte pivotante [] ([] après le premier signal significatif [])

La séquence des évènements de l'accident est présentée au [TAB-15.2.4T.2](#).

Les piscines BR et BK se vidangent jusqu'à la fermeture de la porte pivotante entre la piscine de désactivation et le compartiment de transfert BK, [] après le premier signal significatif []. Une fois la fermeture de la porte pivotante effective, la baisse de niveau de la piscine BR s'interrompt.

Côté BR, le refroidissement de la piscine est assuré par trois trains RIS-RA en mode RA. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire [] jusqu'à leur isolement automatique suite à l'atteinte du seuil MIN1 « bas niveau piscine transfert BR ».

[]

Dans cette situation, l'opérateur procède à la réalisation du T.I.P. (par dès-isolement séquentiel des trains RIS-RA), en parallèle de la recherche de fuite en local.

La recherche de fuite en local permet de situer la fuite sur un la troisième file PTR []. Après identification de la fuite, l'opérateur déclare le primaire intègre et les trains RIS-RA sains. Il remet donc en service les trains RIS-RA disponibles en mode RA et l'évacuation de la puissance résiduelle est alors pleinement restaurée côté BR.

Pour ce scénario, la recherche de fuite en local aboutit pendant la réalisation du T.I.P qui pourrait donc être interrompu avant que tous les trains RIS-RA ne soient testés. Par découplage, il est ici considéré que le refroidissement de la piscine BR est perdu pendant [] la durée maximale possible dans cette situation. En effet, tous les trains RIS-RA sont sains et évacuent donc la puissance résiduelle pendant leur test au cours du T.I.P.

Concernant les critères de température, l'état E « hors manutention combustible » est enveloppe de l'état « chargement-déchargement » puisque la puissance résiduelle en état E « hors manutention combustible » est plus élevée. [] Les températures maximales atteintes permettent de garantir des marges satisfaisantes vis-à-vis de l'ébullition de la piscine BR et restent donc inférieures à la température limite [].

A la suite du T.I.P., trois trains RIS-RA sains sont en service en mode RA. Ces trains sont suffisants pour maintenir la température du primaire []. [].

La piscine BR se vidange jusqu'à la fermeture de la porte pivotante [] après le premier signal significatif à []. Le niveau atteint à cet instant [] permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention.

Côté BK, la fuite est identifiée [] après le premier signal significatif []. [] les trains PTR principaux restent donc en service et assurent le refroidissement de la piscine BK. Une fois la fuite identifiée, l'opérateur initie la pose d'un système mobile d'obturation sur la troisième file PTR. [] En parallèle, l'opérateur réalise un appoint en eau via le JAC/JPI pour restaurer le niveau de la piscine BK []. Ainsi, le refroidissement de la piscine de désactivation est maintenu par les deux trains PTR principaux tout au long de l'accident et le critère [] est respecté.

[]

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale de la piscine BR (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement). Côté BK, le maintien de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages au cours de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 5.2.2. est respecté. En effet :

- Le niveau piscine BR minimum atteint \square permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention ;
- Le niveau piscine BK minimum atteint \square permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention ;
- Après identification de la fuite, trois trains RIS-RA en mode RA sont en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire \square ;
- Deux trains PTR principaux sont disponibles pour refroidir la piscine de désactivation \square ;
- Les températures moyennes maximales atteintes au cours du scénario restent inférieures à la température limite autorisée ;
- La sous-criticité des piscines BR et BK est assurée ;
- Les rejets radiologiques restent tolérables (pas de dénoyage des assemblages et pas d'ébullition dans les piscines).

L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

5.6. CONCLUSION – ETAT E

L'étude de la fuite non isolable sur la troisième file PTR en état E montre que l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 5.2.2](#), est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint grâce aux actions de mitigations suivantes :

- Trois trains RIS-RA en mode RA restent en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire en état E,
- La pose d'un dispositif mobile d'obturation sur la troisième file PTR pour arrêter la fuite,
- La mise en service de l'appoint JAC/JPI afin de maintenir le niveau de la piscine BK au-dessus de \square , ce qui permet d'assurer le refroidissement à travers les deux trains PTR principaux.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation est respecté :

- L'absence de dénoyage des assemblages de combustible assure que les rejets radiologiques restent tolérables ;
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti (concentration initiale en bore côté BR et par conception des râteliers de stockage pour la piscine BK) ;
- \square .



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 44/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4T.1 EVALUATION DU DÉBIT DE FUITE DE
TAILLE CONVENTIONNELLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 45/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4T.2 SÉQUENCES DES ÉVÈNEMENTS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 46/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 47/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 48/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 49/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 50/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 51/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4T.3 EVALUATION DE LA PUISSANCE
RESIDUELLE DANS LA PISCINE BK**

□

TAB-15.2.4T.4 FUITE DE TUYAUTERIE NON ISOLABLE SUR UN CIRCUIT CONNECTE A LA PISCINE DE DESACTIVATION (ETATS A À D ET F) HYPOTHESES PRINCIPALES ET RESULTATS (4500 MWTH ÉTATS A À D ET 4300 MWTH ÉTATS E ET F)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 53/57

CENTRALES NUCLÉAIRES


Palier EPR

**FIG-15.2.4T.1 ETAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES
BR ET BK**



**FIG-15.2.4T.2 EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE LA PISCINE
DE DÉSACTIVATION POUR LE CAS AVEC FERMETURE DE LA
PORTE PIVOTANTE DES L'INSTANT INITIAL**

□

**FIG-15.2.4T.3 EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE LA PISCINE
DE DÉSACTIVATION POUR LE CAS AVEC FERMETURE DE LA
PORTE PIVOTANTE  APRES L'ATTEINTE DU PREMIER SIGNAL
SIGNIFICATIF**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 56/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.4T.1 ANNEXE - DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4T

PAGE 57/57

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

SOMMAIRE

.15.2.4A PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES (>2HEURES) (ÉTAT C)	3
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT	3
1.1. DÉFINITION	3
1.2. CAUSES	3
2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	3
2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	3
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	4
3. MOYENS DE PROTECTION	4
4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	4
4.1. MÉTHODE	4
4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	4
4.2.1. ÉTAT INITIAL	4
4.2.2. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	5
4.2.3. HYPOTHÈSES COEUR	5
4.2.4. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET MAINTENANCE PRÉVENTIVE	5
5. RÉSULTATS	5
6. CONCLUSION	7
A- -15.2.4A.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS	11

TABLEAUX :

TAB-15.2.4A.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE LORS DES ÉTATS D'ARRÊT À L'INSTANT INITIAL.....	8
TAB-15.2.4A.2 HYPOTHÈSES CONCERNANT LES ÉCHANGEURS RIS- RA.....	9
TAB-15.2.4A.3 MOMENTS D'ENTRÉE DANS LES ÉTATS C1, C2 ET C3	10

.15.2.4A PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES (>2HEURES) (ÉTAT C)

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

1.1. DÉFINITION

La perte des alimentations électriques externes ou manque de tension externe (MDTE) se caractérise par la perte des connexions au réseau principal et auxiliaire (y compris la perte des transformateurs).

On distingue deux types de MDTE selon leur probabilité d'occurrence :

- 1) MDTE de courte durée avec récupération de l'alimentation externe avant 2 h qui est un transitoire PCC-2,
- 2) MDTE de longue durée avec récupération de l'alimentation externe avant 24 h qui est un accident PCC-4.

Le MDTE de courte durée en état C est couvert par le transitoire en état A (voir section 15.2.2h), alors que le MDTE de longue durée est analysé ici.

L'état C du réacteur, qui est atteint au plus tôt 8 h après l'arrêt du réacteur, comprend le domaine de températures compris entre 120 °C et 15 °C. Selon les différentes conditions de l'inventaire en eau du circuit primaire, l'état de fonctionnement des pompes primaires et des pompes RIS-RA et la disponibilité des GV, il faut distinguer trois sous-états différents C1, C2 et C3. L'état C3 se divise lui-même en quatre sous-états définis comme suit :

- primaire fermé : état Ca4,
- primaire refermable : état Cb1,
- après rupture de l'intégrité primaire, primaire partiellement refermable, état Cb2,
- couvercle de cuve dégoujonné mais non levé : état Cb3.

Les caractéristiques des sous-états C1, C2 et C3 sont données dans le tableau [TAB-15.2.4a.1](#).

1.2. CAUSES

La perte d'alimentation peut être due à une perte complète du réseau extérieur ou à la perte du système de distribution électrique du site.

2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

Le MDTE, supposé intervenir à l'instant initial de l'accident, conduit au maximum à la perte des quatre pompes primaires en fonctionnement (ne s'applique qu'aux états C1 et C2), à la perte temporaire de la fonction d'évacuation de la puissance résiduelle par les trains RIS-RA et à la perte de l'alimentation en eau côté secondaire par l'APA.

Le démarrage automatique des diesels de secours principaux sur signal de basse tension assure de nouveau l'alimentation électrique des trains RIS-RA avec un délai suffisamment court, de telle manière que la fonction RRA est rétablie en moins de s, également en cas de MDTE de longue durée. L'alimentation normale des GV reste indisponible car elle n'est pas ré-alimentée par les diesels principaux. Si nécessaire, la capacité d'évacuation à moyen terme de la puissance côté secondaire est assurée par l'inventaire en eau suffisant des GV et par les pompes ASG alimentées électriquement

par les diesels de secours, ainsi que par l'évacuation de la puissance à l'atmosphère via les VDA alimentées par des tableaux secourus par des batteries deux heures.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les critères et objectifs de sûreté à respecter sont ceux retenus pour les accidents PCC-4 et sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation à respecter pour cet accident PCC-4 sont les suivants :

- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :
 - Pour l'état contrôlé :
 - Le coeur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le coeur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement (par le ou les trains RIS-RA en restant en service).
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. MOYENS DE PROTECTION

Les signaux de protection pris en compte dans les états C1 et C2 sont les suivants :

- signal IS par faible marge à la saturation,
- signal d'arrêt des pompes RIS-RA sur très faible marge à la saturation.

Les signaux de protection pris en compte dans l'état C3 sont les suivants :

- signal IS par bas niveau boucle (MIN1),
- signal d'arrêt des pompes RIS-RA sur bas niveau boucle (MIN2).

4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

4.1. MÉTHODE

La démonstration est basée sur des bilans d'énergie au niveau de l'échangeur RIS-RA, intégrant des données d'entrée pénalisées.

4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE

4.2.1. État initial

Les caractéristiques de l'état initial sont considérées à la descente, de façon à maximiser la puissance résiduelle à évacuer. Elles sont données dans le tableau [TAB-15.2.4a.1](#).

En état C3, la phase de remontée en puissance est également considérée car la pression primaire peut atteindre 0,2 bar pendant cette phase. Les caractéristiques de cet état sont également fournies dans le tableau [TAB-15.2.4a.1](#).

□

4.2.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

4.2.2.1. Trains RIS-RA

Selon les différents états, le nombre de trains RIS-RA en fonctionnement est fourni dans le tableau [TAB-15.2.4a.1](#).

Les trains supposés en fonctionnement initialement sont redémarrés □ secondes après l'instant du MDTE.

L'aggravant est appliqué à un diesel de secours ne démarrant pas à la sollicitation. Ainsi, dans l'état C1, on considère qu'un seul train RIS-RA est remis en service pour évacuer la puissance après reconnexion des diesels de secours principaux. De même dans les états C2 et C3, deux trains RIS-RA sont alors remis en fonctionnement après reconnexion des diesels de secours principaux.

4.2.2.2. Caractéristiques des échangeurs RIS-RA

Les capacités d'échange des échangeurs sont calculées sur la base des données présentées dans le [TAB-15.2.4a.2](#).

4.2.3. Hypothèses coeur

Aucune donnée neutronique n'est requise dans le cadre de la présente analyse.

La puissance résiduelle est supposée constante sur la durée de la séquence accidentelle. Les valeurs respectives de découpage du planning d'arrêt de tranche pour les états C1, C2 et C3 sont fournies dans le [TAB-15.2.4a.3](#). La puissance résiduelle retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 □ ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. Suite à l'initiateur, la puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes RIS-RA.

4.2.4. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

L'aggravant est appliqué à un diesel de secours ne démarrant pas à la sollicitation.

Aucune maintenance préventive n'est prise en compte.

5. RÉSULTATS

Les deux états standards C1 et C3 sont à considérer car ils sont caractérisés par deux conditions pénalisantes différentes vis-à-vis de la perte de l'évacuation de la puissance résiduelle. En état C1, la puissance résiduelle est la plus grande mais le circuit primaire possède son inventaire normal à charge nulle. Au contraire en état C3, la puissance résiduelle est plus faible mais l'inventaire du circuit primaire peut correspondre au niveau de la plage de travail basse du RIS-RA en mode RA.

États C1 et C2 :

Dans les états C1 et C2, malgré la défaillance d'un train RIS-RA, la puissance résiduelle est toujours évacuée par le ou les trains restant en fonctionnement et aucun signal de protection n'est activé. En effet, un seul train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale (somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise par les pompes RIS-RA au fluide primaire) majorée à □ MW. La température maximale en branche chaude atteinte dans le circuit primaire au cours du transitoire

dans les états C1 et C2 est \square inférieur au critère de 180°C qui correspond à la limite de température des branches chaudes à ne pas dépasser dans ces états pour assurer le bon fonctionnement des trains RIS-RA en mode RA.

La perte des alimentations électriques cause une discontinuité de l'injection aux joints des pompes primaires. La pression primaire étant inférieure à 32 bar, il en résulte une fuite aux joints des GMPP non compensée par l'injection \square . A terme, le signal IS par faible marge à la saturation pourrait être atteint ce qui mettrait en service l'injection de sécurité. L'inventaire en eau du primaire se stabilise alors sous l'effet de l'injection de sécurité (ISMP) démarrée sur signal IS. Par ailleurs, les ISMP compensant la fuite aux joints il n'y a pas de découvrément du coeur au cours de l'accident. Suite à l'atteinte du signal IS, l'opérateur applique les règles de conduite relatives au passage à froid avec IS. Un Test d'Intégrité Primaire est alors réalisé et le primaire est déclaré non intègre après le test des trains RIS-RA. L'opérateur met alors en service le train RIS-RA en attente en mode IS et met à l'arrêt l'ISMP. La fuite aux joints des pompes primaires est compensée par l'ISBP garantissant la stabilité de l'inventaire en eau du primaire à long terme (pas de découvrément du coeur).

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire). L'évacuation de la puissance totale est assurée par le ou les trains RIS-RA restant en service. Par ailleurs, il n'y a pas de découvrément du coeur tout au long de l'accident. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.](#) sont vérifiés. L'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr sont atteints.

État C3 :

Dans l'état C3, lors de la descente du réacteur, la puissance continue d'être évacuée par les deux trains restant en fonctionnement sans atteindre la saturation pour une pression de 1,0 bar. La température maximale en branche chaude atteinte dans le circuit primaire lors de la descente en état C3 est égale à \square °C. La puissance résiduelle est évacuée durablement par le RIS-RA en mode RA et l'inventaire en eau du primaire est stable (la saturation n'est pas atteinte et il n'y a pas de perte d'inventaire en eau).

Lors de la remontée en puissance, la pression primaire peut être réduite à une valeur de 0,2 bar. Dans ce cas, la température de saturation \square est atteinte. Cependant le débit des pompes RIS-RA réduit préventivement à une valeur de consigne de \square m³/h permet d'éviter l'apparition de tout phénomène de cavitation et donc de tout risque d'endommagement des pompes, même en prenant en compte l'incertitude \square sur le débit. Le signal d'Injection de Sécurité est alors atteint suite à la baisse de niveau dans le primaire engendrée par la vaporisation d'une partie du primaire. Sous l'effet du démarrage des pompes ISMP, la pression dans le primaire augmente jusqu'à atteindre la pression de refoulement des pompes ISMP et l'inventaire en eau du primaire se stabilise. Le non découvrément du coeur est alors assuré et la puissance résiduelle est évacuée durablement par le RIS-RA en mode RA.

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire). L'évacuation de la puissance totale est assurée par le ou les trains RIS-RA restant en service tout au long de l'accident et il n'y a pas de découvrément du coeur. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.](#) sont vérifiés. L'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr sont atteints.

Dans le sous état Ca4, la prise en compte d'une fuite aux joints des GMPP non compensée par l'injection avec un débit de \square t/h conduit à l'atteinte du signal d'IS par « bas niveau branche chaude MIN1p ». En effet, à la descente, la fuite aux joints provoque une baisse de niveau puis l'atteinte du signal d'IS et à la remontée en puissance, la fuite aux joints conduit à l'atteinte du signal d'IS sur « bas niveau branche chaude MIN1p » du fait du passage à saturation. Toutefois, la fuite aux joints ne dégrade pas les capacités d'évacuation de puissance des trains RIS-RA, puisque la pression dans le primaire augmente jusqu'à atteindre la pression de refoulement des pompes ISMP suite à leur

démarrage automatique sur signal de « bas niveau branche chaude MIN1p ». Suite à l'atteinte du signal IS, l'opérateur applique les règles de conduite relatives au passage à froid avec IS. Un Test d'Intégrité Primaire est alors réalisé et le primaire est déclaré non intègre après le test des trains RIS-RA. L'opérateur met alors en service le train RIS-RA en attente en mode IS et met à l'arrêt l'ISMP. La fuite aux joints des pompes primaires est compensée par l'ISBP garantissant la stabilité de l'inventaire en eau du primaire.

Pour les états Cb1 à Cb3 la ligne de fuite du joint n°1 a préalablement été fermée car la barrière thermique est isolée, le primaire est initialement à 1 bar abs et les glaces du joint n°1 sont en contact. Dans ces conditions il n'y a pas de fuite aux joints des pompes primaires et l'inventaire en eau du primaire est stable.

Compte tenu des conditions initiales de ce transitoire (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire). L'évacuation de la puissance totale est assurée par le ou les trains RISRA restant en service tout au long de l'accident. Par ailleurs, il n'y a pas de découverture du coeur et les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.](#) sont vérifiés. L'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr sont atteints.

6. CONCLUSION

La présente analyse démontre le respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr présentés au [§ 2.2.](#), pour l'accident de perte des alimentations électriques externes (>2h) lors du fonctionnement du réacteur en état C :

- La sous-criticité est garantie.
- La puissance résiduelle est évacuée par le ou les trains RIS-RA restant en service.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

TAB-15.2.4A.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE LORS DES ÉTATS D'ARRÊT À L'INSTANT INITIAL

	État C1	État C2	État C3
GMPP en fonctionnement	1 à 4 / 4	1 à 4 / 4	0 / 4
Température primaire	120°C	100°C	55°C
Incertitude sur la température primaire	□°C	□°C	□°C
Pression primaire	32 bar	32 bar	1,0 bar à la descente 0,2 bar (lors de la mise sous vide) à la remontée
Trains RIS-RA en mode RA initialement en fonctionnement	2 / 4 (2 trains en attente en mode ISBP)	3 à 4 / 4	3 / 4 (1 train en attente en mode ISBP)
Nombre de GV disponibles pour l'évacuation de la puissance résiduelle	2 / 4	2 / 4	2 / 4
Remplissage du circuit primaire	Niveau pressuriseur à charge nulle	Niveau pressuriseur à charge nulle	Remplissage à 3/4 boucle



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4A

PAGE 9/12

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4A.2 HYPOTHÈSES CONCERNANT LES ÉCHANGEURS RIS-RA

□

TAB-15.2.4A.3 MOMENTS D'ENTRÉE DANS LES ÉTATS C1, C2 ET C3

	État C1	État C2	État C3
Entrée dans l'état considéré	t = 8 h après l'arrêt	t = 9 h après l'arrêt	t = 18,5 h après l'arrêt lors de la descente t = 184 h pour la remontée



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4A

PAGE 11/12

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.4A.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4A

PAGE 12/12

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

SOMMAIRE

.15.2.4B RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR	19
1. RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR [ÉTAT A]	19
1.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	19
1.1.1. GÉNÉRALITÉS	19
1.1.2. SÉQUENCE TYPIQUE DES ÉVÉNEMENTS	20
1.1.3. PRÉCAUTIONS LIMITANT LES CONSÉQUENCES DE L'ÉVÉNEMENT	23
1.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	24
1.3. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	25
1.3.1. MÉTHODES D'ÉTUDE	25
1.3.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION	26
1.4. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ)	27
1.4.1. FUITES OU RUPTURES DE TUYAUTERIE POTENTIELLES	27
1.4.2. CAS ÉTUDIÉS	28
1.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	30
1.5.1. CAS DE LA RTV INITIÉE EN PUISSANCE	30
1.5.2. CAS DE LA RTV INITIÉE À PUISSANCE NULLE	36
1.5.3. DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE	53
1.6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	62
1.6.1. CONDUITE ACCIDENTELLE	62
1.6.2. CONDUITE INCIDENTELLE	64
1.6.3. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE	65
1.6.4. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	65
1.7. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE	67
1.8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	67
1.8.1. RTV À PUISSANCE NULLE ET RTV EN PUISSANCE	67
1.8.2. DILUTION EN PUISSANCE AVEC UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA BLOQUÉE	69



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 2/213




CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

1.9. CONCLUSION	69
2. RUPTURE D'UNE TUYAUTERIE VAPEUR [ÉTAT B]	69
2.1. CRITÈRES D'ÉTUDES	70
2.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	70
2.3. CONCLUSION	71
LISTE DES RÉFÉRENCES.	72

TABLEAUX :

TAB-15.2.4B.1	RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - MATRICE DE MÉLANGE PÉNALISÉE ISSUE DES ESSAIS □	73
TAB-15.2.4B.2	SUR-DÉBITS ARE	74
TAB-15.2.4B.3	RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A EN PUISSANCE	75
TAB-15.2.4B.4	RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A DES RTV À PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE PROLONGATION DE CYCLE)	76
TAB-15.2.4B.5	RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A DES RTV À PUISSANCE NULLE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)	77
TAB-15.2.4B.6	DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A DES CAS DE DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE (CYCLE NATUREL)	78
TAB-15.2.4B.7	DONNÉES NEUTRONIQUES – INCERTITUDES ET PÉNALITÉS POUR LES RTV INITIÉES À PUISSANCE NULLE	79
TAB-15.2.4B.8	DONNEES NEUTRONIQUES – INCERTITUDES ET PENALITES POUR LA DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE	80
TAB-15.2.4B.9	DONNÉES NEUTRONIQUES - SOUS-CRITICITÉ INITIALE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE ET POUR LA DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE	81
TAB-15.2.4B.10	RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE SANS CUMUL MDTE - BRÈCHE □ - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	82
TAB-15.2.4B.11	RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL MDTE - BRÈCHE □ - DE L'ÉVÉNEMENT	

INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	83
TAB-15.2.4B.12 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	84
TAB-15.2.4B.13 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	85
TAB-15.2.4B.14 CAS 3 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR DE  À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	86
TAB-15.2.4B.15 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)	87
TAB-15.2.4B.16 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS.....	88
TAB-15.2.4B.17 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS.....	89
TAB-15.2.4B.18 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS.....	90
TAB-15.2.4B.19 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS.....	91

TAB-15.2.4B.20	DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS.....	92
TAB-15.2.4B.21	DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 25 À 100%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS.....	93
TAB-15.2.4B.22	CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET DISTRIBUTION DE PUISSANCE À L'INSTANT PÉNALISANT DU TRANSITOIRE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE - CAS TGI-1 - CALCULS DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN - CAS 1 - RTV-2A À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE	94
TAB-15.2.4B.23	CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET DISTRIBUTION DE PUISSANCE A L'INSTANT PÉNALISANT DU TRANSITOIRE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE - CAS TGI-1 - CALCULS DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN - CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE □	95
TAB-15.2.4B.24	CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET DISTRIBUTION DE PUISSANCE A L'INSTANT PÉNALISANT DU TRANSITOIRE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE - CAS TGI - CALCULS DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN - CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE □	96
TAB-15.2.4B.25	CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET DISTRIBUTION DE PUISSANCE A L'INSTANT PÉNALISANT DU TRANSITOIRE – CALCULS DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN - DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE.....	97
TAB-15.2.4B.26	RTV A À PUISSANCE NULLE ET DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - RÉSULTATS DE PLIN ET RFTC POUR LES DIFFÉRENTS CAS ÉTUDIÉS.....	98

TAB-15.2.4B.27 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE 5 À 100%PN – RESULTATS	99
TAB-15.2.4B.28 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE 5 À 100%PN – STATE-POINTS EN (P, CB, T°)	100

FIGURES :




FIG-15.2.4B.1 INITIATEURS TGI-1 - CONFIGURATIONS PÉNALISANTES POUR LA BRÈCHE PÉNALISANTE DU SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE.....	101
FIG-15.2.4B.2 INITIATEURS TGI-1 - CONFIGURATIONS PENALISANTES POUR LA BRÈCHE 2A À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE.....	102
FIG-15.2.4B.3 CONFIGURATIONS TGI – CARACTERISTIQUES DES CYCLES ETUDIES	103
FIG-15.2.4B.4 COUPLAGE DES CODES 	104
FIG-15.2.4B.5 ÉVÉNEMENTS À COUVRIR DANS LES ÉTUDES PCC.....	105
FIG-15.2.4B.6 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB CORRESPONDANT A LA BOUCLE ROMPUE N°1	106
FIG-15.2.4B.7 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB CORRESPONDANT A LA BOUCLE ROMPUE N°2	107
FIG-15.2.4B.8 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB CORRESPONDANT A LA BOUCLE ROMPUE N°3	108
FIG-15.2.4B.9 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB CORRESPONDANT A LA BOUCLE ROMPUE N°4	109
FIG-15.2.4B.10 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB SPECIALE CENTREE SUR LA GRAPPE 	110
FIG-15.2.4B.11 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB SPECIALE CENTREE SUR LA GRAPPE 	111
FIG-15.2.4B.12 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR EN ÉTAT A EN PUISSANCE - SANS CUMUL MDTE - SPECTRE DE BRÈCHES PÉNALISANT	112

FIG-15.2.4B.13 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE	113
FIG-15.2.4B.14 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES.....	114
FIG-15.2.4B.15 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - NIVEAU PRESSURISEUR ET PRESSION PRIMAIRE.....	115
FIG-15.2.4B.16 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV	116
FIG-15.2.4B.17 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS BRÈCHE ET TURBINE	117
FIG-15.2.4B.18 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR EN ÉTAT A EN PUISSANCE - AVEC CUMUL MDTE - SPECTRE DE BRÈCHES PÉNALISANT	118
FIG-15.2.4B.19 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL MDTE - BRÈCHE □ - ÉVOLUTIONS DE LA TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ ET DE LA TEMPÉRATURE AU CENTRE DE LA PASTILLE	119
FIG-15.2.4B.20 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE	120
FIG-15.2.4B.21 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES.....	121
FIG-15.2.4B.22 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - NIVEAU PRESSURISEUR ET PRESSION PRIMAIRE.....	122
FIG-15.2.4B.23 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV	123












FIG–15.2.4B.24 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE  - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS BRÈCHE ET TURBINE	124
FIG–15.2.4B.25 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE  - DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	125
FIG–15.2.4B.26 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - COURBE DE FUEL CENSUS SPÉCIFIQUE AUX CAS ÉTUDIÉS POUR LE CALCUL DU NCE.....	126
FIG–15.2.4B.27 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/ SECONDAIRE.....	127
FIG–15.2.4B.28 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES.....	128
FIG–15.2.4B.29 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	129
FIG–15.2.4B.30 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	130
FIG–15.2.4B.31 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV.....	131
FIG–15.2.4B.32 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR	132
FIG–15.2.4B.33 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET RÉACTIVITÉ	133

FIG-15.2.4B.34 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	134
FIG-15.2.4B.35 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBIT DE CHARGE.....	135
FIG-15.2.4B.36 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE.....	136
FIG-15.2.4B.37 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES.....	137
FIG-15.2.4B.38 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	138
FIG-15.2.4B.39 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	139
FIG-15.2.4B.40 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV	140
FIG-15.2.4B.41 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR.....	141
FIG-15.2.4B.42 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET RÉACTIVITÉ	142
FIG-15.2.4B.43 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	143
FIG-15.2.4B.44 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -  - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBIT DE CHARGE	144

FIG–15.2.4B.45 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE	145
FIG–15.2.4B.46 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES.....	146
FIG–15.2.4B.47 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	147
FIG–15.2.4B.48 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	148
FIG–15.2.4B.49 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV.....	149
FIG–15.2.4B.50 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR.....	150
FIG–15.2.4B.51 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET RÉACTIVITÉ	151
FIG–15.2.4B.52 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	152
FIG–15.2.4B.53 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBITS DE CHARGE	153
FIG–15.2.4B.54 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE – [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	154
FIG–15.2.4B.55 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - TEMPÉRATURES	

BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	155
FIG–15.2.4B.56 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	156
FIG–15.2.4B.57 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	157
FIG–15.2.4B.58 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	158
FIG–15.2.4B.59 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)	159
FIG–15.2.4B.60 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET RÉACTIVITÉ (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)	160
FIG–15.2.4B.61 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE).....	161
FIG–15.2.4B.62 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBITS DE CHARGE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)	162
FIG–15.2.4B.63 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – PRÉPOSITIONNEMENT DES VANNES DE CONTRÔLE VDA EN FONCTION DU NIVEAU DE PUISSANCE ETUDIE	163
FIG–15.2.4B.64 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE- PLAGE ALLANT DE 0 À 5%PN.....	164

FIG–15.2.4B.65 DÉFAILLANCE D’UNE VANNE RÉGLANTE D’UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ - PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE	165
FIG–15.2.4B.66 DÉFAILLANCE D’UNE VANNE RÉGLANTE D’UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES	166
FIG–15.2.4B.67 DÉFAILLANCE D’UNE VANNE RÉGLANTE D’UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR.....	167
FIG–15.2.4B.68 DÉFAILLANCE D’UNE VANNE RÉGLANTE D’UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	168
FIG–15.2.4B.69 DÉFAILLANCE D’UNE VANNE RÉGLANTE D’UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D’ALIMENTATION DES GV	169
FIG–15.2.4B.70 DÉFAILLANCE D’UNE VANNE RÉGLANTE D’UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR	170
FIG–15.2.4B.71 DÉFAILLANCE D’UNE VANNE RÉGLANTE D’UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L’ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D’INJECTION DE SÉCURITE ET RBS ET RÉACTIVITÉ.....	171

FIG-15.2.4B.72 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	172
FIG-15.2.4B.73 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – DÉBIT DE CHARGE	173
FIG-15.2.4B.74 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES	174
FIG-15.2.4B.75 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR	175
FIG-15.2.4B.76 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	176
FIG-15.2.4B.77 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV	177
FIG-15.2.4B.78 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR	178
FIG-15.2.4B.79 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS	

COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE.....	179
FIG-15.2.4B.80 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	180
FIG-15.2.4B.81 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/ SECONDAIRE	181
FIG-15.2.4B.82 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES	182
FIG-15.2.4B.83 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR	183
FIG-15.2.4B.84 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	184
FIG-15.2.4B.85 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV	185
FIG-15.2.4B.86 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS	

COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR	186
FIG-15.2.4B.87 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE.....	187
FIG-15.2.4B.88 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	188
FIG-15.2.4B.89 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/ SECONDAIRE	189
FIG-15.2.4B.90 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES	190
FIG-15.2.4B.91 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR	191
FIG-15.2.4B.92 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	192
FIG-15.2.4B.93 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR	

<p>À L'ÉTAT CONTRÔLE - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV 193</p> <p>FIG-15.2.4B.94 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR 194</p> <p>FIG-15.2.4B.95 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE..... 195</p> <p>FIG-15.2.4B.96 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES 196</p> <p>FIG-15.2.4B.97 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/ SECONDAIRE 197</p> <p>FIG-15.2.4B.98 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES 198</p> <p>FIG-15.2.4B.99 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR 199</p> <p>FIG-15.2.4B.100 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS</p>	
--	--

COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	200
FIG-15.2.4B.101 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV	201
FIG-15.2.4B.102 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR	202
FIG-15.2.4B.103 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE.....	203
FIG-15.2.4B.104 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	204
FIG-15.2.4B.105 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/ SECONDAIRE	205
FIG-15.2.4B.106 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE ALLANT DE 25 À 100%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES.....	206
FIG-15.2.4B.107 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE	

L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR	207
FIG-15.2.4B.108 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG	208
FIG-15.2.4B.109 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV	209
FIG-15.2.4B.110 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR.....	210
FIG-15.2.4B.111 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE ALLANT DE 25 À 100%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE	211
FIG-15.2.4B.112 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES	212
FIG-15.2.4B.113 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE	213

.15.2.4B RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR

L'accident étudié dans cette section correspond à une rupture de tuyauterie vapeur, alors que le réacteur est dans le domaine de fonctionnement défini par l'état A ou B.

L'accident est d'abord étudié en supposant que le réacteur est initialement à pleine puissance, puis en supposant que le réacteur est initialement en arrêt à chaud.

Pour l'analyse à puissance nulle, l'étude a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée en se basant sur un jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B). Puis l'analyse des modifications introduites ultérieurement permet de justifier l'absence d'impact sur le respect des critères techniques d'acceptation.

1. RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR [ÉTAT A]

Une rupture de tuyauterie vapeur en état A avec une brèche dont le diamètre équivalent est supérieur à \varnothing est classée comme un événement PCC-4. Cet accident est étudié dans la présente section 15.2.4b. Le transitoire de dilution en puissance (section 15.2.2r) avec aggravant sur un VDA est traité dans la section 15.2.4b.

Une rupture de tuyauterie vapeur en état A avec une brèche dont le diamètre équivalent est inférieur à \varnothing est classée PCC-3. Cet incident est étudié dans la section 15.2.3a.

1.1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

1.1.1. GÉNÉRALITÉS

La rupture de tuyauterie vapeur la plus grande est la rupture guillotine doublement débattue d'une ligne vapeur principale, désignée par le terme RTV-2A.

Les lignes vapeur principales du réacteur EPR sont conçues selon le concept d'exclusion de rupture dans la zone s'étendant de la sortie des GV au point fixe des lignes vapeur en aval des Vannes d'Isolation Vapeur (VIV). Par conséquent, une « RTV-2A en amont des VIV » ne doit pas être envisagée en tant qu'événement PCC-4, et la taille de brèche de la plus grande RTV dans le cadre des accidents PCC-4 correspond à la « RTV-2A en aval des VIV ».

Toutefois, malgré le concept d'exclusion de rupture, l'étude envisage des brèches en sortie GV, jusqu'à la RTV-2A. Cette approche permet de couvrir tous les types de brèches à l'intérieur de l'enceinte sous l'aspect refroidissement du circuit primaire (rupture de tuyauterie d'eau alimentaire et rupture de tuyauterie vapeur), la rupture guillotine doublement débattue d'une tuyauterie vapeur à l'intérieur de l'enceinte est étudiée comme taille de brèche maximale. Cette approche est très conservatrice : elle combine la taille de brèche la plus grande et l'emplacement le plus pénalisant.

Le rejet de vapeur à la brèche conduit à une augmentation initiale du débit vapeur extrait des GV, qui décroît au cours de l'accident au fur et à mesure que la pression secondaire chute.

L'évacuation d'énergie du circuit primaire provoque une diminution de la température et de la pression du circuit primaire. Avec un coefficient de température modérateur négatif, le refroidissement conduit à l'insertion de réactivité dans le cœur. Il en résulte une augmentation de la puissance dans le cœur si le réacteur était initialement en puissance, ou un risque de retour à la criticité avec une possible excursion de puissance si le cœur était initialement en arrêt à chaud. Cet accident peut donc conduire à un risque de crise d'ébullition et d'endommagement de la gaine du combustible.

Pour des brèches suffisamment petites, le réacteur se stabilise à un niveau de puissance faiblement augmenté, sans risque vis-à-vis de la crise d'ébullition. Pour des brèches plus grosses, des signaux du système de protection sont générés et provoquent un Arrêt Automatique du Réacteur (AAR).

Des signaux d'isolement des lignes vapeur peuvent être également sollicités. Si la brèche est située en aval des vannes d'isolement vapeur, la fermeture de ces vannes met fin à la dépressurisation

secondaire et au refroidissement primaire. Si la brèche est située entre la sortie d'un générateur de vapeur et la vanne d'isolement sur la ligne vapeur correspondante, la dépressurisation de ce générateur de vapeur et le refroidissement de la boucle primaire correspondante se poursuivent. Le cœur peut devenir critique et une excursion de puissance peut être observée ; il y a de nouveau un risque d'endommagement du combustible.

1.1.2. SÉQUENCE TYPIQUE DES ÉVÉNEMENTS

1.1.2.1. De l'événement initiateur à l'état contrôlé

réacteur initialement en puissance :

Suite à l'ouverture de la brèche, le circuit secondaire se dépressurise. L'échange entre le primaire et le secondaire augmente. De ce fait la pression et la température primaires diminuent. Suite au refroidissement, la puissance nucléaire augmente.

La limitation bas RFTC, qui génère un arrêt partiel du réacteur et une réduction de la charge à la turbine, peut être atteinte. Elle n'est pas valorisée dans cette étude.

L'étude de la RTV en puissance qui a pour objectif de vérifier les critères de RFTC étant une étude à court terme, l'Arrêt Automatique des GMPP (AAGMPP) n'est pas pris en compte. Selon la taille de brèche, les signaux F1A suivants sont susceptibles d'activer l'AAR :

- baisse rapide de pression GV > MAX0p,
- basse pression GV secondaire < MIN1p,
- bas RFTC,
- puissance thermique élevée,
- puissance linéique élevée,
- basse pression pressuriseur,
- haute pression enceinte > MAX1p (si la brèche est située dans l'enceinte).

En cas de petite brèche, aucun signal d'AAR n'est généré. Le réacteur se stabilise à une puissance légèrement supérieure à la puissance initiale.

Côté secondaire, l'AAR provoque l'isolement des lignes à grand débit de l'ARE et le déclenchement de la turbine.

De plus, les signaux (F1A) de baisse rapide de pression GV (seuils MAX1p) ou basse pression GV (seuils MIN1p) entraînent la fermeture de toutes les VIV.

Après l'isolement des VIV, seul le GV affecté, qui subit une brèche non isolable (rupture en amont de la VIV ou rupture en aval de la VIV avec défaillance à la fermeture de la VIV), continue à se dépressuriser. L'isolement de la ligne de petit débit ARE des GV a lieu lorsque la pression du GV affecté atteint les seuils (signaux F1A) de baisse rapide de pression secondaire (MAX2p) ou de basse pression secondaire (MIN2p). L'ASG démarre automatiquement sur signal (F1A) de bas niveau GV (MIN2p). Si la régulation de débit ARE ne fonctionne plus dans les GV sains, les GV se remplissent jusqu'à atteindre le seuil (signal F1A) de haut niveau GV (MAX0p) qui isole complètement l'ARE. Le niveau GV redescend et atteint le seuil de mise en service de l'ASG (MIN2p).

L'évacuation d'énergie du circuit primaire provoque une diminution de la température et de la pression du primaire, avec démarrage des pompes d'Injection de Sécurité à Moyenne Pression (ISMP) et du refroidissement partiel sur signal de « Pression pressuriseur < MIN3p » (signal IS classé F1A).

Avec un coefficient de température modérateur négatif, le refroidissement du circuit primaire conduit à une insertion de réactivité. Selon les hypothèses de calcul, le réacteur peut redevenir critique avec une excursion de puissance.

L'effet Doppler et le bore injecté dans le primaire apportent l'anti-réactivité nécessaire pour limiter cette éventuelle augmentation de puissance.


Lorsque le GV affecté est vide, la puissance diminue rapidement jusqu'au niveau correspondant à la vaporisation du débit de l'ASG.

réacteur initialement à puissance nulle :

Si les accidents sont initiés en arrêt à chaud ou après l'arrêt du réacteur, le refroidissement excessif du cœur se poursuit avec un retour potentiel à la criticité du cœur tant que la dépressurisation du secondaire n'est pas interrompue.

Lors d'une brèche sur une ligne vapeur, les quatre GV se dépressurisent jusqu'à l'isolement des lignes vapeur sur signal de basse pression secondaire MIN1p ou sur signal de baisse rapide de pression secondaire MAX1p.

Dans le cas d'une brèche sur une ligne vapeur localisée en aval des VIV, cet isolement met fin au refroidissement du fluide primaire, et à l'insertion de réactivité dans le cœur. Si un retour à la criticité a été observé, l'injection de bore par l'IS et le RBS ainsi que le réchauffement des boucles primaires permet au cœur de redevenir sous-critique.

Dans le cas d'une brèche sur une ligne vapeur en amont des VIV ou si l'aggravant est postulé sur une VIV, après l'isolement des lignes vapeur, la chute de pression se poursuit dans le GV affecté. L'isolement de l'ARE se produit sur haut niveau GV MAX0p (si l'alimentation est excessive), ou sur basse pression secondaire MIN2p, ou sur baisse rapide de pression secondaire MAX2p ; après cet isolement, le niveau dans le GV affecté diminue et atteint le seuil de bas niveau GV MIN2p qui démarre l'ASG. La baisse de pression dans le GV affecté peut conduire à la mise en service automatique du RBS sur signal de basse pression secondaire MIN5p. Côté primaire, le cœur peut devenir critique et une excursion de puissance peut être observée notamment si la marge d'anti-réactivité est réduite par le blocage d'une grappe. La dépressurisation causée par la contraction du réfrigérant primaire peut être ralentie par le débit de charge. Si le signal de basse pression pressuriseur MIN3p est atteint, et si la pression primaire décroît suffisamment, les pompes d'injection à moyenne pression pourront apporter du bore dans le circuit primaire, afin de réduire la réactivité et diminuer la puissance du cœur. Si la pression primaire ne décroît pas suffisamment et si le RBS n'a pas démarré automatiquement, le cœur reste critique et la puissance dans le cœur se stabilise à la puissance échangée aux GV. Les premières actions  demandées à l'opérateur consistent à isoler le GV affecté (en particulier en interrompant l'alimentation de secours vers ce GV) et à démarrer le RBS (si celui-ci n'a pas déjà démarré automatiquement) pour apporter du bore dans le cœur et permettre au cœur de devenir durablement sous-critique.

Dans le cas des brèches localisées en sortie d'un GV à l'intérieur de l'enceinte du réacteur, consécutivement au signal d'isolement vapeur, si le débit de vapeur à la brèche est suffisant pour activer le signal de Haute pression enceinte MAX1p, un signal d'AAGMPP est émis. Comparativement à une brèche située hors de l'enceinte du réacteur, la décroissance du débit primaire entraîne des contre réactions neutroniques plus importantes et une diminution de l'échange entre les circuits primaire et secondaire qui limite les conséquences de l'accident.

Après isolement par l'opérateur de la ligne ASG du GV affecté et le démarrage du RBS (ou du RCV s'il est disponible) qui lance une borication du circuit primaire avec une forte concentration de bore enrichi, le cœur redevient durablement sous-critique (si le bore apporté par le RIS n'a pas suffi à assurer le retour à la sous-criticité) :

- Pour les petites brèches, l'activation du RBS (ou du RCV s'il est disponible) accélère le retour à la sous-criticité sans avoir à attendre la vidange complète du GV affecté. Si la fermeture des VIV et l'isolement des lignes ARE du GV affecté n'ont pas déjà été automatiquement effectués, l'opérateur devra les réaliser pour assurer l'isolement complet du GV affecté.
- Pour les brèches de taille plus importante, l'isolement de l'ASG du GV affecté par la brèche non isolable entraîne l'assèchement de ce GV. La vidange du GV provoque un réchauffement du fluide primaire et une augmentation de la sous-criticité.

L'état contrôlé est alors atteint avec :

- le cœur sous-critique,
- la puissance du cœur évacuée par les GV sains, via l'ASG (ou ARE si disponible) et les VDA (ou le GCT si les VIV n'ont pas été fermées automatiquement, dans le cas des brèches plus petites par exemple, et s'il est disponible),
- un inventaire en eau du circuit primaire stable,
- des rejets radiologiques tolérables.

Défaillance d'une vanne réglante d'un VDA en cas de transitoire de dilution en puissance

En cas de dilution, l'augmentation de la puissance du réacteur liée à l'insertion de réactivité par la dilution peut conduire à un AAR sur les signaux suivants :

- bas RFTC,
- puissance thermique élevée,
- puissance linéique élevée,
- interaction pastille gaine (IPG),
- haut niveau dans le pressuriseur MAX1p,
- haute pression dans le pressuriseur MAX2p.

La protection anti-dilution (PAD) peut être activée, ce qui permet d'arrêter la dilution (isolement de la source de la dilution via l'isolement de la charge RCV), d'isoler l'ARE et de démarrer le RBS.

L'augmentation de pression secondaire liée au déclenchement de la turbine (dans le cas où le GCT est indisponible) peut conduire à l'ouverture des vannes d'isolement des VDA sur signal de haute pression secondaire MAX1p. Si l'on postule que la vanne réglante d'un VDA est bloquée ouverte par application de la défaillance unique, la dépressurisation du circuit secondaire mène au refroidissement du réfrigérant primaire. Le refroidissement, combiné à l'initiateur de dilution, peut mener à un retour critique.

Le refroidissement du circuit primaire provoque une diminution de la pression du primaire, pouvant induire l'émission du signal IS (signal classé F1A) suite à l'atteinte du seuil de basse pression pressuriseur MIN3p, et ainsi un refroidissement partiel et le démarrage des pompes d'Injection de Sécurité à Moyenne Pression (ISMP). Si la pression primaire décroît suffisamment, les pompes d'injection à moyenne pression pourront apporter du bore dans le circuit primaire.

Côté secondaire, les quatre GV se dépressurisent jusqu'à l'isolement des lignes vapeur sur signal de basse pression secondaire MIN1p ou sur signal de baisse rapide de pression secondaire MAX1p. Après l'isolement des lignes vapeur, la chute de pression se poursuit dans le GV affecté. Si l'ARE n'a pas été isolé par la PAD, il peut l'être sur haut niveau GV MAX0p (si l'alimentation est excessive), ou sur basse pression secondaire MIN2p, ou sur baisse rapide de pression secondaire MAX2p.

Lorsque la pression secondaire du GV affecté atteint le seuil de basse pression secondaire MIN3p, la fermeture de la vanne d'isolement du VDA affecté arrête la dépressurisation du circuit secondaire. Le refroidissement du circuit primaire et l'insertion de réactivité sont alors terminés.

L'arrivée du bore en provenance du RBS et de l'IS (si la pression de refoulement des pompes ISMP est atteinte) permet l'insertion d'anti-réactivité et de rendre le cœur durablement sous-critique.

L'état contrôlé est alors atteint avec :

- le cœur sous-critique,
- la puissance du cœur évacuée par les GV sains, via l'ASG (ou ARE si disponible) et les VDA,
- un inventaire en eau du circuit primaire stable,
- des rejets radiologiques tolérables.

1.1.2.2. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

Pour rejoindre l'état d'arrêt sûr, il est nécessaire que les générateurs de vapeur puissent amener le circuit primaire aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

- Lors d'une brèche secondaire, à l'issue de la phase automatique, l'opérateur peut être orienté vers les conduites suivantes : Si la puissance nucléaire n'est pas nulle lors de l'entrée en conduite, l'opérateur est orienté vers la séquence de « Stabilisation - Contrôle de la puissance nucléaire » sur un critère de flux supérieur à \square . Dans cette séquence, suite à une demande de borication du circuit primaire, l'opérateur démarre les pompes RBS. Le contrôle de la température primaire demande de stabiliser la pression GV à la pression de consigne de la vanne de contrôle du VDA. Cependant, la brèche n'étant pas isolée, la TRIC diminue toujours. Lorsque le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid a été injecté, l'opérateur est réorienté en « Passage en arrêt à froid avec injection de sécurité » ou « Passage en arrêt à froid sans injection de sécurité » sur un critère de conduite accidentelle en cours. Un refroidissement à 50°C/h, ainsi qu'une dépressurisation du circuit primaire sont réalisés jusqu'à la validation du permissif P14, l'opérateur peut alors connecter le RIS-RA en mode RA.
- Si au moins un GV est déclaré inutilisable ou si l'écart de pression entre GV non isolés est supérieur à \square , l'opérateur est orienté vers les stratégies de « Passage à l'arrêt à froid sans injection de sécurité » ou de « Passage à l'arrêt à froid avec injection de sécurité ». Ces stratégies demandent une borication immédiate du fluide primaire pour atteindre la concentration en bore de l'arrêt à froid. En parallèle, elles demandent une dépressurisation du circuit primaire et un refroidissement du fluide par le secondaire à 25°C/h si 1 train RBS est en service ou 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid a été injecté. Si un ou plusieurs trains RIS sont en service, l'abaissement de la pression de refoulement des trains ISMP par l'ouverture de la grande ligne à débit minimum permet d'entamer une dépressurisation afin d'atteindre l'état d'arrêt sûr. Quand le permissif P14 est validé (température et pression dans les branches chaudes inférieures à 180°C et 32 bar abs respectivement) avec une marge à la saturation satisfaisante, l'opérateur peut connecter le RIS-RA en mode RA.
- A défaut, l'opérateur est orienté en « Conduite Incidentelle » suite à l'émission d'un signal d'AAR. Dans un premier temps, une « Stabilisation en conduite incidentelle » est demandée tant que le critère de niveau d'eau dans les bâches ASG est respecté. Au plus tard, quand le niveau d'eau dans les bâches ASG devient inférieur au seuil MIN, un « Passage en état de repli en conduite incidentelle » est demandé. L'opérateur procède à une borication du fluide primaire par le RBS, injecte un volume de bore assurant la concentration en bore requise, et effectue en parallèle un refroidissement du fluide primaire par une ouverture contrôlée des vannes VDA ; la vitesse de refroidissement est de 25°C/h ou de 50°C/h selon le nombre de trains RBS en service et le niveau d'eau dans le pressuriseur. Un refroidissement à 50°C/h est également possible si le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été injecté. En parallèle, une dépressurisation contrôlée du circuit primaire est réalisée. Le refroidissement est maintenu jusqu'à l'atteinte d'une température et pression de 135°C et 32 bar abs en branche chaude avant de connecter le RIS-RA en mode RA.

1.1.3. PRÉCAUTIONS LIMITANT LES CONSÉQUENCES DE L'ÉVÉNEMENT

Chaque GV est équipé de limiteurs de débit à buses multiples. Ces limiteurs limitent le débit vapeur à la sortie du GV dans le cas d'une rupture de tuyauterie vapeur, quelle que soit la position de la brèche.

Les lignes vapeur principales du réacteur EPR sont conçues selon le concept d'exclusion de rupture dans la zone s'étendant de la sortie des GV au point fixe des VIV.

1.2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères techniques d'acceptation à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482° C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.

En pratique et dans un objectif de simplification :

- Pour l'étude en puissance (sans MDTE), le respect des dommages limités sur les assemblages combustible est vérifié par le respect de critères techniques d'acceptation plus restrictifs, correspondant aux événements PCC-2 :
 - Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition. Lorsque la chaîne bas RFTC est valorisée, un critère de RFTC supérieur à 1,0 est vérifié (voir section 4.4).
 - L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée.
- Pour l'étude initiée à puissance nulle, il s'agit de vérifier l'absence de dommages sur les assemblages par le respect des critères techniques d'acceptation suivants :
 - Le maintien de l'intégrité des gaines du combustible doit être démontré par l'absence de crise d'ébullition. La corrélation utilisée \square donne les valeurs limites suivantes de RFTC à respecter en fonction de la vitesse massique G, \square
 - \square
 - \square
 - \square
 - \square
 - L'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible doit être démontrée. La puissance linéique maximale doit rester inférieure à 590 W/cm, ou en cas de dépassement de cette valeur, elle doit rester inférieure à la puissance linéique à fusion (voir [§ 1.5.2.8.1.4.](#)).

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

pour l'état contrôlé :

- Le cœur est sous critique : $keff < 1,0$.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
- L'inventaire en eau est stable.

- Les rejets radiologiques restent tolérables.

pour l'état d'arrêt sûr :

- Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.3. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

1.3.1. MÉTHODES D'ÉTUDE

1.3.1.1. Accident de RTV initiée en puissance

□

1.3.1.2. Accident de RTV initié à puissance nulle

□

La démarche d'étude est détaillée aux [§ 1.5.2.1.](#) et [§ 1.5.2.2.](#)

□

1.3.1.3. Défaillance d'une vanne réglante d'un VDA en cas de transitoire de dilution en puissance

L'étude de la défaillance d'une vanne réglante du VDA d'un GV à sa sollicitation en cas de dilution en puissance couvre une plage de puissance initiale de 0 à 100%PN. Cette dernière est discrétisée en trois plages pour lesquelles une démarche d'étude distincte est mise en œuvre (voir [§ 1.5.3.1.](#)) :

- plage de 25 à 100 %PN,
- plage de 5 à 25 %PN,
- plage de 0 à 5 %PN.

Pour l'étude de la plage de puissance allant de 0 à 5%PN, comme pour la RTV initiée à puissance nulle, la démarche d'étude est basée sur le couplage triple d'un code de neutronique □, d'un code de thermohydraulique cœur □ et d'un code de fonctionnement d'ensemble de la chaudière, permettant une meilleure représentation des phénomènes physiques dans la chaudière.

□

L'étude de la plage de puissance allant de 5 à 100% PN repose sur l'enchaînement de deux calculs non couplés visant à déterminer la marge à la criticité minimale au cours du transitoire :

- un calcul thermohydraulique □: Le transitoire simule le comportement global des circuits primaire et secondaire, prend en compte la cinétique de refroidissement du circuit primaire et valorise l'apport de bore par les systèmes RIS et RBS. Les conditions thermohydrauliques de ce transitoire (Pression, Température, Concentration en bore) sont ensuite utilisées pour le calcul suivant.
- un calcul neutronique statique □ permettant de déterminer la marge à la criticité aux instants sélectionnés.

1.3.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION

Les fonctions de contrôle commande F1A suivantes assurent les actions de protection en cas de rupture de tuyauterie vapeur :

- Arrêt Automatique du Réacteur sur :
 - puissance thermique élevée,
 - bas RFTC,
 - puissance linéique élevée,
 - pression pressuriseur < MIN2p,
 - baisse rapide de pression secondaire > MAX0p,
 - niveau GV < MIN1p,
 - pression secondaire < MIN1p,
 - pression enceinte > MAX1p.
- injection de sécurité sur :
 - pression pressuriseur < MIN3p.
- démarrage du refroidissement partiel dans tous les GV sur :
 - signal IS,
 - niveau GV > MAX2p.
- fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur sur :
 - baisse rapide de pression secondaire > MAX1p,
 - pression secondaire < MIN1p.
- isolement de toutes les lignes ARE grand débit sur :
 - compte-rendu d'AAR.
- isolement de la ligne à petit débit ARE, GV par GV, sur :
 - pression secondaire < MIN2p,
 - niveau GV > MAX0p, [] après émission du compte-rendu d'AAR.
- isolement de la ligne à petit débit ARE, dans tous les GV, sur :
 - baisse rapide de pression secondaire > MAX2p.
- démarrage de l'ASG sur :
 - niveau GV < MIN2p, GV par GV,
 - signal IS+MDTE, dans tous les GV.
- isolement de l'ASG, GV par GV, sur :
 - niveau GV > MAX1p,
 - action opérateur (isolement manuel).
- isolement VDA, GV par GV sur :
 - pression secondaire < MIN3p.

- isolement de la charge sur :
 - signal IS,
 - haut niveau pressuriseur > MAX1p,
 - baisse rapide de pression secondaire > MAX2p.
- Arrêt des Groupes MotoPompes Primaires sur :
 - signal d'isolement des lignes vapeur + haute pression enceinte > MAX1p.
- démarrage du RBS sur :
 - pression secondaire < MIN5p,
 - action opérateur .

Dans le cas de la défaillance d'une vanne réglante du VDA d'un GV à sa sollicitation en cas de dilution en puissance, la protection anti-dilution en état d'arrêt est activée après un AAR si la concentration en bore reconstruite par la PAD est inférieure au seuil de protection. Cette reconstruction utilise les données suivantes :

- la concentration en acide borique de la ligne de charge du RCV fournie par le boremètre,
- le débit de charge du système RCV,
- la température d'entrée fournie par la mesure en BF,
- la température du RCV pour corriger la valeur de concentration en bore.

Les actions suivantes sont émises sur signal PAD en état d'arrêt :

- isolement de la charge RCV par la fermeture automatique des vannes redondantes en aval du réservoir du système RCV et basculement de l'aspiration des pompes de charge vers le réservoir IRWST,
- isolement complet de l'ARE lorsque le signal PAD est associé à un signal d'AAR,
- démarrage du RBS lorsque le signal PAD est associé à un signal d'AAR.

Les actions opérateur sont considérées 30 minutes après l'instant du premier signal significatif en salle de commande.

Lorsque le niveau de puissance est faible, les lignes grand débit ARE sont fermées dans tous les GV et seules les lignes petit débit et très petit débit ARE sont ouvertes. Pour des niveaux de puissance plus élevés, les lignes grand débit sont ouvertes en complément des lignes petit débit et très petit débit ARE.

1.4. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS (DE L'INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ)

1.4.1. FUITES OU RUPTURES DE TUYAUTERIE POTENTIELLES

Le concept d'exclusion de rupture est appliqué aux lignes vapeur principales de la sortie des GV jusqu'au point fixe en aval des VIV, y compris les tubulures des soupapes de sûreté GV et des VDA. Aucune tuyauterie de taille importante n'est connectée aux lignes vapeur principales à l'intérieur de l'enceinte.

Le concept d'exclusion de rupture n'est pas appliqué aux lignes vapeur principales en aval du point fixe, à la ligne de by-pass des VIV , à la ligne d'alimentation normale des GV (ARE), à la ligne d'alimentation de secours des GV (ASG) et à la ligne de purge des GV (APG).

Aucune rupture de tuyauterie vapeur ne doit être considérée dans la partie des lignes vapeur conçue selon le concept d'exclusion de rupture. Par conséquent, les événements suivants doivent être traités

dans le cadre des études PCC relatives aux fuites ou ruptures côté secondaire (voir la figure [FIG-15.2.4b.5](#)) :

- événement 1 : toute taille de brèche en aval du point fixe, jusqu'à la rupture guillotine doublement débattue, dite RTV-2A (section 15.2.4b – Cet événement est couvert par le spectre de brèches à l'extérieur de l'enceinte, décrit au [§ 1.4.2.2.3.](#)),
- événement 2 : ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA (section 15.2.3d),
- événement 3 : ouverture intempestive d'une soupape de sûreté GV (section 15.2.3d),
- événement 4 : rupture de la ligne de by-pass des VIV (section 15.2.4b – Cet événement est couvert sous l'aspect refroidissement par la rupture guillotine, décrite au [§ 1.4.2.2.1.](#) et le spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte, décrit au [§ 1.4.2.2.2.](#)),
- événement 5 : rupture de la ligne ARE en aval du clapet anti-retour des GV (section 15.2.4c – Cet événement est couvert sous l'aspect refroidissement par la rupture guillotine, décrite au [§ 1.4.2.2.1.](#) et le spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte, décrit au [§ 1.4.2.2.2.](#)),
- événement 6 : rupture de la ligne ASG en aval du clapet anti-retour des GV (section 15.2.4c – Cet événement est couvert sous l'aspect refroidissement par la rupture guillotine, décrite au [§ 1.4.2.2.1.](#) et le spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte, décrit au [§ 1.4.2.2.2.](#)),
- événement 7 : rupture de la ligne APG en amont des vannes d'isolement de l'APG (section 15.2.4c – Cet événement est couvert sous l'aspect refroidissement par la rupture guillotine, décrite au [§ 1.4.2.2.1.](#) et le spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte, décrit au [§ 1.4.2.2.2.](#)).

1.4.2. CAS ÉTUDIÉS

1.4.2.1. Accident de RTV initié en puissance

1.4.2.1.1. Instant du cumul du MDTE

Conformément aux règles d'étude, le cumul du MDTE est à considérer. Le choix de l'instant de sa prise en compte est à retenir parmi l'instant initial, instant d'AAR ou instant d'IS.

Le cumul du MDTE à l'instant initial impose la décroissance de débit primaire et conduit très rapidement à un AAR par basse vitesse des pompes primaires ; en conséquence, avant et au début de la chute des grappes, l'impact de la brèche sur les paramètres primaires (autres que le débit) qui font évoluer le RFTC (pénalité sur la puissance cœur par le refroidissement en entrée cœur et diminution de la pression primaire) est très faible.

Le cumul du MDTE à l'instant de l'IS n'est pas pertinent car le minimum de RFTC est atteint peu de temps après l'AAR. Or le signal IS est émis plus tard.

Les conséquences d'un cumul MDTE à l'instant d'AAR doivent donc être calculées.

Le cumul MDTE est considéré à l'arrêt automatique du réacteur, au moment du franchissement du seuil bas RFTC, car les paramètres thermo-hydrauliques primaires auront eu le temps d'évoluer, donc la marge vis-à-vis de la crise d'ébullition aura eu le temps de diminuer significativement au moment où le débit primaire commence à décroître suite à l'arrêt des pompes primaires.

1.4.2.1.2. Spectre de brèche

De façon conservative, les brèches  en amont du point fixe sont traitées dans cette section.

Pour un accident initié en puissance, un spectre de brèches est réalisé afin d'obtenir la taille de brèche pénalisante vis-à-vis des critères de RFTC et de puissance linéique.

On peut distinguer trois plages de tailles de brèches :

- Pour les brèches suffisamment grosses, la dépressurisation dans la ligne vapeur rompue est très rapide : l'AAR sur baisse rapide de pression dans le GV affecté intervient avant l'AAR par bas RFTC (événements de type II, voir sous-chapitre 4.4).

- Pour les brèches moyennes, la dépressurisation secondaire est plus lente. Pour ces tailles de brèche, l'AAR par bas RFTC intervient en premier (événements de type I, voir sous-chapitre 4.4).
- Pour les petites brèches, la puissance se stabilise à une valeur inférieure au seuil de puissance thermique élevée. De plus, la brèche est trop petite pour conduire à un AAR sur basse rapide de pression GV ou par bas RFTC.

On appelle brèche d'interface, la brèche délimitant deux domaines.

Il existe deux brèches d'interface. La brèche d'interface délimitant le domaine sans AAR et celui par bas RFTC, ainsi que la brèche délimitant le domaine d'AAR par bas RFTC et celui de l'AAR par baisse rapide de pression secondaire.

La brèche la plus pénalisante vis-à-vis du RFTC est la brèche conduisant au RFTC_{min} le plus bas et au maximum de puissance thermique.

Les spectres de brèche obtenus pour les cas sans et avec MDTE sont distincts. Les brèches d'interface et la brèche pénalisante trouvée ne correspondent pas aux mêmes tailles de brèche.

1.4.2.2. Accident de RTV initié à puissance nulle

Plusieurs cas sont étudiés, couvrant les scénarios de refroidissement incontrôlé les plus pénalisants qui peuvent résulter d'une rupture de tuyauterie vapeur ou d'une fuite de vapeur.

Concernant la localisation des brèches à étudier, des effets antagonistes liés à la mise en place de la protection par AAGMPP induisent la nécessité d'étudier différentes localisations de brèches.


1.4.2.2.1. Cas 1 : brèche guillotine doublement débattue en sortie GV avec protection par arrêt automatique des GMPP, avec aggravant sur une grappe bloquée hors du cœur

L'accident est initié par la rupture guillotine doublement débattue d'une ligne vapeur principale à l'intérieur de l'enceinte. L'emplacement choisi est le plus pénalisant vis-à-vis du comportement du cœur c'est-à-dire en amont des VIV, à la sortie du GV 1 (GV sur la boucle diamétralement opposée à celle portant le pressuriseur). Cette brèche est étudiée de manière conservative malgré le concept d'exclusion de rupture.



Ce cas provoque le refroidissement le plus rapide dû à une taille de brèche non isolable la plus grande possible. Il entraîne également une excursion de puissance pénalisée au point chaud par le blocage d'une grappe hors du cœur, au titre de la défaillance unique.

1.4.2.2.2. Cas 2 : brèche pénalisante du spectre de brèches en sortie GV, avec aggravant sur une grappe bloquée hors du cœur

L'analyse du spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte est réalisée pour s'assurer du bon dimensionnement et de la couverture des signaux de protection.

Suivant la taille de brèche, l'augmentation de pression dans l'enceinte peut être limitée. Dans ce cas, le signal de haute pression enceinte MAX1p peut ne pas être atteint. La protection par Arrêt Automatique des GMPP (AAGMPP) n'est alors pas activée. La plus grosse brèche pour laquelle le signal n'est pas atteint est la brèche d'interface .

Le spectre de brèches peut être divisé en deux catégories :

- les brèches qui ne sollicitent pas la protection d'arrêt automatique des GMPP ,
- les brèches qui sollicitent la protection d'arrêt automatique des GMPP .

L'accident est initié par une rupture d'une ligne vapeur principale de section inférieure au cas 1. La taille de la brèche présentée est celle qui amène aux résultats les plus pénalisants vis-à-vis des critères techniques d'acceptation. L'emplacement choisi est le plus pénalisant vis-à-vis du comportement du cœur c'est-à-dire en amont des VIV, à la sortie du GV 1. Une grappe est bloquée hors du cœur, au titre de la défaillance unique.

1.4.2.2.3. Cas 3 : brèche pénalisante du spectre de brèches en aval de la vanne d'isolement vapeur, sans arrêt automatique des GMPP, avec aggravant sur une vanne d'isolement vapeur

Il s'agit de la rupture d'une ligne vapeur principale à la sortie d'une VIV, combinée à la défaillance de cette VIV à la fermeture. La défaillance unique est portée sur la non fermeture de la VIV de la ligne vapeur rompue, aucune grappe n'est bloquée hors du cœur. La brèche étant située à l'extérieur de l'enceinte le signal d'arrêt automatique des GMPP n'est jamais activé (le seuil de haute pression enceinte MAX1p ne pouvant être atteint). La taille de la brèche présentée est celle qui amène aux résultats les plus pénalisants vis-à-vis des critères techniques d'acceptation.

1.4.2.2.4. Cumul du manque de tension externe

La réduction du débit primaire et l'arrêt de l'ARE induits par le MDTE ont un impact favorable sur l'évolution de la réactivité. En conséquence, le MDTE n'est pas pris en compte pour les cas sans AAGMPP. Pour les cas avec AAGMPP, la prise en compte d'hypothèses pénalisantes permettent de couvrir le MDTE (mise en service ASG sur signal IS et délais de mise en service des systèmes de sauvegarde allongés).

1.4.2.3. Défaillance d'une vanne réglante d'un VDA en cas de transitoire de dilution en puissance

Il s'agit de traiter le blocage en position ouverte de la vanne de contrôle d'un VDA à sa sollicitation en cas de dilution en puissance. Le transitoire PCC-2 de « dilution en puissance » est étudié dans la section 15.2.2r, avec défaillance unique portée sur la grappe la plus anti-réactive bloquée au-dessus du cœur. Ce cas traite du même transitoire de dilution homogène, mais la défaillance unique porte sur la vanne réglante d'un VDA au lieu de la grappe bloquée hors du cœur. Le seuil de la protection « anti-dilution en puissance » est fixé de manière à garantir que le cœur est juste critique à puissance nulle à chaud, sans xénon et toutes les grappes de contrôle étant insérées sauf la grappe la plus anti-réactive, bloquée en dehors du cœur.

En conséquence, suite à l'AAR, le seuil PAD garantit que le cœur est sous-critique avec une marge correspondant :

- à l'efficacité de la grappe qui a été considérée bloquée dans le dimensionnement du seuil de la protection « anti-dilution en puissance »,
- et au niveau xénon associé à la puissance initiale considérée.

La dépressurisation non contrôlée des GV résultant du blocage en position ouverte de la vanne réglante du VDA se produit en présence d'une marge de sous-criticité réduite après l'AAR.

L'impact du MDTE n'est pas pris en compte. Il induirait en particulier un arrêt des GMPP et de l'ARE.

1.5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

1.5.1. CAS DE LA RTV INITIÉE EN PUISSANCE

1.5.1.1. État initial

Les valeurs initiales de puissance, température, pression primaire et niveau pressuriseur sont les valeurs extrêmes compatibles avec le fonctionnement en régime stationnaire pour tenir compte des incertitudes de façon pénalisante vis-à-vis du RFTC (cf. sous-chapitre 15.1). Le niveau GV initial est minoré afin d'accélérer la dynamique de l'accident et de favoriser l'augmentation de puissance.

Une sensibilité à la prise en compte du BTGV est réalisée sur le spectre de brèches. En effet, la prise en compte d'un BTGV augmente la température moyenne primaire initiale ce qui est pénalisant vis-à-vis du RFTC mais une surface d'échange au GV nominale favorise l'échange et le refroidissement.

La brèche la plus pénalisante en termes de RFTC et de Puissance linéique est obtenue pour une surface d'échange nominale.

Les conditions initiales sont présentées au tableau [TAB-15.2.4b.3](#).

1.5.1.2. Choix de la défaillance unique et de la maintenance préventive

L'aggravant retenu est la grappe la plus anti-réactive bloquée hors du cœur lors de l'AAR car cette hypothèse est pénalisante vis-à-vis du RFTC.

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour cet événement, aucune fonction de sûreté classée F1 concernée par la maintenance préventive n'étant sollicitée au cours de cette phase de calcul. En particulier, la maintenance préventive sur l'IS n'est pas considérée ici car le RFTC minimal est obtenu avant le démarrage de l'IS.

1.5.1.3. Hypothèses cœur

□ La distribution radiale considérée est la distribution radiale de conception normalisée au FΔH retenu.

□

De manière conservatrice, le RFTC minimum est calculé avec la valeur du FΔH qui conduit, dans les conditions initiales décrites au § 1.5.1.1. et avec la distribution axiale de puissance retenue, à une valeur du RFTC physique initial □ identique au RFTC initial calculé par l'algorithme. □.

Lorsque la chaîne bas RFTC n'est pas efficace, les distributions de puissance axiale et radiale considérées pour le calcul du RFTC minimum sont les mêmes que celles décrites précédemment, car :

- Dans le cas des grosses brèches, l'AAR par baisse rapide de pression GV intervient rapidement □ et le RFTC minimal est obtenu peu de temps après l'AAR. La dynamique de l'accident est d'autant plus rapide que la taille de brèche est importante. On peut considérer que le FΔH obtenu avec la méthode retenue est suffisamment enveloppe pour couvrir d'éventuelles perturbations des distributions de puissance dans le cœur, qui seraient induites par le refroidissement en entrée du cœur sur cette courte phase.
- Dans le cas des petites brèches (sans AAR), la prise en compte d'un FΔH plus élevé conduirait à l'AAR par bas RFTC et la prise en compte d'un FΔH plus faible serait nécessairement moins pénalisante vis-à-vis du RFTC.

sans cumul du MDTE :

De plus, pour accentuer l'augmentation de flux nucléaire lors du refroidissement et donc pénaliser la puissance linéique et le RFTC, on retient les données neutroniques suivantes :

- coefficient de densité du modérateur maximum en valeur absolue. Lorsque la régulation de température est prise en compte, l'impact d'un coefficient de densité du modérateur nul est analysé,
- coefficients Doppler puissance minimum et Doppler température maximum en valeur absolue,
- concentration en bore nulle,
- temps de chute des grappes maximum avec séisme,
- loi de puissance résiduelle (B+C) □,
- coefficients de transfert de chaleur combustible-réfrigérant maximaux.

Ces données neutroniques sont issues du sous-chapitre 15.1 et sont enveloppes de tous les cycles de la gestion du combustible et couvrent la prolongation de cycle.

avec cumul du MDTE :

Les hypothèses pénalisantes retenues sont les suivantes :

- coefficient de densité modérateur ρ enveloppe de la valeur minimale déterminée sur tous les cycles de la gestion à 100%PN, toutes grappes extraites et pour tous les épuisements,
- coefficients Doppler puissance maximum et Doppler température minimum en valeur absolue,
- concentration en bore nulle,
- temps de chute des grappes maximum avec séisme,
- loi de puissance résiduelle (B+C) ρ ,
- coefficients de transfert de chaleur combustible-réfrigérant minimaux.

1.5.1.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

régulations

La régulation de la pression du pressuriseur via l'aspersion normale est prise en compte car elle est pénalisante vis-à-vis du RFTC. Le débit d'aspersion est majoré de façon à favoriser la dépressurisation du circuit primaire ; les chaufferettes ne sont pas prises en compte.

L'effet de la régulation de température moyenne primaire est analysé pour les cas sans et avec MDTE. Les sensibilités conduisent à ne pas retenir la régulation pour le premier cas et à la considérer pour le deuxième.

La régulation turbine est prise en compte. Les vannes d'admission turbine sont régulées pour maintenir un débit vapeur constant à l'entrée de la turbine jusqu'à pleine ouverture de ces vannes. Le débit varie ensuite en fonction de la pression à l'admission de la turbine jusqu'au déclenchement de celle-ci.

Les autres fonctions de régulation ne sont pas prises en compte car elles sont soit sans impact soit favorables vis-à-vis du RFTC.

ARE

- Sans cumul MDTE
Par conservatisme, on suppose que le débit d'eau alimentaire est égal à tout instant au débit vapeur.
- Avec cumul MDTE
Par conservatisme, on suppose que le débit d'eau alimentaire est égal à tout instant au débit vapeur jusqu'à l'isolement des lignes à grand débit de l'ARE. Au cumul du MDTE, un arrêt instantané du débit ARE est considéré.

GMPP (avec cumul du MDTE)

- Les pompes primaires sont arrêtées dès l'instant du cumul du MDTE (postulé à l'instant du franchissement du seuil d'AAR par bas RFTC). La courbe de décroissance de débit primaire est pénalisée (inertie minimale) de manière à avoir la décroissance la plus rapide.

Aucune action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur et aucune limitation n'est prise en compte.

1.5.1.5. Hypothèses protection

Les signaux d'AAR modélisés sont :

- le signal bas RFTC (classé F1A), ρ :
 - ρ
 - ρ

- le signal «Puissance linéique élevée» (classé F1A), [] :
[]
- le signal «Puissance thermique élevée» (classé F1A), [] :
[]
- le signal «Baisse rapide de pression dans un GV (MAX0p)» (classé F1A), [] :
[]
- le signal « Basse pression GV » (classé F1A), [] :
[]
- le signal de « Basse pression pressuriseur » (classé F1A) [] :
[]

L'étude ne considère pas les signaux qui peuvent être générés dans l'enceinte.

Le déclenchement de la turbine a lieu avec un retard maximal [] après le signal d'AAR.

La valeur de l'efficacité intégrale de la chute des grappes tient compte de la grappe la plus antiréactive bloquée en position haute.

Le temps de chute des grappes est pris maximal avec séisme.

Un délai maximal [] après le signal d'AAR est pris en compte pour isoler les lignes à grand débit du circuit d'eau alimentaire normale.

L'isolement des lignes vapeur se produit sur activation d'un des signaux suivants :

- Le signal «Baisse rapide de pression dans un GV (MAX1p)» (classé F1A), [] :
[]
- Le signal « Basse pression GV » (classé F1A), [] :
[]

[]

1.5.1.6. Résultats

1.5.1.6.1. Cas sans cumul du MDTE

Le spectre de brèches ayant conduit à la brèche pénalisante est présenté sur la figure [FIG-15.2.4b.12](#). Il correspond à une configuration sans prise en compte de la régulation de température primaire, avec une surface d'échange primaire / secondaire nominale. Les tailles de brèche [] ont été balayées :

- De [], aucun signal d'AAR n'est sollicité. Le réacteur se stabilise dans un nouvel état stable, à une puissance supérieure à la puissance initiale.
- À partir de [], l'AAR par bas RFTC intervient. Pour cette taille de brèche d'interface, la puissance thermique maximale atteinte est de [] et le RFTC minimal obtenu est de [].
De [], la chaîne bas RFTC est efficace.
- Au-delà de [], l'AAR par baisse rapide de pression GV intervient.

La rupture de tuyauterie vapeur la plus pénalisante vis-à-vis des critères techniques d'acceptation correspond à une brèche de \square . Pour cette taille de brèche, les AAR « baisse rapide de pression dans un GV » et « bas RFTC » interviennent simultanément.

Les brèches de tailles équivalentes à l'ouverture d'une soupape GV ou d'un VDA sont également signalées sur la figure [FIG-15.2.4b.12](#).

Le tableau [TAB-15.2.4b.10](#) présente la séquence des événements pour la brèche d'interface \square . L'évolution des principaux paramètres de l'accident est présentée sur les figure [FIG-15.2.4b.13](#) à [FIG-15.2.4b.17](#).

L'accident est initié par l'ouverture d'une brèche de \square sur la ligne vapeur en sortie du GV 1, qui entraîne une forte dépressurisation du GV affecté mais aussi des GV sains par l'intermédiaire du barillet vapeur. L'augmentation de l'appel de vapeur par le secondaire entraîne un refroidissement du primaire, ainsi qu'une baisse de la pression primaire. Du fait du coefficient modérateur négatif, la puissance nucléaire augmente et le RFTC diminue.

Les signaux d'AAR sur baisse rapide de pression GV et bas RFTC interviennent alors simultanément à \square .

Après le début de la chute des grappes \square , la puissance thermique continue d'augmenter jusqu'à atteindre \square . Le RFTC physique \square minimum est atteint \square et vaut \square . L'insertion des grappes entraîne ensuite une diminution de la puissance, de la température et de la pression primaires.

Le critère de RFTC étant respecté, aucun crayon n'entre en crise d'ébullition au cours de cet accident de rupture de tuyauterie vapeur.

Suite au signal d'AAR, la turbine est déclenchée \square et le grand débit ARE \square , n'est pas modélisé de façon conservative.

De plus comme la fermeture des vannes petit et grand débit ARE dure \square , l'arrêt du débit ARE n'est pas simulé, de façon conservative.

Après l'AAR, les accidents de rupture de tuyauterie vapeur initiés en puissance sont couverts, vis-à-vis des risques d'endommagement du cœur avant l'atteinte de l'état contrôlé, par l'étude des brèches sur les tuyauteries vapeur à puissance nulle.

La puissance linéique au cours de l'accident atteint la valeur maximum \square à 12,9 s.

1.5.1.6.2. Cas avec cumul MDTE

Le spectre de brèches ayant conduit à la brèche pénalisante est présenté sur la figure [FIG-15.2.4b.18](#).

Il correspond à la configuration suivante :

- prise en compte de la régulation de température moyenne primaire (efficacités différentielles maximisées des groupes de contrôle P et H),
- surface d'échange primaire / secondaire nominale,
- cumul du MDTE à l'instant du franchissement du seuil par bas RFTC.

Les tailles de brèche \square ont été balayées :

- De \square , aucun signal d'AAR n'est sollicité. Le réacteur se stabilise dans un nouvel état stable, à une puissance supérieure à la puissance initiale.
- À partir de \square , l'AAR par bas RFTC intervient. Pour cette taille de brèche interface, la puissance thermique maximale atteinte est de \square et le RFTC minimal obtenu est inférieur à 1,0. De \square , la chaîne bas RFTC est efficace.
- Au-delà de \square , l'AAR par baisse rapide de pression GV intervient.

La rupture de tuyauterie vapeur la plus pénalisante vis-à-vis des critères techniques d'acceptation correspond à une brèche de []. Pour cette taille de brèche, les AAR par baisse rapide de pression dans un GV et Bas RFTC interviennent simultanément.

Les brèches de tailles équivalentes à l'ouverture d'une soupape GV ou d'un VDA sont également signalées sur la figure [FIG-15.2.4b.18](#).

Le tableau [TAB-15.2.4b.11](#) présente la séquence des événements pour le cas pénalisant avec cumul du MDTE. L'évolution des principaux paramètres de l'étude est présentée sur les figures [FIG-15.2.4b.20](#) à [FIG-15.2.4b.25](#).

Compte-tenu des hypothèses retenues, le MDTE est postulé à l'instant du franchissement du seuil bas RFTC pour la brèche d'interface pénalisante [] identifiée par le spectre de brèche.

La séquence des événements est proche du cas sans MDTE. L'accident est initié par une brèche [] sur la ligne vapeur en sortie du GV 1, qui entraîne une forte dépressurisation du GV affecté mais aussi des GV sains par l'intermédiaire du barillet vapeur. L'augmentation de l'appel de vapeur par le secondaire entraîne un refroidissement du primaire, ainsi qu'une baisse de la pression primaire. Du fait de la régulation de température moyenne primaire, la puissance nucléaire augmente et la température primaire décroît lentement. La régulation de température compense en partie au début de l'accident les écarts de température liés à l'ouverture de la brèche.

Le seuil de détection par bas RFTC [] est franchi []. Le cumul du MDTE est postulé à cet instant. A partir de ce moment-là, la pression secondaire chute fortement. Le débit primaire décroît. Les pompes ARE ne sont plus alimentées, et le débit alimentaire s'annule instantanément de façon conservative. La puissance thermique continue d'augmenter légèrement jusqu'à atteindre [].

Les signaux d'AAR sur bas RFTC et baisse rapide de pression GV interviennent simultanément, []. Le début de la chute des grappes intervient []. Le RFTC physique [] minimum est atteint []. L'insertion des grappes entraîne ensuite une diminution de la puissance, de la température et de la pression primaires.

[] des crayons entrent en crise d'ébullition (NCE) au cours de l'accident de rupture de tuyauterie vapeur avec cumul MDTE, ce qui est inférieur au critère techniques d'acceptation relatif aux accidents PCC-4 (NCE inférieur à 10%).

La température maximale de la gaine atteinte au cours de l'accident est de [] et la température maximale au centre de la pastille est de []. L'évolution de ces températures est présentée sur la figure [FIG-15.2.4b.19](#). Les critères techniques d'acceptation relatifs aux accidents PCC-4 sont donc respectés.

La démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé est réalisée dans le cadre de l'étude de l'accident initié à puissance nulle.

1.5.1.6.3. Analyse de la prolongation de cycle

Le point limite à [] (température primaire minimale) du domaine de fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par le cas réalisé en cycle naturel car il est initié à une température primaire inférieure (pour un même niveau de puissance et une pression primaire identique, voir sous-chapitre 15.1), ce qui est favorable vis-à-vis du RFTC.

Pour les pas suivants en prolongation de cycle, la modification des paramètres de fonctionnement (voir sous-chapitre 15.1) conduit aux phénomènes suivants :

Les conditions thermohydrauliques initiales en prolongation de cycle (puissance et température primaires abaissées) sont globalement favorables vis-à-vis du RFTC (car leur effet conjugué prédomine sur l'effet de la diminution de pression initiale).

La pression secondaire étant abaissée en prolongation de cycle, pour une brèche donnée, le débit critique à la brèche est plus faible et la vitesse de dépressurisation plus lente. L'instant d'arrivée du

signal bas RFTC étant également modifié (compte-tenu des conditions initiales modifiées), la brèche d'interface est décalée par rapport à celle obtenue en cycle naturel.

Il n'y a pas d'impact lié aux données neutroniques, car celles retenues pour l'étude en cycle naturel couvrent la prolongation de cycle.

Compte-tenu de ces éléments, les critères techniques d'acceptation sont respectés pour les pas de fonctionnement en prolongation de cycle à puissance abaissée.

1.5.1.6.4. Conclusion de l'analyse des RTV initiées en puissance

L'absence de crise d'ébullition est démontrée sur le cas le plus pénalisant du spectre sans cumul du MDTE (brèche interface de \square) (voir § 1.5.1.6.1.). L'absence de crise d'ébullition et de fusion du combustible dans ce cas sans cumul du MDTE garantit le respect de dommages limités sur les assemblages combustibles pour l'ensemble du spectre RTV en puissance.

Le respect du critère technique d'acceptation relatif à la quantité de crayons combustible est démontré sur le cas le plus pénalisant du spectre dans le cas avec cumul MDTE (brèche interface de \square) (voir § 1.5.1.6.2.). \square Le critère technique d'acceptation relatif à la quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est par conséquent respecté (NCE inférieur à 10 %). \square Le combustible ne fond pas. L'ensemble de ces résultats garantit le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages limités sur les assemblages combustibles présentés au § 1.2. pour l'ensemble du spectre RTV en puissance (avec cumul du MDTE).

Enfin, après l'AAR, les accidents de rupture de tuyauterie vapeur initiées en puissance sont couverts, vis-à-vis de l'atteinte de l'état contrôlé, par l'étude des brèches sur les tuyauteries vapeur à puissance nulle (voir § 1.5.2.10.).

1.5.2. CAS DE LA RTV INITIÉE À PUISSANCE NULLE

Ce paragraphe présente l'étude menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire.

1.5.2.1. Démarche d'étude pour les initiateurs TGI-1

1.5.2.1.1. Constitution de l'abaque (FΔHi, MA)

Les configurations (cycle de gestion, grappe bloquée) sont analysées pour les cycles de la première gestion du réacteur EPR FA3, afin d'identifier leurs caractéristiques en termes de marge d'arrêt (MA) et de facteur d'élévation d'enthalpie initial (FΔHi). Ces caractéristiques sont ensuite positionnées, pour chacune des configurations étudiées, dans un abaque (FΔHi, MA).

Cet abaque est ensuite découpé en différentes plages de FΔH (voir figures FIG-15.2.4b.1 et FIG-15.2.4b.2), pour les FΔH importants uniquement (c'est à dire au-delà du FΔH de coupure \square justifié au § 1.5.2.8.1.5.) :

- zone 1 : configurations du cycle P1 présentant des marges d'arrêt faibles,
- zone 2a : \square
- zone 2b : \square
- zone 3 : \square



Les marges d'arrêt :

- sont calculées \square et, de manière pénalisante, aux épuisements FDV (fin de vie) pour les cycles N, DDS (début de stretch) pour les cycles P, FDS (fin de stretch) pour le cycle \square ,
- prennent en compte l'ouverture du domaine de fonctionnement en ΔI associée au passage en prolongation de cycle, et sont de ce fait calculées avec un xénon conduisant à \square dans l'état initial du calcul de marge d'arrêt,
- comprennent les incertitudes et pénalités détaillées dans le tableau TAB-15.2.4b.7.

1.5.2.1.2. Sélection des configurations pénalisantes

1.5.2.1.2.1. Calcul thermohydraulique chaudière initial



Un premier calcul thermohydraulique est réalisé sur l'une des configurations (cycle, grappe bloquée) étudiées lors de la constitution de l'abaque.


La grappe  est supposée bloquée hors du cœur pour le calcul thermohydraulique initial. Le cycle considéré est le cycle . Cette configuration est située dans la zone 2b de l'abaque (FΔHi ; Marge d'arrêt). Les hypothèses prises en compte sont détaillées dans les [§ 1.5.2.5.](#), [§ 1.5.2.6.](#) et [§ 1.5.2.7.](#)

1.5.2.1.2.2. Variations de Réactivité en Transitoire

Des calculs de Variation de Réactivité en Transitoire (VRT) sont effectués pour les configurations (cycle, grappe bloquée) dont le FΔHi est supérieur au FΔH de coupure. La VRT est l'écart des réactivités calculées respectivement dans les conditions initiales du calcul thermohydraulique (état initial du calcul de VRT) et les conditions du state point considéré (état final du calcul de VRT).

Les calculs de VRT sont réalisés au SP (State-Point) de RFTC minimum du calcul initial de la brèche 2A à l'intérieur de l'enceinte d'une part, et au SP de Plin maximum du calcul initial de la brèche pénalisante du spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte d'autre part.

Pour les calculs de VRT, les 4 nappes  sont prises en compte, ainsi que les nappes spéciales centrées sur les assemblages  (cf. figures [FIG-15.2.4b.6](#) à [FIG-15.2.4b.11](#)).

Les calculs statiques  réalisés dans les conditions du SP de Plin et du SP de RFTC du calcul initial permettent de définir, pour chaque zone de l'abaque :

- la configuration (cycle, grappe bloquée) et la nappe de températures et CB pénalisantes pour réaliser le calcul thermohydraulique dans la zone considérée, en comparant les valeurs de VRT des différentes configurations (cycle, grappe bloquée, nappe de températures et CB) de la zone: La configuration retenue est celle qui porte la VRT maximale car elle maximise le niveau de puissance atteint dans le calcul thermohydraulique.
- les configurations (cycle, grappe bloquée) et la nappe de températures et CB pénalisantes pour réaliser les calculs de Plin maximale dans la zone considérée, en comparant les valeurs de FQ des différentes configurations (cycle, grappe bloquée, nappe de températures et CB), pour chacun des lots d'assemblages (assemblages ayant fait 1, 2 ou 3 tours en réacteur): La configuration retenue est celle qui porte le FQ maximal pour chacun des lots d'assemblages.
- la configuration (cycle, grappe bloquée) et la nappe de températures et CB pénalisantes pour réaliser les calculs de RFTC minimal dans la zone considérée, en comparant les valeurs de FΔH des différentes configurations (cycle, grappe bloquée, nappe de températures et CB): La configuration retenue est celle qui porte le FΔH maximal. La vérification du critère en RFTC est également réalisée sur la configuration (cycle, grappe bloquée) portant le FQ maximal.

L'abaque correspondant à la brèche pénalisante du spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte, permettant de repérer les différentes configurations pénalisantes pour cette brèche, est donné sur la figure [FIG-15.2.4b.1](#).

L'abaque correspondant à la brèche 2A à l'intérieur de l'enceinte, permettant de repérer les différentes configurations pénalisantes pour cette brèche, est donné sur la figure [FIG-15.2.4b.2](#).

1.5.2.1.3. Simulation des calculs thermohydrauliques finaux

Les calculs thermohydrauliques finaux sont réalisés pour obtenir les conditions thermohydrauliques aux instants de maximum de puissance linéique et de minimum de RFTC.

Le couplage triple  est utilisé pour simuler les calculs thermohydrauliques.

Pour chaque zone, ces calculs sont réalisés avec la configuration qui porte la VRT maximale définie dans le [§ 1.5.2.1.2.](#)

1.5.2.1.4. Vérification du critère en RFTC

Le calcul du minimum de RFTC est effectué avec le code [1]. Pour chacune des zones de l'abaque, les hypothèses prises en compte dans ce calcul sont les suivantes :

- la distribution de puissance est issue d'un calcul [1] réalisé en prenant en compte les hypothèses suivantes :
 - la configuration (cycle ; grappe bloquée ; nappe de températures et CB) considérée est sélectionnée sur la base des calculs effectués dans les conditions finales du calcul de VRT ; il s'agit de la configuration portant le $F\Delta H$ et / ou le FQ max sur la plage considérée,
 - la distribution Xénon est obtenue lors du calcul de marge d'arrêt relatif à la configuration (cycle, grappe bloquée) considérée,
 - le modèle de cœur considéré est non pénalisé : les données neutroniques (coefficient de densité modérateur, effet Doppler, efficacité différentielle du bore) sont des valeurs BE,
 - les conditions aux limites (température entrée cœur des différentes zones, débit, puissance thermique, concentration en bore, pression²) sont issues du calcul thermohydraulique relatif à la zone considérée. Ces conditions sont obtenues à l'instant du minimum de RFTC,
- les conditions thermohydrauliques prises en compte dans le calcul de RFTC effectué [1] sont les suivantes :
 - la nappe de températures et CB entrée cœur considérée pour établir la distribution de puissance,
 - les autres conditions aux limites (débit, puissance thermique, pression) sont issues du calcul thermohydraulique relatif à la zone considérée et sont prises à l'instant du minimum de RFTC,
 - une sous-alimentation du débit [1] est prise en compte à l'entrée de l'assemblage chaud,
- le $F\Delta H$ issu du calcul [1] et pris en compte dans le calcul [1] est majoré des incertitudes, des pénalités et d'une provision (hors aléas de gestion) données dans les tableaux [TAB-15.2.4b.22](#) et [TAB-15.2.4b.23](#).

La corrélation de flux critique utilisée est [1].

Par ailleurs, des calculs de sensibilité fournissant une évaluation conservatrice et pénalisante de RFTC sont réalisés en considérant un blocage en titre plus important que le bord du domaine de validité de la corrélation présenté dans le sous-chapitre 4.4.

1.5.2.1.5. Vérification du critère en Plin

Le calcul du maximum de puissance linéique des assemblages cycle i ($i = 1$ à 3) est effectué [1].

Ce calcul permet d'accéder au facteur de point chaud (FQ) sur chaque assemblage du cœur. La puissance linéique maximale de chaque assemblage est alors obtenue [1] :

[1]

La puissance linéique maximale obtenue sur les assemblages en fin de cycle i ($i = 1$ à 3) est directement déduite de ces calculs.

Pour chacune des zones de l'abaque, les hypothèses prises en compte dans le calcul [1] sont les suivantes :

2. La pression atteinte lors du calcul thermohydraulique est suffisamment importante pour qu'il n'y ait pas de taux de vide susceptible d'entraîner une redistribution de puissance et une diminution du FQ. Il n'est donc pas nécessaire d'imposer une pression de découplage.

- Les configurations (cycle ; grappe bloquée ; nappe de températures et CB) considérées sont sélectionnées sur la base des calculs effectués dans les conditions finales du calcul de VRT ; il s'agit des configurations portant le FQ maximal pour chacun des lots d'assemblages (assemblages ayant fait 1, 2 ou 3 tours en réacteur) sur la zone considérée.
- La distribution Xénon est obtenue lors du calcul de marge d'arrêt relatif à la configuration (cycle, grappe bloquée) considérée.
- Le modèle de cœur considéré est non pénalisé : les données neutroniques (coefficient de densité modérateur, effet Doppler, efficacité différentielle du bore) sont des valeurs BE.
- Les conditions aux limites (température entrée cœur des différentes zones, débit, niveau de puissance nucléaire, concentration en bore, pression³) sont issues du calcul thermohydraulique relatif à la zone considérée. Ces conditions sont celles obtenues à l'instant du maximum de puissance linéique.
- Le FQ issu du calcul \square est majoré des incertitudes et des pénalités données dans les tableaux [TAB-15.2.4b.22](#) et [TAB-15.2.4b.23](#).

1.5.2.1.6. Détermination de la puissance linéique à fusion

Les calculs sont réalisés pour le combustible UO₂ de la première gestion du réacteur EPR FA3 et couvrent le combustible enrichi à \square .

Trois valeurs de puissances linéiques à fusion enveloppes sont calculées respectivement pour les assemblages du 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} cycle. Pour chaque type d'assemblage, les calculs couvrent l'épuisement maximal rencontré en première gestion (épuisements notés FDC1, FDC2 et FDC3).

Les taux d'épuisement enveloppes considérés correspondent aux taux d'épuisement associés à chaque fin de cycle i ($i = 1$ à 3) retenus dans la définition des historiques de puissance de classe 1 \square majorés \square . Les taux d'épuisement des historiques de puissance correspondent à des taux d'épuisement moyen crayon maximum. La majoration appliquée vise à obtenir des taux d'épuisement enveloppe des taux d'épuisement locaux maximum.

La température de fusion est diminuée de l'incertitude sur la température en Kelvin \square .

Les conditions thermohydrauliques enveloppes rencontrées dans le cas de la brèche de \square autour de l'instant pénalisant sont retenues pour le calcul.

\square

La conductance du jeu pastille/gaine est prise enveloppe des valeurs rencontrées pour la présente étude, \square :

\square

L'impact de la couche de zircone a été pris en compte dans les calculs de la puissance linéique à fusion.

1.5.2.2. Démarche d'étude pour l'initiateur TGI

L'initiateur TGI (brèche pénalisante du spectre de brèches à l'extérieur de l'enceinte) est étudié en utilisant les modèles de cœur pour le cycle \square prenant en compte des données neutroniques enveloppes tous cycles auxquelles sont appliquées les incertitudes, les pénalités tilt/SCTR/FPPR/ prolongation de cycle et les provisions présentées dans le tableau [TAB-15.2.4b.7](#).

Les configurations TGI ne présentent pas de dispersion en $F\Delta H$ (voir figure [FIG-15.2.4b.3](#)), il n'y a donc pas lieu, pour cet accident, d'appliquer une approche visant à balayer tout l'abaque comparable

3. La pression atteinte lors du calcul thermohydraulique est suffisamment importante pour qu'il n'y ait pas de taux de vide susceptible d'entraîner une redistribution de puissance et une diminution du FQ.

à ce qui est fait pour les configurations TGI-1. La prise en compte pour la réalisation du calcul thermohydraulique de données neutroniques enveloppes tous cycles et de provisions sur ces données neutroniques permet de garantir que le résultat est enveloppe de tous les cycles.

Le calcul du RFTC minimal est effectué en considérant les configurations portant le FQ et le FΔH maximal dans les conditions du State Point pénalisant pour le RFTC. Le FΔH est majoré des incertitudes et des pénalités données dans le tableau [TAB-15.2.4b.24](#). Le calcul de RFTC est réalisé conformément à ce qui est décrit dans le [§ 1.5.2.1.4.](#)

Le calcul de la Plin maximale est effectué, en considérant les configurations portant le FQ maximal parmi les assemblages du 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} cycle dans les conditions du State Point pénalisant pour la puissance linéique. Le FQ est majoré des incertitudes et des pénalités données dans le tableau [TAB-15.2.4b.24](#). Le calcul de Plin est réalisé conformément à ce qui est décrit dans le [§ 1.5.2.1.5.](#)

1.5.2.3. État initial

Les conditions initiales des principaux paramètres sont listées dans les tableaux [TAB-15.2.4b.4](#) et [TAB-15.2.4b.5](#). Cet état est enveloppe des états consécutifs à l'arrêt automatique du réacteur (le cas d'une RTV initiée en arrêt à chaud (état A3) est traité au [§ 1.5.2.9.](#)). Les hypothèses considérées visent à majorer le refroidissement du circuit primaire par les GV dans les conditions les plus défavorables vis-à-vis des critères techniques d'acceptation .

La température moyenne primaire initiale est celle de l'état A à puissance nulle, sans incertitude. L'incertitude sur la température est prise en compte dans le calcul de la marge d'arrêt ([§ 1.5.2.1.1.](#)).

Le niveau d'eau dans le pressuriseur est maximal afin de ralentir la dépressurisation primaire, et en conséquence retarder l'injection de bore par les pompes IS.

La concentration en bore du circuit primaire est initialement nulle.

Le débit primaire initial est pris :

- minimal (débit thermohydraulique) pour les situations sans arrêt des pompes primaires, hypothèse pénalisante pour le RFTC minimal et la puissance linéique maximale lors du retour en puissance,
- maximal (débit mécanique) pour les situations avec arrêt des pompes primaires, hypothèse pénalisante pour les situations avec perte de débit car le débit primaire maximisé favorise l'échange entre les circuits primaire et secondaire et donc le refroidissement.

Les tubes des GV sont considérés propres et sans bouchage afin de majorer l'échange primaire/secondaire et le refroidissement du circuit primaire.

Suivant les initiateurs étudiés, le niveau GV initial est minimal ou maximal :

- un niveau GV initial minimal permet d'accélérer la dynamique de dépressurisation du GV, de retarder l'isolement de l'ARE sur haut niveau GV et de favoriser le démarrage de l'ASG sur bas niveau GV,
- un niveau GV maximal peut retarder l'assèchement du GV affecté et peut donc pénaliser l'accident pour certains scénarios, notamment les petites tailles de brèche.

Pour chacun des cas identifiés au [§ 1.4.2.2.](#), un calcul enveloppe du cycle naturel et du début de la prolongation de cycle est réalisé. Le cas limitatif fait l'objet d'un calcul en prolongation de cycle afin de tenir compte de l'abaissement des seuils des signaux d'isolement vapeur, VDA et ARE en prolongation de cycle, un calcul en milieu de prolongation de cycle est réalisé avec les seuils abaissés. Le point de fonctionnement retenu est celui qui présente l'écart maximal entre la pression secondaire initiale et les seuils de pression secondaire abaissés afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire. Un abaissement de la pression primaire initiale est considéré conformément au fonctionnement en prolongation de cycle.

1.5.2.4. Choix de la défaillance unique et de la maintenance préventive

L'aggravant unique peut être la défaillance de l'un des systèmes sollicités pendant l'accident.

Les critères à respecter sont l'absence de crise d'ébullition et la non fusion du combustible. Pour chacun des cas étudiés ([§ 1.4.2.2.](#)) les aggravants les plus pénalisants vis-à-vis de ces aspects sont :

- cas 1 : une grappe bloquée hors du cœur
Les risques de crise d'ébullition et de fusion sont dus principalement à un facteur de canal chaud important dans l'assemblage qui contient la grappe bloquée hors du cœur ou un assemblage situé dans son voisinage immédiat. Cet aggravant a aussi pour effet de diminuer la marge d'anti-réactivité disponible initialement.
- cas 2 : une grappe bloquée hors du cœur
Pour les mêmes raisons que le cas 1, cet aggravant est le plus pénalisant.
- cas 3 : la défaillance à la fermeture de la vanne d'isolement vapeur du GV affecté alors que le signal de fermeture a été émis sur signal F1A
La brèche étant située en aval de la vanne d'isolement vapeur, cette défaillance ne permet pas un isolement de la brèche lors de l'isolement vapeur.

Pour tous les scénarios, une maintenance préventive est prise sur la pompe d'ISMP de la boucle associée au GV affecté, afin de limiter l'apport de bore dans le cœur.

1.5.2.5. Hypothèses cœur

Les hypothèses concernant le cœur sont prises en compte de sorte à accentuer l'insertion de réactivité et favoriser le retour en puissance :

- les paramètres cinétiques (fraction de neutrons retardés, temps de vie des neutrons prompts) et le coefficient Doppler sont pris BE,
- le coefficient de densité du modérateur est pénalisé des incertitudes et des pénalités pour les effets du tilt, du SCTR, du FPPR et du fonctionnement en prolongation de cycle (voir tableau [TAB-15.2.4b.7](#)),
- l'efficacité différentielle du bore est pénalisée des incertitudes et des pénalités pour les effets du tilt, du SCTR, du FPPR et du fonctionnement en prolongation de cycle (voir tableau [TAB-15.2.4b.7](#)),
- pour l'initiateur TGI, les modèles de cœur sont, de plus, recalés sur des valeurs enveloppes tous cycles et avec provisions afin de réaliser un seul calcul enveloppe de tous les cycles (voir tableau [TAB-15.2.4b.7](#)),
- la sous-criticité initiale retenue pour l'étude de chaque initiateur correspond à la valeur minimale enveloppe. Pour les initiateurs TGI-1 une valeur est retenue par zone de l'abaque (FΔHi, MA). Les valeurs sont fournies dans le tableau [TAB-15.2.4b.9](#).

Pour le spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte, les configurations (cycle, grappe bloquée) utilisées pour les calculs thermohydrauliques, de puissance linéique et de RFTC sont identifiées sur la figure [FIG-15.2.4b.1](#) et dans le tableau [TAB-15.2.4b.23](#).

Pour la brèche 2A à l'intérieur de l'enceinte, les configurations (cycle, grappe bloquée) utilisées pour les calculs thermohydrauliques, de puissance linéique et de RFTC sont identifiées sur la figure [FIG-15.2.4b.2](#) et dans le tableau [TAB-15.2.4b.22](#).

La puissance initiale considérée dans le cœur est de \square . La puissance résiduelle n'est pas considérée de manière à accentuer le refroidissement du fluide primaire.

1.5.2.6. Hypothèses systèmes fluides et régulations

GMPP

L'arrêt automatique des pompes primaires est obtenu par concomitance de 2 signaux : un signal enceinte (sur haute pression enceinte avancée) et un signal de dépressurisation secondaire (baisse rapide de pression secondaire ou basse pression secondaire). Par découplage, le signal d'arrêt automatique des pompes primaires est pris en compte pour les tailles de brèches à l'intérieur de l'enceinte supérieures à \square .

La courbe de décroissance du débit primaire est pénalisée de manière à avoir la décroissance la plus longue afin de conserver le plus longtemps possible l'échange entre le circuit primaire et le circuit secondaire.

RIS

Le débit d'injection de sécurité est le débit minimal des trois trains ISMP en service (voir sous-chapitre 15.1). Le train ISMP en maintenance est positionné sur la même boucle que le GV affecté afin de minimiser l'apport en bore dans le quart de cœur le plus froid.

La température de l'IS est prise minimale \square pour favoriser le refroidissement du fluide primaire. La concentration en bore de l'IS correspond à la concentration minimale de l'IRWST \square .

Pour les scénarios à l'intérieur de l'enceinte (cas 1 et cas 2) une dilution de l'IRWST par la brèche est prise en compte. Une concentration en bore naturel de l'IRWST de \square ppm est retenue.

RBS

La concentration en bore naturel est de \square avec un débit d'injection minimal \square .

RCV

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur est supposée fonctionner correctement afin de limiter la dépressurisation primaire induite par le refroidissement du fluide primaire. Sa prise en compte retarde la baisse du niveau et tend à différer voire empêcher l'émission du signal IS et donc l'injection de bore. Si le niveau du pressuriseur devient inférieur à la valeur de la consigne diminuée \square , la deuxième pompe de charge est automatiquement mise en service. La ligne de décharge est automatiquement isolée lorsque le niveau pressuriseur devient inférieur au seuil MIN2. La charge injecte dès le début de l'accident à une température minimale \square afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire.

aspersion normale et chaufferettes

La régulation de la pression du pressuriseur est supposée fonctionner correctement afin de limiter la chute pression primaire et donc retarder l'émission du signal IS. Les chaufferettes sont arrêtées lorsque le niveau du pressuriseur devient inférieur au seuil MIN3. Cette régulation n'est pas prise en compte pour la brèche guillotine. En effet, elle est sans impact sur cecas car les chaufferettes sont immédiatement arrêtées consécutivement à la vidange du pressuriseur.

VDA

La capacité maximale de chaque vanne de contrôle du VDA est de \square .

Le pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA (fonction du niveau de puissance dans le cœur) est pris en compte : ces vannes sont supposées pleines ouvertes initialement et commencent à se fermer au début de l'accident pour atteindre \square de leur pleine ouverture.

Sur signal IS, un refroidissement partiel est amorcé par le secondaire : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA sont abaissés \square pour assurer un refroidissement à un gradient de \square .

ARE

Les débits ARE diffèrent selon les initiateurs :

- pour la brèche guillotine (cas 1) :
Un débit ARE \square est considéré jusqu'à l'isolement du grand débit ARE. Après l'isolement du grand débit ARE, les GV sont alimentés par leurs lignes à petit débit, le tableau [TAB-15.2.4b.2](#) donne les évolutions de débit d'eau alimentaire en fonction de la pression GV pour les différentes phases.
- pour le cas pénalisant du spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte (cas 2) :
Les vannes d'isolement des lignes à grand débit de tous les GV sont fermées initialement. Les GV sont alors alimentés par leurs lignes à petit débit.
La régulation de débit ARE est prise en compte car elle permet d'alimenter les GV sans activer le signal d'isolement vapeur sur forte baisse de pression secondaire.
- pour le cas pénalisant du spectre de brèches à l'extérieur de l'enceinte (cas 3) :
Les vannes d'isolement des lignes à grand débit de tous les GV sont fermées initialement. Les GV sont alors alimentés par leurs lignes à petit débit.
On suppose, par conservatisme, que les 3 pompes d'eau alimentaire sont en service et que les vannes de contrôle des lignes à petit débit sont pleines ouvertes (régulation de niveau GV non opérationnelle). Cette hypothèse s'avère pénalisante car elle accentue sensiblement le refroidissement primaire au début du calcul thermohydraulique.
Le tableau [TAB-15.2.4b.2](#) donne les évolutions du petit débit d'eau alimentaire en fonction de la pression secondaire.

La température de l'eau alimentaire considérée est prise minimale à la valeur enveloppe \square pour tous les cas.

débit ASG

Un débit d'ASG maximal est considéré avec une température minimale, \square .

Pour le cas de rupture de tuyauterie vapeur guillotine (cas 1), l'ASG est automatiquement démarré dès le début de l'accident dans le GV affecté. Cette hypothèse permet de couvrir les accidents de brèches vapeur secondaires qui, en raison de débits ARE moins élevés, vidangeraient plus rapidement le GV affecté et activeraient l'ASG plus tôt.

La réduction du débit primaire induite par le MDTE a un impact favorable sur l'évolution de la réactivité, en conséquence les cas conservant le débit primaire permettent de couvrir les situations avec MDTE. Ainsi, pour les cas ne sollicitant pas le signal d'arrêt automatique des pompes primaires, le MDTE n'est pas postulé, par conséquent l'ASG n'est pas automatiquement démarrée sur signal IS.

Pour les brèches sollicitant l'arrêt automatique des pompes primaires (brèches à l'intérieur de l'enceinte de taille supérieure à \square), le cumul du MDTE sur signal IS apporterait une pénalisation supplémentaire liée au démarrage de l'ASG dans tous les GV. Afin de couvrir les situations avec MDTE, l'ASG est automatiquement démarrée dans tous les GV sur signal IS.

autres hypothèses

Les coefficients de mélange dans la cuve sont issus des essais \square . On retient les hypothèses qui limitent le mélange des boucles dans la cuve, afin d'obtenir une zone la plus froide possible à l'entrée du cœur (voir tableau [TAB-15.2.4b.1](#)).

1.5.2.7. Hypothèses protection

1.5.2.7.1. Seuils de protection en cycle naturel

Le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur (qui permet la détermination de l'instant des premières actions réalisées par l'opérateur) a lieu sur l'un des signaux suivants :

- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), \square :
 \square
- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), \square :

□

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), □ :

□

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur :

- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), □ :

□

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), □ :

□

Le signal d'Arrêt Automatique des GMPP a lieu sur :

- concomitance du « signal de haute pression enceinte MAX1p » traité avec un filtre d'avance-retard, et du « signal de baisse rapide de pression secondaire ou basse pression secondaire » (classé F1A) avec les caractéristiques suivantes :

- seuil de pression secondaire identique au seuil d'isolement vapeur,
- seuil de haute pression enceinte MAX1p :
De façon découplée, on considère un délai entre l'atteinte du seuil et le début de la décroissance de la vitesse des GMPP □.

L'isolement de l'eau alimentaire normale est effectué par l'un des signaux suivants :

- ordre d'isolement des lignes à grand débit de l'ARE sur « compte rendu d'AAR » (classé F1A) :

□

- ordre d'isolement des lignes ARE à grand débit dans tous les GV et à petit débit GV par GV par le signal « Haut niveau GV » (classé F1A) □ :

- □
Voir tableau [TAB-15.2.4b.4](#) pour les valeurs d'incertitude en fonction des cas.
La prise en compte d'un seuil maximal a pour effet de prolonger la phase d'injection d'eau alimentaire et donc la durée de refroidissement du circuit primaire.

- □

- ordre d'isolement des lignes ARE à grand débit dans tous les GV et à petit débit GV par GV par le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), □ :

- □
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement ARE.

- □

- Ordre d'isolement complet de l'ARE dans tous les GV par le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), □ :

- □
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement ARE.

- □

L'injection de sécurité est activée sur :

- le signal IS par « Basse pression pressuriseur » (classé F1A), :
 - Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'émission du signal IS s'il n'y a pas d'arrêt automatique des pompes primaires ou avancer son émission en cas d'arrêt des pompes primaires pour anticiper le démarrage de l'ASG sur signal IS+MDTE.

-

Le refroidissement partiel est activé sur le signal suivant :

- le signal IS par « Basse pression pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil identique au seuil IS.
- la pression de consigne initiale des VDA :
 -
- Le refroidissement est arrêté lorsque la pression dans les lignes vapeur atteint :

Le démarrage de l'ASG est activé sur l'un des signaux suivants :

- le signal « IS +MDTE » (classé F1A) dans tous les GV (pour les brèches sollicitant l'arrêt automatique des GMPP) avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil identique au seuil IS,
 - un délai nul est considéré, de façon découplée, pour le temps de démarrage des pompes ASG.
- le signal « Bas niveau GV » (classé F1A) GV par GV, :
 - Voir tableau [TAB-15.2.4b.4](#) pour les valeurs d'incertitude en fonction des cas. Les incertitudes sont prises de manière à avancer le démarrage de l'ASG.
 -

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur :

- le signal IS (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil identique au seuil IS,
 - Le signal est retardé pour garder le débit de charge en fonctionnement le plus longtemps possible.
- Le signal « Haut niveau pressuriseur » :
 -
 - Le signal est retardé pour garder le débit de charge en fonctionnement le plus longtemps possible.
- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), :

- Le signal est retardé pour garder le débit de charge en fonctionnement le plus longtemps possible.

Le démarrage du RBS est activé sur le signal suivant :

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), :
 - Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.
 -

Aux moyens de protection automatiques F1A, s'ajoutent les actions F1A suivantes réalisées 30 minutes après la première alarme significative :

- la mise en service du système de borication de sécurité (RBS),
- l'isolement du train ASG associé au GV affecté, réalisé par la fermeture manuelle des vannes d'isolement et de régulation.

1.5.2.7.2. Seuils de protection en prolongation de cycle

Les signaux de protections abaissés en prolongation de cycle sont détaillés ci-après, les délais restent inchangés.

Le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur a lieu sur :

- le signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A), :
 -
- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), :
 -

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur :

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN1p identique au seuil d'AAR abaissé.

L'isolement de l'eau alimentaire normale est effectué, par l'un des signaux suivants :

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), :
 -

Le démarrage du RBS est activé sur le signal suivant :

- le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), :
 -

1.5.2.8. Résultats

1.5.2.8.1. Etude en cycle naturel et début de prolongation de cycle

1.5.2.8.1.1. Cas 1 - RTV-2A à l'intérieur de l'enceinte

Les résultats du calcul thermohydraulique sont présentés pour la zone pénalisante de l'abaque (FΔHi ; MA) en termes de puissance linéique maximale et de RFTC minimal, à savoir la zone 3. Le calcul est réalisé sur la configuration qui porte la VRT maximale de la zone⁴.

L'évolution des principaux paramètres du calcul est représentée dans les figures [FIG-15.2.4b.27](#) à [FIG-15.2.4b.35](#). Le tableau [TAB-15.2.4b.12](#) présente la séquence des événements.

La brèche secondaire associée au GV 1 entraîne une augmentation du débit vapeur extrait de tous les GV, ce débit diminue ensuite au fur et à mesure que la pression secondaire diminue. La production de cette vapeur conduit à une augmentation de l'énergie extraite du circuit primaire. Le premier signal de protection sollicité est le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur sur baisse rapide de pression secondaire MAX0p. Il est sans effet sur les grappes puisque celles-ci sont déjà insérées.

L'excès d'énergie extraite du circuit primaire entraîne une baisse des températures dans les branches froides, et la contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une diminution de la pression primaire.

Le refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur entraîne une réduction de la sous-criticité initiale par effet modérateur et effet Doppler. Compte-tenu d'un mauvais mélange des boucles dans la cuve, une zone plus froide apparaît dans la nappe de températures à l'entrée du cœur. Cette zone plus froide est supposée contenir la grappe bloquée, ce qui favorise l'insertion de réactivité. Le cœur devient finalement critique et un retour en puissance est observé. Le signal d'arrêt automatique des GMPP est émis après le début de l'accident, le débit primaire commence à décroître. La puissance échangée entre le circuit primaire et le circuit secondaire commence à diminuer.

L'augmentation du débit de charge est insuffisante pour compenser la contraction du fluide primaire, la pression chute et le signal IS intervient conduisant au démarrage de l'ASG dans les GV sains. A cet instant, la pression primaire est encore trop élevée pour permettre aux pompes ISMP d'injecter.

Côté secondaire, les GV sont initialement alimentés par leurs lignes à grand débit et par l'ASG pour le GV affecté. Consécutivement au compte rendu d'AAR (sur baisse rapide de pression secondaire MAX0p), le signal d'isolement du grand débit ARE est émis, entraînant la fermeture des vannes d'isolement à grand débit dans tous les GV ; les GV sont alors toujours alimentés par leurs lignes à petit débit et par l'ASG pour le GV affecté. La baisse de pression est rapide et l'isolement des lignes vapeur a lieu sur signal de baisse rapide de pression secondaire MAX1p Peu de temps après, l'ordre d'isolement du petit débit ARE est émis sur signal de baisse rapide de pression secondaire MAX2p. Ce signal demande l'isolement de la charge et de l'ARE dans tous les GV. La forte baisse de pression dans les lignes vapeur entraîne, très rapidement après l'ouverture de la brèche, l'émission du signal de basse pression secondaire MIN5p qui démarre automatiquement les deux trains RBS.

La puissance générée est alors évacuée par le GV affecté. L'effet Doppler compense l'insertion de réactivité par effet modérateur. La puissance linéique maximale est atteinte sur la zone 3 (voir tableau [TAB-15.2.4b.22](#) et tableau [TAB-15.2.4b.26](#)). Le RFTC minimum est atteint sur la zone 3 (voir tableau [TAB-15.2.4b.22](#) et tableau [TAB-15.2.4b.26](#))⁴.

La puissance nucléaire se stabilise et est évacuée par le GV affecté alimenté en ASG.

Par la suite, le GV affecté se vide et le débit à la brèche s'équilibre avec le débit d'ASG. L'ASG dans les GV sains est isolé sur un signal de haut niveau GV MAX1p. L'arrêt automatique des GMPP conduit, à mesure que le débit primaire diminue, à une diminution progressive de l'échange entre le

4. Les valeurs de Plin maximale et RFTC minimal sont issues d'une approche découplée. Elles ont été calculées avec la configuration portant le FQ et / ou le FΔH maximal dans les conditions finales du calcul de VRT et non sur la configuration support au calcul thermohydraulique.

circuit primaire et le circuit secondaire, limitant ainsi le refroidissement du circuit primaire par la brèche secondaire.

30 minutes après l'émission du premier signal d'arrêt automatique du réacteur, l'opérateur intervient. Si la puissance nucléaire n'est pas nulle, il est orienté en conduite accidentelle vers la stratégie de « Stabilisation - Contrôle de la puissance nucléaire » qui demande un arrêt de l'ASG dans le GV affecté. Cette action [F1A](#) a pour conséquence d'arrêter le refroidissement du fluide primaire. Le RBS qui a démarré automatiquement permet l'apport de bore dans le circuit primaire. La puissance nucléaire s'annule et la température dans les boucles primaires remonte. Le cœur redevient sous-critique.

1.5.2.8.1.2. Cas 2 - Spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte [F1](#)

Les résultats du calcul thermohydraulique sont présentés pour la zone pénalisante de l'abaque (FΔHi ; MA) en termes de puissance linéique maximale et de RFTC minimal, à savoir la zone 2a. Le calcul est réalisé sur la configuration qui porte la VRT maximale de la zone [F1](#).

Un spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte est réalisé. La taille de brèche présentée [F1](#) est la plus pénalisante du spectre de brèches vis-à-vis des critères techniques d'acceptation.

L'évolution des principaux paramètres du calcul est représentée dans les figures [FIG-15.2.4b.36](#) à [FIG-15.2.4b.44](#). Le tableau [TAB-15.2.4b.13](#) présente la séquence des événements.

La brèche secondaire associée au GV 1 entraîne une augmentation du débit vapeur extrait de tous les GV, ce débit diminue ensuite au fur et à mesure que la pression secondaire diminue. La production de cette vapeur conduit à une augmentation de l'énergie extraite du circuit primaire.

L'excès d'énergie extraite du circuit primaire entraîne une baisse des températures dans les branches froides, et la contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une diminution de la pression primaire.



Le refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur entraîne une réduction de la sous-criticité initiale par effet modérateur.

Côté secondaire, la baisse de pression conduit à solliciter le signal de basse pression secondaire MIN1p qui demande la fermeture des vannes d'isolement vapeur. Après l'isolement des lignes vapeur, la pression dans les GV sains se stabilise, alors que la dépressurisation du GV affecté s'accélère. Le refroidissement des boucles primaires devient en conséquence dissymétrique. Compte-tenu des hypothèses d'alimentation en eau des GV, le débit ARE augmente fortement dans le GV affecté après l'isolement vapeur. La chute de pression dans le GV affecté sollicite le signal de basse pression secondaire MIN2p qui isole l'ARE dans le GV affecté.

Compte-tenu d'un mauvais mélange des boucles dans la cuve, une zone plus froide apparaît dans la nappe de températures à l'entrée du cœur. Cette zone plus froide est supposée contenir la grappe bloquée, ce qui favorise l'insertion de réactivité. Le cœur redevient critique ; un retour en puissance est observé.

La puissance générée est alors évacuée par le GV affecté. L'effet Doppler compense l'insertion de réactivité par effet modérateur. Le GV affecté n'étant plus alimenté, son niveau d'eau diminue progressivement et le signal bas niveau GV MIN2p est finalement généré. Il provoque le démarrage de l'ASG dans le GV affecté. L'ASG entraîne un refroidissement supplémentaire qui, par effet modérateur, conduit à une augmentation de la puissance du cœur.


En raison de l'action des régulations de pression et de niveau primaires, la pression primaire ne décroît pas suffisamment, de sorte que le signal IS sur basse pression pressuriseur n'est jamais émis.



La puissance linéique maximale est atteinte sur la zone 2a  (voir tableaux [TAB-15.2.4b.23](#) et [TAB-15.2.4b.26](#))⁵. Le RFTC minimum est atteint sur la zone 2a  (voir tableaux [TAB-15.2.4b.23](#) et [TAB-15.2.4b.26](#)).




L'assèchement du GV affecté fait chuter sa pression qui atteint alors le seuil MIN5p et démarre automatiquement les deux trains RBS.


Les paramètres thermohydrauliques du circuit primaire se stabilisent, les GV sains sont proches de la pression d'isolement vapeur du seuil MIN1p. Le débit vapeur évacué à la brèche est équilibré avec le débit d'ASG du GV affecté ; la puissance du cœur s'équilibre pour permettre la vaporisation du débit d'eau ASG.

30 minutes après l'émission du premier signal significatif, l'opérateur intervient : il est orienté en conduite accidentelle vers la stratégie de « Stabilisation - Contrôle de la puissance nucléaire » qui demande un démarrage du RBS (si celui-ci n'a pas déjà démarré automatiquement) et un isolement de l'ASG dans le GV affecté. Ces actions  F1A ont pour conséquence d'apporter du bore dans le cœur et d'arrêter le refroidissement du fluide primaire. La puissance nucléaire s'annule et la température dans les boucles primaires remonte. Le cœur redevient sous-critique.

La brèche de  est la plus pénalisante du spectre car il s'agit de la plus grosse brèche ne sollicitant pas le signal d'arrêt automatique des GMPP. Pour les brèches de taille supérieure , le signal d'arrêt automatique des GMPP est activé. L'arrêt des pompes primaires permet une diminution de la puissance échangée entre le circuit primaire et le circuit secondaire. Cette protection permet de limiter efficacement le refroidissement du fluide primaire, ce qui est très favorable pour cet accident.

1.5.2.8.1.3. Cas 3 - Spectre de brèches à l'extérieur de l'enceinte

Un spectre de brèches à l'extérieur de l'enceinte est réalisé. La taille de brèche présentée  est la plus pénalisante du spectre de brèches vis-à-vis des critères techniques d'acceptation.

L'évolution des principaux paramètres du calcul est représentée dans les figures [FIG-15.2.4b.45](#) à [FIG-15.2.4b.53](#). Le tableau [TAB-15.2.4b.14](#) présente la séquence des événements. Le calcul est réalisé sur le cycle .

L'accident débute avec l'ouverture d'une brèche en aval de la vanne d'isolement vapeur associée au GV 1. Elle entraîne une augmentation du débit de vapeur extrait de tous les GV, ce débit diminue ensuite au fur et à mesure que la pression secondaire diminue. La production de cette vapeur conduit à une augmentation de l'énergie extraite du circuit primaire.

L'excès d'énergie extraite du circuit primaire entraîne une baisse des températures dans les branches froides, et la contraction du fluide primaire qui en résulte conduit à une diminution du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une diminution de la pression primaire.

Le premier signal de protection sollicité est le signal d'isolement vapeur sur baisse rapide de pression secondaire MAX1p.

Au titre de la défaillance unique, la vanne d'isolement vapeur du GV 1 reste pleine ouverte. Lorsque les vannes d'isolement vapeur des GV sains se ferment, la pression dans les GV sains se stabilise, alors que la dépressurisation du GV affecté se poursuit et s'accélère. Le seuil de baisse rapide de pression secondaire MAX2p est atteint, un signal d'isolement de la charge et du petit débit ARE dans tous les GV est émis. Peu de temps après l'isolement complet de l'ARE, le signal de basse pression secondaire MIN5p est atteint dans le GV affecté demandant un démarrage du RBS.

L'isolement de la charge permet au circuit primaire de se dépressuriser. Le signal IS sur basse pression pressuriseur MIN3p est émis. Le refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur

5. Les valeurs de Plin maximale et RFTC minimal sont issues d'une approche découplée. Elles ont été calculées avec la configuration portant le FQ et / ou le FAH maximal dans les conditions finales du calcul de VRT et non sur la configuration support au calcul thermohydraulique.

entraîne une réduction de la sous-criticité initiale par effet modérateur. Lorsque le cœur redevient finalement critique, la pression primaire a suffisamment baissé pour permettre aux pompes ISMP d'injecter du bore. Compte-tenu de la maintenance préventive sur la pompe du train ISMP 1, le quart de cœur associé à la boucle du GV rompu reçoit moins de bore que les boucles saines.

La puissance générée est alors évacuée par le GV affecté. L'effet Doppler compense l'insertion de réactivité par effet modérateur. Le GV affecté n'étant plus alimenté, son niveau d'eau diminue progressivement et atteint le seuil bas niveau GV MIN2p ; l'ASG est démarré dans le GV affecté. Peu de temps après, l'arrivée du bore dans le cœur limite le pic de puissance atteint. Le RFTC minimum est atteint \square (voir tableau [TAB-15.2.4b.24](#)). La puissance linéique maximale est atteinte \square (voir tableau [TAB-15.2.4b.24](#))⁶.

Les paramètres thermohydrauliques du circuit primaire se stabilisent, en fin de calcul les VDA des GV sains sont sollicités du fait de l'activation de refroidissement partiel sur signal IS. L'assèchement du GV affecté et l'augmentation de la concentration en bore dans le circuit primaire permettent au cœur de redevenir sous critique durablement

1.5.2.8.1.4. Puissance linéique à fusion

La puissance linéique à fusion obtenue avec les hypothèses décrites dans le § [1.5.2.1.6](#) pour les crayons UO2 de la première gestion du réacteur EPR FA3 est de :

\square

1.5.2.8.1.5. Justification des configurations de $F_{\Delta H} < F_{\Delta H}$ coupure pour les initiateurs TGI-1

De manière générale, pour une configuration (cycle ; grappe bloquée) C1 ayant un $F_{\Delta H} < F_{\Delta H}$ de coupure par rapport à une configuration C2 ayant un $F_{\Delta H}$ plus fort (se trouvant dans les zones 3, 2b ou 2a de l'abaque) :

- La marge d'arrêt plus élevée pour la configuration C1 a un effet favorable sur le niveau de puissance atteint dans le calcul thermohydraulique (en effet, les marges d'arrêt pour les configurations ayant un $F_{\Delta H} < F_{\Delta H}$ de coupure augmentent par rapport aux marges d'arrêt enveloppes prises en compte dans les calculs sur les zones 2a, 2b et 3, voir figure [FIG-15.2.4b.1](#)).
- Les faibles valeurs du FQ et du $F_{\Delta H}$ pour la configuration C1 ont un effet direct favorable sur la puissance linéique et le RFTC.
- Les faibles valeurs du FQ et du $F_{\Delta H}$ pour la configuration C1 ont un effet pénalisant sur le niveau de puissance atteint dans le calcul thermohydraulique, car les contre-réactions sont plus pénalisantes pour des distributions de puissance moins piquées.

Les calculs effectués dans les conditions thermohydrauliques de la brèche pénalisante \square montrent que la puissance linéique et le RFTC atteints sur la zone 3 sont moins pénalisants que ceux obtenus sur la zone 2b, qui sont eux-mêmes moins pénalisants que ceux calculés sur la zone 2a (voir tableau [TAB-15.2.4b.26](#)), et ce malgré une diminution des valeurs des marges d'arrêt. Ce résultat montre que l'effet direct favorable dû à la diminution du FQ et du $F_{\Delta H}$ l'emporte, malgré des niveaux de puissance atteints plus élevés liés aux marges d'arrêt et aux contre-réactions plus pénalisantes.

Les configurations présentant des $F_{\Delta H}$ inférieurs au $F_{\Delta H}$ de coupure bénéficient de cet effet direct favorable et de surcroît présentent des marges d'arrêt sensiblement supérieures, ce qui garantit pour ces configurations un minimum de RFTC sensiblement supérieur à celui de la configuration \square , considérée pour le calcul thermohydraulique sur la zone 3, et un maximum de puissance linéique sensiblement inférieur à celui de la configuration \square ⁷.

6. Les valeurs de Plin maximale et RFTC minimal sont issues d'une approche découplée. Elles ont été calculées sur le cycle portant le FQ et / ou le $F_{\Delta H}$ maximal dans les conditions du State Point pénalisant pour la Plin et le RFTC et non sur la configuration support au calcul thermohydraulique.

7. Le RFTC minimal correspondant à la configuration \square est, à son tour, supérieur au RFTC minimal enveloppe obtenu sur la zone 3, \square , et la Plin maximale correspondant à la configuration \square est, à son tour, supérieure à la Plin maximale enveloppe obtenue sur la zone 3, \square (voir tableau 15.2.4b TAB \square).

Les calculs effectués pour l'initiateur RTV-2A montrent la tendance inverse par rapport à l'initiateur pénalisant : la puissance linéique et le RFTC atteints sur la zone 3 sont plus pénalisants que ceux obtenus sur la zone 2b, qui sont eux-mêmes plus pénalisants que ceux calculés sur la zone 2a (voir tableau [TAB-15.2.4b.19](#)). Pour cet initiateur, à la cinétique plus rapide, la marge d'arrêt initiale a un effet plus fort sur le niveau de puissance atteint. Cet effet l'emporte sur l'effet direct favorable de la diminution des FQ et $F\Delta H$. De la même manière que pour l'initiateur pénalisant, l'effet des FQ et $F\Delta H$ plus faibles sur le niveau de puissance atteint dans le calcul thermohydraulique est du second ordre.

Pour les configurations présentant des $F\Delta H$ inférieurs au $F\Delta H$ de coupure, la sensibilité plus forte à la marge d'arrêt plus élevée, cumulée à l'effet direct favorable dû à la diminution du FQ et du $F\Delta H$ garantissent un minimum de RFTC sensiblement supérieur à celui de la configuration [\[\]](#), considérée pour le calcul sur la zone 3, et un maximum de puissance linéique sensiblement inférieur à celui de la configuration [\[\]](#)⁸.

En résumé, pour les Cas 1 et Cas 2, le caractère non pénalisant des configurations présentant un faible $F\Delta H$ est dû :

- aux faibles valeurs du FQ et du $F\Delta H$ atteintes dans le calcul thermohydraulique, qui limitent l'augmentation de la puissance linéique et la diminution du RFTC,
- à une marge d'arrêt élevée qui retarde la remontée en puissance et limite ainsi le niveau de puissance atteint dans le calcul thermohydraulique, malgré les pics de puissance plus faibles.

L'impact défavorable de FQ et $F\Delta H$ faibles sur le niveau de puissance atteint dans le calcul lié aux contre-réactions plus pénalisantes est du second ordre par rapport aux effets cités ci-dessus.

1.5.2.8.2. Étude en prolongation de cycle

Du fait de l'abaissement des seuils de protection en prolongation de cycle, un calcul est réalisé pour un état en milieu de prolongation de cycle qui présente l'écart maximal entre la pression secondaire initiale et les seuils de pression secondaire abaissés afin de favoriser le refroidissement du primaire. Le cas choisi est la brèche de [\[\]](#) du spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte (Cas 2), car il est le plus limitatif vis à vis des critères techniques d'acceptation.

Cas 4 - Spectre de brèches à l'intérieur de l'enceinte [\[\]](#) en prolongation de cycle :

L'évolution des principaux paramètres du calcul est représentée dans les figures [FIG-15.2.4b.54](#) à [FIG-15.2.4b.62](#). Le tableau [TAB-15.2.4b.14](#) présente la séquence des événements.

La séquence des événements reste similaire à celle obtenue pour l'étude en cycle naturel. La cinétique est plus lente car le débit à la brèche est plus faible (compte-tenu de la pression secondaire abaissée). La température minimale atteinte est plus basse que pour le cas en cycle naturel, cependant les effets de réactivité étant plus faibles pour des température et pression primaires plus basses (effet modérateur principalement), le retour en puissance est finalement plus faible que pour l'étude en cycle naturel. Le faible retour en puissance observé comparativement à celui du cas en cycle naturel permet d'écarter tout risque de dépassement des critères en RFTC et puissance linéique.

1.5.2.9. Cas d'une RTV initiée en état d'arrêt à chaud (état A3)

Pour le cas d'une RTV initiée en arrêt à chaud, les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles définis en [§ 1.2.](#) sont vérifiés par l'intégrité de la première barrière, garantie par le non-retour en criticité.

Afin d'écarter tout risque de retour en criticité, la Concentration en Bore (CB) critique est déterminée en prenant en compte des hypothèses pénalisantes pour la température et la pression. Les résultats

8. Le RFTC minimal correspondant à la configuration [\[\]](#) est, à son tour, supérieur au RFTC minimal enveloppe obtenu sur la zone 3, [\[\]](#), et la Plin maximale correspondant à la configuration [\[\]](#) est, à son tour, supérieure à la Plin maximale enveloppe obtenue sur la zone 3, [\[\]](#) (voir tableau 15.2.4b TAB [\[\]](#)).

sont ensuite comparés à la CB minimale en état A3 (CB d'arrêt à chaud), afin de s'assurer que le cœur reste sous-critique.

L'état A3 correspond à un état d'arrêt normal sur GV (RIS-RA en mode RA non connecté), caractérisé par un état de fonctionnement à charge nulle. Les conditions retenues de calculs de la CB critique pour une RTV initiée en état A3 sont les suivantes :

- Toutes les grappes sont insérées (TGI).
- La température moyenne primaire vaut 10 °C.
- La pression primaire maximale est pénalisante et vaut 155 bar abs \square .
- La concentration en xénon est nulle.

L'accident d'ouverture intempestive d'une vanne de contournement à l'atmosphère ou d'une soupape GV (état B) traité dans la section 15.2.4d fournit les CB critiques obtenues dans les conditions suivantes :

- TGI,
- température moyenne primaire : 10 °C,
- pression primaire : 130 bar abs,
- concentration en xénon nulle.

\square Les CB critiques ainsi obtenues sont comparées aux CB requises en arrêt à chaud issues de la section 4.5. Les CB requises en AAC étant supérieures aux CB critiques obtenues lors d'une RTV initiée en état d'AAC, la sous-criticité du cœur est donc garantie.

L'absence de retour en criticité permet d'écarter tout risque de crise d'ébullition ou de fusion du cœur.

1.5.2.10. Conclusion de l'analyse des RTV initiées à puissance nulle

La brèche \square en configuration TGI-1 (cas 2) est le cas le plus pénalisant vis à vis des critères techniques d'acceptation (paragraphe 1.2), parmi l'ensemble des situations de RTV à puissance nulle présentées dans le [§ 1.5.2.8.](#)

Pour l'ensemble de ces cas de RTV présentés au [§ 1.5.2.](#), l'absence de crise d'ébullition et de fusion à cœur des pastilles combustibles, garantissant l'absence de dommage sur les assemblages combustibles, est respectée. Dans chaque cas, le cœur est durablement sous-critique grâce à l'arrivée du bore en provenance du RBS.

Le respect des critères liés à l'endommagement des assemblages définis au [§ 1.2.](#) garantit l'absence de rejets radiologiques.

Par ailleurs, l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les générateurs de vapeur des GV et l'inventaire en eau primaire est stable.

Une étude \square démontre que le scénario pénalisant de RTV \square initié à puissance nulle (voir [§ 1.5.2.8.1.2.](#)) avec une brèche située dans une casemate vapeur conduit à un dépassement du profil de qualification en température du matériel dans la casemate. Cette étude présente les niveaux de température atteints en casemate vapeur pour ce scénario et définit un nouveau profil de qualification en température du matériel présent dans la casemate. Ce profil est enveloppe des températures atteintes au cours de l'accident. Les conséquences de ce dépassement ne sont cependant pas de nature à remettre en cause l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et le respect des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.](#)

Par ailleurs :

- Dans chaque cas, le cœur est durablement sous-critique grâce à l'arrivée du bore en provenance du RBS.

- L'inventaire en eau est stable.
- Le respect des critères liés à l'endommagement des assemblages définis au § 1.2. garantit l'absence de rejets radiologiques.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les générateurs de vapeur des GV.

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation définis au § 1.2. sont respectés. L'état contrôlé est donc atteint.

1.5.3. Défaillance d'une vanne réglante d'un VDA en cas de transitoire de dilution en puissance

1.5.3.1. Démarche d'étude

La démarche d'étude de la défaillance d'une vanne réglante du VDA d'un GV à sa sollicitation en cas de dilution en puissance est basée sur un découpage en trois de la plage de puissance initiale étudiée (0 à 100%PN) :



- plage de 25 à 100 %PN,
- plage de 5 à 25 %PN,
- plage de 0 à 5 %PN.



Les calculs présentés dans cette démarche d'étude sont illustrés sur la figure [FIG-15.2.4b.63](#).

1.5.3.1.1. Plage de 25 à 100%PN

La démarche repose sur l'enchaînement de deux calculs (i.e. pas de couplage de code considéré) visant à déterminer la marge à la criticité minimale au cours du transitoire :

- un calcul thermohydraulique  simulant le comportement global des circuits primaire et secondaire, prenant en compte la cinétique de refroidissement du circuit primaire et valorisant l'apport de bore par les systèmes RIS et RBS: Ce calcul fournit à plusieurs instants du transitoire des state-points en pression, température et concentration en bore en entrée cœur,
- un calcul neutronique statique  permettant de déterminer la marge à la criticité aux instants sélectionnés.




1.5.3.1.2. Plage de 5 à 25%PN



La démarche vis-à-vis de l'enchaînement des deux calculs thermohydraulique et neutronique est identique à celle de la plage allant de 25%PN à 100%PN.

En revanche, la plage de 5 à 25%PN est analysée par pas de 5%PN et les calculs thermohydrauliques sont réalisés avec le taux d'ouverture de la vanne réglante du VDA et la température ARE associés aux niveaux de puissance considérés.

1.5.3.1.3. Plage de 0 à 5%PN

Cette plage de puissance est traitée par la réalisation d'un transitoire thermohydraulique utilisant le couplage triple  permettant de simuler la phase de retour en puissance consécutive à l'arrêt automatique du réacteur.

1.5.3.1.3.1. Modèle de cœur

Dans un premier temps, comme pour les plages 5% à 25%PN et 25% à 100%PN, un enchaînement d'un calcul thermohydraulique  et d'un calcul neutronique statique  est réalisé.

Cet enchaînement permet de déterminer, pour l'ensemble des cycles de la première gestion du réacteur EPR FA3, l'épuisement « BU_{sous-critique} » à partir duquel la sous-criticité du cœur est garantie

tout au long du transitoire pour la plage couvrant les niveaux de puissance initiaux de 0% à 5% PN (voir figure [FIG-15.2.4b.64](#)).

Le modèle de cœur est ensuite généré à partir du cycle \square présentant le coefficient de densité modérateur le plus pénalisant, à l'épuisement $BU_{\text{sous-critique}}$ (épuisement pénalisant vis-à-vis du coefficient de densité modérateur sur la plage d'épuisement présentant un risque de retour en criticité – voir figure [FIG-15.2.4b.64](#)). Ce modèle prend en compte les incertitudes, les pénalités tilt/SCTR/FPFR et les provisions sur les données neutroniques présentées dans le tableau [TAB-15.2.4b.8](#).

1.5.3.1.3.2. Simulation des transitoires thermohydrauliques 3D

Les transitoires thermohydrauliques sont réalisés pour obtenir les conditions thermohydrauliques aux instants de maximum de puissance linéique et de minimum de RFTC.

Le couplage triple \square est utilisé pour simuler le transitoire thermohydraulique. Ce dernier est réalisé à partir du modèle de cœur décrit au [§ 1.5.3.1.3.1](#), et avec la sous-criticité initiale enveloppe tous cycles obtenue à l'épuisement « BU_0 » pour lequel la concentration en bore « CB_{AD} » (pour $CB_{\text{Après Dilution}}$) garantie par le seuil PAD en puissance devient nulle (voir figure [FIG-15.2.4b.64](#)).

1.5.3.1.3.3. Vérification du critère en RFTC

Le calcul de RFTC minimal est réalisé conformément à ce qui est décrit dans le [§ 1.5.2.1.4](#). \square . Il prend en compte les configurations portant le FQ et le $F\Delta H$ maximal dans les conditions du State Point pénalisant pour le RFTC. Le $F\Delta H$ est majoré des incertitudes et des pénalités données dans le tableau [TAB-15.2.4b.8](#).

1.5.3.1.3.4. Vérification du critère en Plin

Le calcul de Plin est réalisé conformément à ce qui est décrit dans le [§ 1.5.2.1.5](#). Il prend en compte les configurations portant le FQ maximal dans les conditions du State Point pénalisant pour la puissance linéique. Le FQ est majoré des incertitudes et des pénalités données dans le tableau [TAB-15.2.4b.8](#).

1.5.3.2. État initial des transitoires thermohydrauliques

Les conditions initiales des principaux paramètres sont listées dans le tableau [TAB-15.2.4b.6](#). Cet état est enveloppe des états consécutifs à l'arrêt automatique du réacteur, de l'attente à chaud et de l'arrêt à chaud. Les hypothèses considérées visent à majorer le refroidissement du circuit primaire par les GV dans les conditions les plus défavorables vis-à-vis des critères techniques d'acceptation.

La température moyenne primaire initiale est celle de l'état A à puissance nulle, sans incertitude. L'incertitude sur la température est prise en compte dans le calcul de marge à la criticité (voir [§ 1.5.3.6](#)).

Le niveau d'eau dans le pressuriseur est maximal afin de ralentir la dépressurisation primaire, et en conséquence retarder l'injection de bore par les pompes IS.

Pour les cas couvrant la plage de puissance entre 5 et 100% PN, la pression primaire initiale est maximisée de manière à retarder, voire empêcher l'injection de bore par les pompes IS, et à maximiser la pression primaire aux state-points des transitoires pénalisant ainsi les calculs de marge à la criticité.

La concentration en bore du circuit primaire est initialement nulle.

Le débit primaire initial est pris minimal (débit thermohydraulique). Cette hypothèse est pénalisante pour le RFTC minimal et la puissance linéique maximale en cas de retour en puissance (concernant la plage de 0 à 5% PN). Elle est aussi pénalisante vis-à-vis de l'insertion de réactivité dans le cas où le réacteur reste sous-critique (concernant la plage de 5 à 100%PN).

\square

Le niveau GV initial est minimal, ce qui permet d'accélérer la dynamique de dépressurisation des GV.

Pour chacun des transitoires identifiés au [§ 1.5.3.1.](#), un calcul enveloppe du cycle naturel est réalisé. La prolongation de cycle n'est pas étudiée car un transitoire de dilution ne peut pas se produire en prolongation de cycle.

1.5.3.3. Choix de la défaillance unique et de la maintenance préventive

Il s'agit de traiter le blocage en position ouverte de la vanne de contrôle d'un VDA à sa sollicitation en cas de dilution en puissance.

Une maintenance préventive est prise sur la pompe d'ISMP de la boucle associée au GV affecté, afin de limiter l'apport de bore dans le cœur.

1.5.3.4. Hypothèses cœur

1.5.3.4.1. Plage de 0 à 5%PN

Les hypothèses concernant le cœur sont prises en compte de sorte à accentuer l'insertion de réactivité et favoriser le retour en puissance :

-
- Le coefficient de densité du modérateur est pénalisé des incertitudes et des pénalités pour les effets du tilt, du SCTR, du FPPR (voir tableau [TAB-15.2.4b.8](#)).
- L'efficacité différentielle du bore est pénalisée des incertitudes et des pénalités pour les effets du tilt, du SCTR, du FPPR et de provisions pour couvrir l'ensemble des cycles (voir tableau [TAB-15.2.4b.8](#)).
- Le défaut Doppler puissance est pénalisé des incertitudes et des pénalités pour les effets du tilt, du SCTR, du FPPR et de provisions pour couvrir l'ensemble des cycles (voir tableau [TAB-15.2.4b.8](#)).
- La sous-criticité initiale retenue correspond à la valeur obtenue sur le cycle pénalisant vis-à-vis du coefficient densité modérateur et à l'épuisement BU0 pour lequel la CB_{AD} devient nulle (voir figure [FIG-15.2.4b.64](#)).

1.5.3.4.2. Plages de 5 à 25%PN et de 25 à 100%PN

Par découplage, la puissance résiduelle n'est pas considérée de manière à accentuer le refroidissement du fluide primaire et donc à réduire la marge à la criticité.

1.5.3.5. Hypothèses relatives aux systèmes fluides et régulations

RIS

Le débit d'injection de sécurité est le débit minimal des trois trains ISMP en service (voir sous-chapitre 15.1). Le train ISMP en maintenance est positionné sur la même boucle que le GV affecté afin de minimiser l'apport en bore dans le quart de cœur le plus froid.

La température de l'IS est prise minimale pour favoriser le refroidissement du fluide primaire. La concentration en bore de l'IS correspond à la concentration minimale de l'IRWST .

RBS

RCV

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur est supposée fonctionner afin de compenser la contraction du fluide primaire induite par le refroidissement. Sa prise en compte retarde la baisse du niveau et donc la vidange du pressuriseur, et tend à différer voire empêcher l'émission du signal IS et donc l'injection de bore. Si le niveau du pressuriseur devient inférieur à la valeur de la consigne diminuée [], la deuxième pompe de charge est automatiquement mise en service. [] La charge injecte dès le début du transitoire à une température minimale [] afin de favoriser le refroidissement du circuit primaire.

aspersion normale et chaufferettes

La régulation de la pression du pressuriseur n'est pas prise en compte.

VDA

□

Le pré-positionnement des vannes de contrôle du VDA (fonction du niveau de puissance dans le cœur) est pris en compte.

Du fait de la défaillance d'une vanne réglante VDA lors de sa sollicitation à l'instant de la dilution, la position de la vanne défaillante est maintenue pendant tout le transitoire à sa position initiale. □ :

□

La figure [FIG-15.2.4b.63](#) illustre les taux d'ouverture de la vanne réglante du VDA en fonction du niveau de puissance utilisés pour les calculs.

Sur signal IS, un refroidissement partiel est amorcé par le secondaire : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA sont abaissés [] pour assurer un refroidissement [].

ARE

Après l'AAR, les GV sont alors alimentés par les lignes à petit débit. Par conservatisme, les vannes réglantes des lignes à petit débit ARE sont supposées bloquées à leur ouverture maximale. Le tableau [TAB-15.2.4b.2](#) donne les évolutions des débits d'eau alimentaire en fonction de la pression GV prise en compte.

La température de l'eau alimentaire considérée est prise à la valeur minimale des lignes entre la sortie des réchauffeurs et les GV, selon le niveau de puissance initial :

□

débit ASG

Un débit d'ASG maximal est considéré avec une température minimale, soit 106 m³/h à 10°C par train.

autres hypothèses

Les coefficients de mélange dans la cuve sont issus des essais []. On retient les hypothèses qui limitent le mélange des boucles dans la cuve, afin d'obtenir une zone la plus froide possible à l'entrée du cœur (voir tableau [TAB-15.2.4b.1](#)).

1.5.3.6. Hypothèses des calculs neutroniques de marge à la criticité

Les hypothèses des bilans neutroniques sont déterminées de manière à minimiser la sous-criticité au cours du transitoire.

À l'instant initial du transitoire thermohydraulique, la dilution en puissance a été stoppée par l'atteinte du seuil PAD en état d'arrêt. Dans les calculs neutroniques, de manière à minimiser la concentration en bore et donc la marge à la criticité, la concentration en bore CBAD est prise égale à la CB du seuil PAD en puissance « étude » diminuée des incertitudes et pénalités relatives au tilt/SCTR/FPPR et à l'usure neutronique des grappes (voir tableau [TAB-15.2.4b.8](#)).

Ainsi, pour un niveau de puissance initial donné, la marge à la criticité est déterminée en effectuant un calcul de variation de réactivité entre :

- l'état critique connu défini par l'atteinte du seuil de protection anti-dilution en puissance ,
- et les state-points issus du transitoire thermohydraulique (0%PN, TGI, pression et température issues du transitoire thermohydrauliques) :
 - 0 %PN,
 - TGI,
 - pression issue du transitoire thermohydraulique,
 - température issue du transitoire thermohydraulique, minimisée de l'incertitude sur la température moyenne du modérateur,
 - CB_{AD} majorée de l'éventuel apport de bore par le RIS et/ou le RBS (cet apport de bore prend en compte une incertitude ,
 - distributions xénon correspondant aux niveaux de puissance initiale auxquels est initiée la dilution décrits aux paragraphes 1.5.3.1.2 et 1.5.3.1.3 (5 %PN, 10 %PN, 15 %PN, 20 %PN et 25 %PN) avec les grappes insérées à leurs insertions limites. Les jeux d'insertions limites relatifs à la première gestion FA3 sont donnés dans le sous-chapitre 15.1.

épuisement

Le respect du non-retour en criticité est vérifié sur l'ensemble des cycles de la première gestion FA3 aux trois épaissements suivants :

- DVX,
- l'épuisement à partir duquel la CB_{AD} devient nulle pour la première fois (cet épaissement est variable suivant le cycle),
- l'épuisement médian aux deux épaissements précédents.

Puis, le cycle limitatif est traité, par pas de 1000 MWj/t, de l'épuisement DVX jusqu'à :

- l'épuisement à partir duquel la CB_{AD} devient nulle pour la plage de puissance de 5% à 100%PN,
- l'épuisement « BU_{sous-critique} » à partir duquel la sous-criticité du cœur est garantie tout au long du transitoire pour la plage de puissance de 0% à 5%PN.

1.5.3.7. Hypothèses protection

Le signal de PAD dans les états d'arrêt (signal classé F1A) est activé sur la mesure suivante :

- concentration en bore de la ligne de charge fournie par le boremètre

- La dilution est supposée avoir lieu avant l'ouverture du VDA jusqu'à une concentration en bore égale au seuil PAD en puissance (signal PAD en puissance non émis). Or, par construction les seuils de PAD en état d'arrêt étant supérieurs au seuil PAD en puissance, le seuil PAD en état d'arrêt est obligatoirement atteint dès l'insertion des grappes d'arrêt (changement de chaîne de protection lors de la validation du permissif P8) et permet l'émission du signal PAD en état d'arrêt. □.

L'isolement des lignes vapeur est réalisé sur :

- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), □ :
□
- Le signal de « Basse pression secondaire » (classé F1A), □ :
□

L'isolement de l'eau alimentaire normale est effectué par l'un des signaux suivants :

- ordre d'isolement des lignes ARE petit débit GV par GV par le signal « Haut niveau GV » (classé F1A) □ :
 - □
Les incertitudes sont prises en compte de manière à retarder l'isolement des vannes à petit débit de l'ARE.
 - □
- ordre d'isolement complet de l'ARE dans tous les GV par le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), □ :
 - □
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'isolement ARE.
 - □
- ordre d'isolement ARE dans tous les GV sur signal PAD dans les états d'arrêt (signal classé F1A), □ :
 - □

L'isolement du VDA est réalisé sur :

- le signal « Basse pression secondaire » (classé F1A) □ :
 - □
La prise en compte d'un seuil minimal a pour effet de retarder la fermeture de la vanne d'isolement du VDA et donc d'augmenter la durée de refroidissement du circuit primaire.
 - □

Le démarrage du RBS est réalisé sur les signaux suivants :

- signal de « Basse pression dans le pressuriseur » (classé F1A) avec les caractéristiques suivantes :
 - seuil MIN4p : □
Les incertitudes sont prises de manière à retarder le démarrage du RBS.

- délai total entre l'atteinte du seuil et le démarrage des pompes RBS : [] (valeur maximale, incluant [] pour le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal et [] le démarrage des pompes et l'obtention d'un plein débit).

- Signal PAD dans les états d'arrêt (signal classé F1A), [] :

- []

L'isolement automatique du RBS est activé sur le signal suivant :

- le signal « Haut niveau GV GE » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- seuil MAX3p []
Les incertitudes sont prises en compte de manière à anticiper l'isolement du RBS.
- []

Le démarrage de l'ASG est activé sur le signal suivant :

- le signal « Bas niveau GV » (classé F1A) GV par GV, [] :

- []
Les incertitudes sont prises de manière à avancer le démarrage de l'ASG.
- []

L'injection de sécurité est activée sur :

- le signal IS par « Basse pression pressuriseur » (classé F1A), [] :

- []
Les incertitudes sont prises de manière à retarder l'émission du signal IS.
- []

Le refroidissement partiel est activé sur le signal suivant :

- Le signal IS par « Basse pression pressuriseur » (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- seuil identique au seuil IS.

- La pression de consigne initiale des VDA [] :

- []

- []

L'isolement de la charge du RCV est réalisé sur :

- le signal IS (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes :

- seuil identique au seuil IS,

- []

- le signal « Haut niveau pressuriseur » [] :

- []

- Le signal est retardé pour garder le débit de charge en fonctionnement le plus longtemps possible.
- le signal de « Baisse rapide de pression secondaire » (classé F1A), :
 - Le signal est retardé pour garder le débit de charge en fonctionnement le plus longtemps possible.
- le signal PAD dans les états d'arrêt (signal classé F1A) :
 - délai total entre le franchissement du seuil PAD et l'isolement de la ligne de charge .

1.5.3.8. Résultats

1.5.3.8.1. Plage de 0 à 5% PN

L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée de la figure [FIG-15.2.4b.65](#) à [FIG-15.2.4b.73](#). Le tableau [TAB-15.2.4b.16](#) présente la séquence des événements.

L'ouverture du VDA dans le GV 1 entraîne la dépressurisation du circuit secondaire et le refroidissement du réfrigérant primaire. Les surdébits ARE augmentent du fait de la baisse de pression secondaire, ce qui accentue le refroidissement jusqu'à l'isolement complet des vannes petit débit ARE sur signal PAD.

La contraction du fluide primaire engendre la diminution du niveau pressuriseur, malgré l'action du débit de charge RCV. L'isolement de l'ARE sur signal PAD permet d'atténuer nettement le refroidissement du circuit primaire de manière temporaire, ce qui se traduit par un arrêt provisoire de la diminution de la pression et du niveau dans le pressuriseur. Le refroidissement reprend alors uniquement via l'extraction de vapeur par le VDA resté bloqué ouvert. La température primaire est alors pilotée par l'évolution de pression secondaire. Le niveau pressuriseur diminue alors à nouveau suite à la reprise du refroidissement ainsi qu'à l'isolement de la charge RCV sur signal PAD.

Après l'isolement ARE et celui de la charge RCV, l'insertion de réactivité dans le cœur se poursuit par le refroidissement par la brèche. Le cœur passe alors à l'état sur-critique, menant à une excursion de puissance nucléaire. La puissance est ensuite rabattue par l'arrivée du bore dans le cœur, en provenance du RBS.

La perte du niveau d'eau dans la ligne d'expansion du pressuriseur accentue la diminution de la pression du circuit primaire. Le signal IS est émis sur signal de « basse pression pressuriseur < MIN3p », néanmoins la pression d'injection des pompes ISMP n'est pas atteinte.

La pression secondaire atteint les seuils de fermeture des vannes d'isolement vapeur dans tous les GV et d'isolement du VDA dans le GV affecté sur signaux de « basse pression GV < MIN1p » et « basse pression GV < MIN3p » respectivement. Suite à la fermeture de la vanne d'isolement du VDA affecté, le refroidissement du circuit primaire est terminé.

Le refroidissement consécutif à la défaillance de la vanne réglante du VDA conduit à une baisse de pression primaire. Les soupapes du pressuriseur ne sont donc pas sollicitées.

L'insertion d'anti-réactivité par le bore en provenance du RBS ainsi que l'annulation du débit vapeur sortant par le VDA affecté rendent le cœur durablement sous-critique.

1.5.3.8.2. Plage de 5 à 25% PN

L'évolution des principaux paramètres pour la plage de puissance de 5 à 25 % est représentée par les figures suivantes :

- cas couvrant l'état initial à 5% PN : Figures [FIG-15.2.4b.74](#) à [FIG-15.2.4b.81](#),
- cas couvrant l'état initial à 10% PN : Figures [FIG-15.2.4b.82](#) à [FIG-15.2.4b.89](#),
- cas couvrant l'état initial à 15% PN : Figures [FIG-15.2.4b.90](#) à [FIG-15.2.4b.97](#),

- cas couvrant l'état initial à 20% PN : Figures [FIG-15.2.4b.98](#) à [FIG-15.2.4b.105](#).

Les tableaux [TAB-15.2.4b.17](#) à [TAB-15.2.4b.20](#) présentent les séquences des événements pour les cas couvrant les états initiaux à 5, 10, 15 et 20%PN respectivement.

Ces transitoires ont un comportement similaire à celui du transitoire de la plage 0 à 5% PN (§ [1.5.3.8.1](#)), à la différence près que le bore arrive dans le cœur avant le retour critique. Les transitoires réalisés pour la plage de 5 à 25%PN ne présentent donc aucun retour en puissance.

Pour le cas à 20%PN la pression de refoulement des pompes ISMP est atteinte. Néanmoins, le débit ISMP est très faible, il n'a presque aucun impact sur l'instant d'arrivée du bore dans le cœur.

Le refroidissement consécutif à la défaillance de la vanne réglante du VDA conduit à une baisse de pression primaire. Les soupapes du pressuriseur ne sont donc pas sollicitées.

Les minimums de marge à la criticité sont résumés dans le tableau [TAB-15.2.4b.27](#) et les conditions thermohydrauliques aux instants pénalisants des transitoires sont fournies dans le tableau [TAB-15.2.4b.28](#).

L'insertion d'anti-réactivité par le bore en provenance du RBS ainsi que l'annulation du débit vapeur sortant par le VDA affecté rendent le cœur durablement sous-critique.

1.5.3.8.3. Plage de 25 à 100% PN

L'évolution des principaux paramètres du transitoire est représentée de la figure [FIG-15.2.4b.106](#) à [FIG-15.2.4b.113](#). Le tableau [TAB-15.2.4b.21](#) présente la séquence des événements.

Le déroulement du transitoire est similaire au cas couvrant de la plage entre 0 et 5%PN (§ [1.5.3.8.1](#)), à la différence près que ce cas ne présente pas de retour en puissance.

Par ailleurs la pression de refoulement des pompes ISMP est atteinte. L'injection des pompes ISMP permet d'accélérer la progression du front de bore en provenance du RBS dans les lignes RIS. Néanmoins, pour ce cas, l'arrivée du front de bore dans le cœur intervient après l'isolement du VDA affecté et donc après la fin du refroidissement.

Le refroidissement consécutif à la défaillance de la vanne réglante du VDA conduit à une baisse de pression primaire. Les soupapes du pressuriseur ne sont donc pas sollicitées.

Les minimums de marge à la criticité sont résumés dans le tableau [TAB-15.2.4b.27](#) et les conditions thermohydrauliques à l'instant pénalisant du transitoire sont fournies dans le tableau [TAB-15.2.4b.28](#).

Ce cas ne présente donc aucun retour en criticité.

1.5.3.9. Conclusion sur la défaillance d'une vanne réglante d'un VDA en cas de transitoire de dilution en puissance

Dans le cas d'une dilution se produisant entre 0%PN à 5%PN, un retour en puissance du cœur est observé. Dans le cas d'une dilution se produisant entre 5%PN et 100%PN, le cœur ne redevient pas critique après AAR.

Pour l'ensemble de ces cas, les critères d'absence de fusion à cœur des pastilles de combustible et d'absence de crise d'ébullition sont respectés.

L'insertion d'anti-réactivité par le bore en provenance du RBS ainsi que l'annulation du débit vapeur sortant par le VDA affecté rendent le cœur durablement sous-critique.

Le maintien sous-critique du cœur garantit l'absence de rejets radiologiques.

Par ailleurs, l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les générateurs de vapeur des GV non affectés par la défaillance du VDA, et l'inventaire en eau primaire est stable.

Les critères techniques d'acceptation définis au § 1.2. sont respectés et l'état contrôlé est atteint.

1.6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Lors de l'entrée en Conduite Incidentelle/Accidentelle, l'état du réacteur est rappelé ci-dessous :

- Le réacteur est en arrêt à chaud, les grappes de contrôle et d'arrêt sont insérées dans le cœur et le déclenchement de la turbine a eu lieu.
- L'évacuation de la puissance du cœur est assurée par les GV.
- Si l'eau alimentaire normale a été isolée automatiquement, suite à la sollicitation des signaux de Haut Niveau GV, de baisse rapide de pression secondaire ou de basse pression secondaire, les GV ne sont plus alimentés ou sont alimentés par l'ASG. En effet, l'ASG peut avoir démarré automatiquement, GV par GV, si le niveau d'eau a suffisamment diminué pour atteindre le seuil MIN2p après isolement de l'ARE, ou sur signal IS + MDTE.
- La vapeur produite par la puissance échangée est évacuée par les VDA (ou par le GCT s'il est disponible, dans le cas où aucun signal d'isolement des lignes vapeur n'a été préalablement émis) ou par la brèche. La pression secondaire suit la pression de consigne des VDA. Lors de l'entrée en CIA, cette dernière peut être la pression de consigne initiale des VDA, une pression imposée par un refroidissement partiel en cours, ou une pression secondaire de fin de refroidissement partiel.
- La température du fluide primaire est légèrement supérieure à la température de saturation du fluide secondaire.

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent la première information significative, soit l'AAR.

L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle est consécutive au signal d'AAR sur bas niveau GV, basse pression primaire ou secondaire ou sur baisse rapide de pression secondaire. Pour les situations ne sollicitant pas ces signaux de protection, l'opérateur peut être informé d'une dégradation du fonctionnement de la tranche par une alarme indiquant par exemple une augmentation de la puissance thermique du cœur ou une diminution du niveau de la bêche d'alimentation ou d'une dégradation de l'ambiance dans un local.

La Conduite Incidentelle/Accidentelle peut orienter l'opérateur vers des conduites différentes, selon l'état du réacteur.

1.6.1. CONDUITE ACCIDENTELLE

Si la tranche présente des fonctions d'état dégradées :

- GV déclaré inutilisable,
- écart de pression entre GV supérieur à [],
- puissance nucléaire non nulle,
- pression enceinte supérieure [],

alors l'opérateur est orienté vers une conduite accidentelle.

stabilisation - Contrôle de la puissance nucléaire

Si la puissance du cœur est non nulle lors de l'entrée en Conduite Accidentelle/Incidentelle, l'opérateur est dans ce cas orienté en conduite accidentelle vers la séquence de « Stabilisation - Contrôle de la puissance nucléaire » sur un critère de flux [].

Une borication du circuit primaire est réalisée par le RBS.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains [1]. L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture [1] des vannes d'isolement et de régulation.

Le module « contrôle de la température primaire » demande une stabilisation de la pression GV à la pression atteinte par la vanne de contrôle du VDA sur les GV utilisables. Tant que le refroidissement par la brèche ou par le VDA défaillant n'est pas arrêté, cette action s'avère inefficace et la TRIC continue de chuter malgré l'ordre de fermeture des VDA, la conduite demande alors un isolement des lignes vapeur.

La sortie de la stratégie Stabilisation Contrôle de la puissance nucléaire est faite lorsque le volume de bore assurant la CB d'arrêt à froid a été complètement injecté.

L'opérateur est alors réorienté vers les stratégies « Passage en Arrêt à Froid avec IS » ou « Passage en Arrêt à Froid sans IS ».

passage en arrêt à froid sans IS

Si aucun train IS n'est en service, la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » est demandée.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains [1]. L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture [1] des vannes d'isolement et de régulation.

L'objectif de la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » est de refroidir et dépressuriser la tranche afin de rejoindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

La borication du circuit primaire est réalisée par le RBS tant que le volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid n'a pas été complètement injecté.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si la concentration en bore est inférieure à la concentration en bore d'arrêt à froid et si les 2 trains RBS ne sont pas en service,
- 50°C/h si le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid a été complètement injecté ou si 2 trains RBS sont en service.

Une dépressurisation du circuit primaire est initiée tant que la pression primaire est supérieure à [1]. Les accumulateurs sont isolés au cours de la dépressurisation, sous [1].

Le refroidissement contrôlé est effectué par l'opérateur tant que les critères d'activation du permissif P14 (pression en branches chaudes < 32bar abs. et température en branches chaudes < 180°C) ne sont pas atteints. Dès lors que les conditions d'activation du permissif P14 sont remplies, l'opérateur connecte les trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

passage en arrêt à froid avec IS

Si au moins un train IS est en service, la procédure « Passage en Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » est demandée.

Le module de contrôle de l'intégrité des GV demande un isolement complet du GV affecté sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains [1]. L'isolement du train ASG associé au GV affecté est réalisé par la fermeture [1] des vannes d'isolement et de régulation.

L'objectif de la procédure « Passage en Arrêt à Froid avec Injection de Sécurité » est d'abaisser la pression de refoulement des trains ISMP en service par l'ouverture de la grande ligne à débit minimum

pour pouvoir dépressuriser et ainsi rejoindre les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

La borication du circuit primaire est réalisée par le RBS tant que le volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid n'a pas été complètement injecté.

En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si la concentration en bore est inférieure à la concentration en bore d'arrêt à froid et si les 2 trains RBS ne sont pas en service,
- 50°C/h si le volume de bore assurant la concentration en bore d'arrêt à froid a été complètement injecté ou si 2 trains RBS sont en service.

Pendant le refroidissement, pour permettre la dépressurisation du circuit primaire, les pompes ISMP sont basculées séquentiellement sur leurs grandes lignes à débit minimum tout en respectant un critère de marge à la saturation qui garantit la sous-saturation du fluide primaire après le basculement.

La pression primaire étant stable, les GMPP ne sont pas arrêtées avant le basculement de la dernière pompe ISMP sur sa grande ligne à débit minimum. La dernière pompe ISMP est basculée sur un critère de température en sortie cœur □ garantissant une bonne marge à la saturation après le basculement.

La mise à l'arrêt totale de l'IS est ensuite réalisée, le permissif P14 n'étant pas présent.

Une dépressurisation du circuit primaire est initiée par l'aspersion normale, si disponible, ou par les soupapes du pressuriseur tant que la pression primaire est supérieure à □.

Les accumulateurs sont isolés au cours de la dépressurisation, sous □.

Dès que la pression primaire est inférieure à □ une stabilisation de la pression à la valeur atteinte est réalisée (fermeture de la soupape du pressuriseur).

Lorsque la température et la pression primaire atteignent 180°C et 32 bar abs, l'opérateur valide le permissif P14. Ensuite, en fonction du nombre de trains RIS-RA en service en mode IS et de la marge à la saturation, l'opérateur peut demander le basculement d'un train RIS-RA non requis en mode IS en mode RA.

1.6.2. CONDUITE INCIDENTELLE

Si aucun des critères d'entrée en Conduite Accidentelle n'est atteint, l'opérateur est orienté en Conduite Incidentelle vers la stratégie « Stabilisation en Conduite Incidentelle », dont le but est de conserver le réacteur dans un état stabilisé en pression, température et inventaire en eau primaires. Parallèlement, le module « Contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés » demande une stabilisation des niveaux GV à la valeur atteinte par l'ARE ou l'ASG. Si l'augmentation de la réactivité est suffisante pour activer une alarme de haut flux (CNS), l'opérateur est orienté vers une stratégie de « borication en conduite incidentelle » dont l'objectif est d'atteindre la CB requise. Si l'accident ne dégrade pas la concentration en bore initiale du circuit du primaire, sans alarme de haut flux ou antidilution, l'opérateur reste dans la stratégie « Stabilisation en Conduite Incidentelle ». Dans le cas de la dilution en puissance avec vanne réglante VDA bloquée ouverte, l'opérateur reste en conduite incidentelle si la différence de pression entre les GV est inférieure à 10 bar. Cette situation est rencontrée après isolement du VDA défaillant. L'opérateur est orienté vers la conduite « Borication en CI » permettant ainsi une augmentation de la CB cœur jusqu'à la CB requise avant d'être orienté dans la stratégie « Stabilisation en Conduite Incidentelle ».

L'état d'arrêt à chaud ainsi obtenu est un état stabilisé. L'opérateur reste dans cette phase de stabilisation jusqu'à ce que le critère « somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables < MIN » soit atteint (on suppose que les bâches ASG ne peuvent pas être réalimentées), l'opérateur arrête

alors trois GMPP sur quatre avant d'être orienté vers la procédure « Passage en Etat de Repli en Conduite Incidentelle ».

Dès lors, l'opérateur effectue une borication du circuit primaire en injectant via le RBS le volume de bore assurant la concentration en bore requise. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles, du niveau pressuriseur et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si un train RBS est en service ou que le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2,
- 50°C/h si le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été complètement injecté et le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 ou si deux trains RBS sont en service et que le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu à la valeur nominale grâce à l'ASG. En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG, et dans la mesure où le GV associé est toujours utilisable, la surveillance de l'efficacité de l'ASG, aura permis d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné. L'opérateur sera chargé de commander les vannes permettant de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

Lorsque le volume de bore assurant la concentration en bore requise a été complètement injecté, la borication est arrêtée. Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants.

Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale si elle est disponible, ou l'aspersion auxiliaire si l'aspersion normale n'est pas disponible, ou les soupapes du pressuriseur si les moyens d'aspersion ne sont pas disponibles.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square .

Lorsque la température et la pression dans les branches chaudes atteignent 135°C et 32 bar abs, la connexion des trains RIS-RA en mode RA est réalisée.

1.6.3. IMPACT DU CUMUL DU MANQUE DE TENSION EXTERNE

Conformément aux règles d'études (voir section 15.0.2), le MDTE est appliqué à l'instant le plus pénalisant parmi l'instant initial, l'instant de l'AAR et l'instant du signal d'IS.

Vis-à-vis de la conduite, le cumul du MDTE rend indisponibles les pompes ARE, les pompes de charge, les pompes primaires et donc l'aspersion normale. Les soupapes du pressuriseur sont alors sollicitées pour dépressuriser le circuit primaire et atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

En conduite incidentelle, la conduite reste similaire au cas sans cumul du MDTE hormis les spécificités liées au MDTE. Par ailleurs, deux heures après la perte des alimentations électriques externes, et si le bas niveau bache ASG n'a pas été atteint avant, par application d'une fiche EFS, l'opérateur sortira de la phase de stabilisation, et le passage en état de repli en conduite incidentelle sera demandé.

En conduite accidentelle, la conduite reste similaire au cas sans cumul du MDTE, hormis l'arrêt des GMPP qui n'est pas demandé pendant la conduite de l'IS.

1.6.4. CONCLUSION POUR L'ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

dans la situation d'une conduite incidentelle :

La conduite incidentelle la plus pénalisante vis-à-vis de la consommation d'eau ASG est celle qui nécessite d'atteindre le seuil de bas niveau des baches ASG avant d'engager le refroidissement. En conduite incidentelle, les moyens disponibles pour atteindre l'état d'arrêt sûr sont identiques à ceux de

l'étude de la Perte de l'Eau Alimentaire Normale (voir section 15.2.2i) pour laquelle un calcul explicite permet de montrer que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

La quantité d'eau ASG consommée est évaluée de manière conservatrice à partir d'un dégagement d'énergie [], enveloppe du retour en puissance calculé pour les différents initiateurs de RTV étudiés. L'évacuation de la puissance consomme alors au maximum 100 m³ d'ASG. L'étude de Perte de l'Eau Alimentaire Normale permet d'établir que le volume d'ASG disponible pour la phase de stabilisation (avant atteinte du seuil de bas niveau dans les bâches ASG) est très supérieur à [].

Par conséquent, malgré une consommation supplémentaire [] d'ASG, il est toujours possible d'entrer en phase de stabilisation en conduite incidentelle. L'opérateur sortira de cette séquence lorsque l'état de repli sera demandé sur le critère de bas niveau dans les bâches ASG. La conduite suivie reste similaire à l'étude de Perte de l'Eau Alimentaire Normale qui montre que la capacité de bâches ASG est suffisante pour rallier l'état d'arrêt sûr.

dans la situation d'une conduite accidentelle :

La conduite accidentelle la plus pénalisante vis à vis de la consommation d'eau ASG est la conduite de « Stabilisation - Contrôle de la puissance nucléaire » qui nécessite une phase de stabilisation avant d'entamer le refroidissement.

Il est nécessaire d'évaluer le temps requis pour atteindre la concentration en bore de l'arrêt à froid durant la phase de « stabilisation de la puissance nucléaire ». Cette durée dépend du nombre de trains RBS disponibles et est évaluée [] avec un train RBS. Cette durée est supérieure à la phase de stabilisation de [] de l'accident de Rupture de Tuyauterie d'Eau Alimentaire (RTE – section 15.2.4c). Cependant, en RTE le refroidissement est démarré à une température primaire d'environ []. Avec un gradient de -25° C/h, il faudra [] pour atteindre [], condition au dessus de laquelle un retour en puissance avec une grappe bloquée ne peut pas avoir lieu (condition de l'accident étudié dans ce paragraphe puisqu'il y a eu un retour en puissance). Par conséquent, la RTE met [] pour rejoindre les mêmes conditions que celles de l'accident étudié dans ce paragraphe. La RTE enveloppe donc le temps de [] nécessaire pour rejoindre la concentration en bore de l'arrêt à froid.

Vis-à-vis de la quantité d'eau ASG consommée, le retour en puissance ne peut pas avoir lieu si la température primaire est supérieure à la température critique avec une grappe bloquée calculée dans le cadre de la section 15.2.2d. Lorsque le retour en puissance intervient, la température est ainsi inférieure à cette température critique et la pression secondaire inférieure à la pression de saturation associée. La pression secondaire est alors inférieure au seuil d'isolement des vannes d'isolement vapeur []. A l'instant du retour en puissance, les GV sains sont isolés, ils ne peuvent pas participer à l'évacuation de la puissance. Seul le GV affecté évacue la puissance générée. On considère que le GV affecté est isolé à []. L'évacuation de la puissance consomme alors au maximum []. Cette consommation est enveloppée par la RTE au cours de laquelle l'isolement du GV affecté est également réalisé à [].

Dans le cas de transitoire de Dilution en puissance avec aggravant sur un VDA, compte-tenu de la faible sous-criticité initiale, le retour en puissance peut avoir lieu lorsque la température primaire est supérieure à []. Un bilan énergétique prenant en compte l'énergie déposée par le retour en puissance, les GMPP, les structures, et les chaufferettes permet de montrer que la consommation d'eau ASG est enveloppée par la RTE.

Les moyens disponibles pour atteindre l'état d'arrêt sûr (VDA, ASG, RBS, soupapes de sûreté du pressuriseur, pour ne citer que les moyens F1) sont identiques à ceux disponibles pour l'étude de la RTE en état A, pour laquelle un calcul explicite permet de montrer que la capacité des bâches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

dans la situation du cumul du MDTE :

La situation la plus pénalisante vis-à-vis de la consommation d'eau ASG est obtenue lorsque la conduite est réalisée en conduite incidentelle. En effet dans ce cas, l'opérateur est orienté dans une

phase de stabilisation jusqu'à l'application d'une fiche EFS ou d'un bas niveau bêche ASG qui demande le passage en état de repli.

Pour des situations avec cumul du MDTE, l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est couverte par l'incident de Perte des Alimentations Externes (PTAEE) d'une durée supérieure à \square (voir section 15.2.3b) vis-à-vis de la consommation d'eau ASG.

Une légère pénalité par rapport à l'incident de PTAEE est possible en raison du potentiel retour en criticité. L'accident avec cumul MDTE provoque l'arrêt des pompes primaires, situation favorable vis-à-vis du retour en puissance. Cependant, de façon conservative, sur la base d'un raisonnement identique à une situation incidentelle sans MDTE, la quantité d'ASG maximale pouvant être consommée jusqu'à l'entrée en conduite est évaluée \square . L'étude de PTAEE montre que le volume d'ASG disponible dans les bêches une fois atteintes les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA est très supérieur à \square m³. On peut conclure que la capacité des bêches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

conclusion

Pour toutes les situations présentées dans le [§ 1.6.](#), la capacité des bêches ASG est suffisante pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, ce qui permet l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$) et les rejets radiologiques restent tolérables. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.](#) est donc respecté.

Comme détaillé au [§ 1.5.2.10.](#) une étude \square démontre que le scénario pénalisant de RTV \square initiée à puissance nulle et située dans une casemate vapeur conduit au dépassement du profil de qualification du matériel dans cette même casemate. Les conséquences de ce dépassement ne sont cependant pas de nature à remettre en cause l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et le respect des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.](#)

1.7. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

L'analyse de la défaillance d'une vanne réglante d'un VDA en cas de transitoire de dilution en puissance est réalisée avec le jeu d'hypothèses de l'état final de conception (à l'exception des compléments listés au [§ 1.8.2.](#)) tandis que l'analyse de la RTV à puissance nulle est menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B). Ces analyses montrent que :

- Les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages limités sur les assemblages combustibles, présentés au [§ 1.2.](#) sont respectés.
- Les critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé (cœur sous-critique, évacuation de la puissance, inventaire en eau stable et rejets radiologiques tolérables) présentés au [§ 1.2.](#) sont respectés.

L'analyse de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, menée avec un jeu d'hypothèses intermédiaire, montre que l'état d'arrêt sûr est atteint avec les moyens classés F1 uniquement. L'analyse montre que la capacité des bêches ASG est suffisante pour rallier les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, que le cœur reste sous-critique et que les rejets radiologiques restent tolérables.

1.8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

1.8.1. RTV à puissance nulle et RTV en puissance

L'analyse de la RTV initiée à puissance nulle et en puissance a été menée sur la base du jeu d'hypothèses intermédiaire.

Les modifications introduites dans le jeu d'hypothèses entre son état intermédiaire (Annexe 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15.1) sont listées ci-dessous.

Les modifications suivantes sont identifiées comme ayant un impact favorable sur les accidents traités dans ce chapitre.

- abaissement du seuil de haut niveau GV GE Max0p



L'abaissement du seuil a un impact favorable, puisqu'il conduit à un isolement de l'ARE anticipé lors d'une montée de niveau GV.



- ajout d'un signal F1A de démarrage du RBS sur basse pression pressuriseur seuil MIN4p

Ce signal de démarrage automatique du RBS sur basse pression pressuriseur a un impact favorable puisqu'il entraîne un démarrage du RBS pour certains cas présentés dans cette section.

- modification des insertions limites

Le relèvement des insertions limites des grappes permet une augmentation des marges d'anti-réactivité initiales. Cette modification a un impact favorable pour tous les cas présentés dans cette section.

- modifications des températures ARE

Les scénarios présentés dans ce chapitre considèrent une température ARE  enveloppe de la valeur  mise à jour avec l'état final de conception.

- délais de démarrage de l'ASG sur signal IS+MDTE



Le cas 1 (RTV-2A à l'intérieur de l'enceinte) du chapitre est l'unique cas concerné. En effet, de façon découplée pour couvrir les situations avec cumul du MDTE, l'ASG est démarré sur signal IS. L'introduction de cette modification est donc favorable, puisque l'ASG serait démarré après l'instant pénalisant.

Les modifications suivantes sont identifiées comme ayant un impact négligeable sur les accidents traités dans ce chapitre.


- ajout d'un signal F1A d'isolement de la décharge sur bas niveau pressuriseur seuil MIN1p validé par un compte rendu d'AAR

La valeur du seuil MIN1p étant identique au seuil de la fonction d'aide à l'opérateur bas niveau pressuriseur MIN2, la modification est donc sans impact sur les calculs.

- modification de l'incertitude de pression secondaire en ambiance dégradée

Une valeur de  bar est considérée dans ce chapitre. L'impact de l'augmentation  de la valeur de l'incertitude est négligeable sur les résultats.

- prise en compte de l'échauffement des colonnes de référence (modification complémentaire en cohérence avec l'état final de conception)

L'échauffement des colonnes de référence consécutif à des conditions d'ambiance accidentelle implique l'apparition d'un biais sur la mesure, non pris en compte dans le remontage d'incertitudes des mesures de niveau. L'ajout de ce poste supplémentaire peut conduire à un dépassement du requis en ambiance dégradée pris en compte dans cette étude. Une analyse d'impact a été menée  et a démontré l'absence d'impact sûreté de cette modification.

En conclusion, ces modifications ont un impact négligeable ou favorable sur les résultats présentés dans ce chapitre concernant les RTV.

1.8.2. Dilution en puissance avec une vanne réglante d'un VDA bloquée

L'étude de la défaillance d'une vanne réglante d'un VDA en cas de transitoire de dilution en puissance nécessite la prise en compte de la modification complémentaire suivante afin d'être cohérente avec l'état final de conception décrit dans le sous-chapitre 15.1. Cette modification présente un impact légèrement défavorable sur les transitoires de dilution en puissance :

- augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA

Une relaxation du requis du temps de fermeture VI-VDA a été réalisée. L'analyse d'impact permet de justifier l'acceptabilité de l'impact de cette relaxation de critère sur les accidents traités dans ce chapitre. L'augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA ne remet pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.](#)

En conclusion, cette modification a un impact légèrement défavorable sur les transitoires de dilution en puissance étudiés dans ce chapitre sans remettre en question le respect des critères de sûreté.

1.9. CONCLUSION

L'étude montre que :

- Les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages limités sur les assemblages combustibles présentés au [§ 1.2.](#) sont respectés.
- L'état contrôlé est atteint. Les critères techniques d'acceptation (cœur sous-critique, évacuation de la puissance, inventaire en eau stable et rejets radiologiques tolérables) cités au [§ 1.2.](#) sont respectés.
- L'état d'arrêt sûr est atteint :
 - L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
 - La capacité des bâches ASG est suffisante pour rallier les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, permettant d'évacuer durablement la puissance résiduelle.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.](#) est donc respecté.

Le dépassement du profil de qualification du matériel en casemate vapeur dans le cas pénalisant de RTV initiée à puissance nulle dans cette casemate ne remet pas en cause l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr. Le respect des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.](#) reste donc assuré pour ce scénario

2. RUPTURE D'UNE TUYAUTERIE VAPEUR [ÉTAT B]

L'état B correspond à un état d'arrêt normal sur GV (RIS-RA en mode RA non connecté). L'état B est caractérisé par un état de fonctionnement à charge nulle dans la configuration suivante :

- Toutes les grappes sont insérées.
- La température primaire est supérieure à (voir sous-chapitre 15.0).
- La pression primaire est comprise entre (voir sous-chapitre 15.0).
- La concentration en bore initiale est au minimum égale à la concentration en bore de l'arrêt à chaud (un des critères de dimensionnement de cette concentration étant de garantir la sous-criticité avec une grappe bloquée à .
- Le niveau GV est ajusté par les vannes réglantes Très Petit Débit ARE.

Certaines fonctions de protection sont inhibées en état B (validation du permissif P12) :

- Le signal IS est émis sur Bas ΔP en BC au lieu de Très Basse Pression pressuriseur MIN3p.
- Les signaux d'isolement vapeur MIN1p, d'isolement d'eau alimentaire MIN2p et d'isolement des VDA MIN3p sur Basse Pression secondaire sont désactivés.

2.1. CRITÈRES D'ÉTUDES

En état B, le réacteur est initialement sous-critique, les critères à respecter sont présentés dans le § [1.2.](#) (étude initiée à puissance nulle).

2.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

de l'initiateur à l'état contrôlé

La dépressurisation secondaire induite par l'ouverture d'une brèche entraîne une augmentation du débit vapeur extrait de chaque GV, débit qui décroît ensuite au fur et à mesure que la pression secondaire diminue. Il en résulte un refroidissement du fluide primaire, et donc une insertion de réactivité dans le cœur par effet modérateur. Cette insertion de réactivité engendre une diminution de la marge d'antiréactivité initiale qui peut conduire à un retour en criticité, et à une excursion de puissance. Il y a donc un risque de crise d'ébullition et d'endommagement de la gaine du combustible.

En l'absence de MDTE, deux scénarios extrêmes sont envisageables pour les états à pression secondaire encore élevée :

- En cas de faible appel de débit vapeur et si le système d'alimentation en eau des GV est en mode de régulation du niveau GV, le circuit primaire va se refroidir lentement jusqu'à atteindre la valeur limite imposée par la température d'eau alimentaire \square . Dans cette situation, aucun signal de protection n'est émis.
- En cas d'appel de débit vapeur plus important, les signaux automatiques de baisse rapide de pression secondaire peuvent être activés, conduisant à un isolement des lignes vapeur. Si la régulation du niveau GV est inefficace ou si l'eau alimentaire des GV a été isolée sur signal de baisse rapide de pression secondaire MAX2p, le niveau d'eau dans les GV diminue jusqu'à atteindre le signal d'AAR sur bas niveau GV MIN1p. Si aucune action opérateur n'intervient, le niveau dans tous les GV continue de chuter jusqu'à atteindre le signal de bas niveau GV MIN2p qui active l'ASG, GV par GV. La température minimale d'alimentation des GV par l'ASG est de \square .

Pour des états intermédiaires de l'état B jusqu'à la fin de l'état B \square , le débit vapeur n'est pas ou plus suffisant pour activer le signal de baisse rapide de pression GV. Aucun signal de protection automatique n'est émis.

En cas de MDTE à l'instant initial, une alarme de gravité 4 est émise, la pompe de démarrage et d'arrêt cesse rapidement d'alimenter les GV. L'appel de débit vapeur provoqué par l'initiateur conduit alors à une dégradation de l'inventaire en eau dans les GV, à terme le signal de bas niveau GV MIN2p peut démarrer l'ASG, GV par GV.

La démonstration réalisée dans l'étude d'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement du VDA en état B, présentée dans la section 15.2.4d, est applicable quelle que soit la taille de brèche considérée, pour les situations avec et sans cumul du MDTE et quelque soit l'aggravant (hormis une grappe coincée hors du cœur, situation non considérée en état B puisque toutes les grappes sont insérées dans le cœur). Les conclusions s'appliquent aux situations étudiées dans cette section.

L'absence de retour en criticité permet d'écarter tout risque de fusion à cœur des pastilles de combustible et de crise d'ébullition, ce qui garantit l'intégrité de la première barrière.

Par ailleurs, l'évacuation de la puissance résiduelle et de la puissance des pompes primaires est assurée par les GV alimentés par les lignes à très petit débit d'eau alimentaire ou par l'ASG. L'inventaire en eau primaire est stable et les rejets radiologiques restent tolérables (absence de dommage sur les assemblages combustible). L'état contrôlé est atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation définis au [§ 1.2.](#) est respecté.

atteinte de l'état d'arrêt sûr

L'opérateur est orienté en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA) suite à l'un des signaux d'AAR émis au cours de l'accident ou une alarme de gravité 4. Pour les situations ne sollicitant pas ces signaux de protection, l'opérateur peut être informé d'une dégradation du fonctionnement de la tranche par une alarme indiquant par exemple une diminution du niveau de la bache d'eau alimentaire. L'entrée en Conduite Incidentelle/Accidentelle pourrait se faire plus tardivement, par exemple sur un signal de bas niveau GV.

Pour les scénarios où les lignes vapeur ont été isolées automatiquement, l'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle oriente l'opérateur vers la stratégie « Passage à l'Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » sur le critère « ΔP entre GV non isolés supérieur à \square » (détecté après signal d'isolement vapeur) ou sur le critère « au moins un GV inutilisable ». Cette orientation est valable avec ou sans MDTE à l'instant initial.

Dans le cas contraire, il est orienté vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle » au cours de laquelle une stabilisation de la TRIC est demandée. Cette action étant inefficace, l'opérateur réalise l'isolement vapeur. Il sera réorienté rapidement vers la stratégie « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité ». Ces orientations s'appliquent avec ou sans MDTE à l'instant initial.

Les actions des opérateurs permettent d'abord d'isoler le GV affecté puis de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA ; il s'agira :

- d'assurer un refroidissement contrôlé du fluide primaire par le secondaire, jusqu'à 180°C dans les branches chaudes, et en parallèle d'apporter du bore dans le circuit primaire par le RBS, jusqu'à l'obtention de la concentration en bore requise en arrêt à froid,
- d'utiliser, si la dépressurisation primaire induite par le refroidissement est insuffisante, les moyens de dépressurisation disponibles (l'aspersion normale, ou les soupapes du pressuriseur).

L'opérateur peut procéder à la connexion du RIS-RA dès que le permissif P14 (180°C et 32 bar abs dans les branches chaudes) est obtenu, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$) et les rejets radiologiques restent tolérables puisque aucun endommagement des assemblages combustibles n'est observé.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.](#) est donc respecté. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

2.3. CONCLUSION

Le caractère générique de la démonstration établie dans la section 15.2.4d permet de couvrir les accidents de la présente section initiés en état B pour l'atteinte de l'état contrôlé. En effet la section 15.2.4d démontre que la concentration en bore requise en état B permet de garantir une sous criticité du cœur jusqu'à \square , conditions qui restent enveloppes des transitoires étudiés dans ce chapitre. La démonstration est applicable quelque soit l'aggravant et pour les situations avec et sans cumul du MDTE.

Pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, la conduite opérateur reste identique à celle présentée dans la section 15.2.4d. Par conséquent, la démonstration faite dans la section 15.2.4d couvre toutes les brèches secondaires en état B traitées dans ce chapitre.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 72/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 73/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.1 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR -
MATRICE DE MÉLANGE PÉNALISÉE ISSUE DES ESSAIS** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 74/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4B.2 SUR-DÉBITS ARE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 75/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.3 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A EN PUISSANCE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 76/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.4 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A DES RTV À
PUISSANCE NULLE (CYCLE NATUREL / DÉBUT DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 77/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.5 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A DES RTV À
PUISSANCE NULLE (MILIEU DE PROLONGATION DE
CYCLE)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 78/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.6 DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ - PRINCIPALES HYPOTHÈSES EN ÉTAT A DES
CAS DE DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN
PUISSANCE (CYCLE NATUREL)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 79/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.7 DONNÉES NEUTRONIQUES –
INCERTITUDES ET PÉNALITÉS POUR LES RTV INITIÉES À
PUISSANCE NULLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 80/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.8 DONNEES NEUTRONIQUES –
INCERTITUDES ET PENALITES POUR LA DÉFAILLANCE
D’UNE VANNE RÉGLANTE D’UN VDA EN CAS DE
TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 81/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4B.9 DONNÉES NEUTRONIQUES - SOUS-CRITICITÉ INITIALE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE ET POUR LA DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE

□

TAB-15.2.4B.10 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR -
ÉTAT A EN PUISSANCE SANS CUMUL MDTE - BRÈCHE [] -
DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Conditions initiales
0	Ouverture de la brèche
8,9	Atteinte du seuil bas RFTC
9,0	Atteinte du seuil de « Baisse rapide de pression GV > MAX0p »
[]	Signal d'ARR par bas RFTC
[]	Signal d'AAR par baisse rapide de pression ($dp/dt > MAX0p$)
[]	Début de chute des grappes
12,8	Instant de RFTC minimal [] [] []
12,9	Pic de puissance thermique [] Pic de puissance linéique []
[]	Déclenchement turbine
20	Fin de la simulation

TAB-15.2.4B.11 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR -
ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL MDTE - BRÈCHE [] -
DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Conditions initiales
0	Ouverture de la brèche
36,8	Atteinte du seuil bas RFTC + Cumul MDTE
36,9	Atteinte du seuil de « Baisse rapide de pression GV > MAX0p »
36,9	Annulation du débit ARE
37,0	Pic de puissance thermique []
[]	Signal d'AAR par bas RFTC
[]	Signal d'AAR par baisse rapide de pression (dP/dt > MAX0p)
[]	Début de chute des grappes
41,2	Instant de RFTC minimal [] [] []
41,6	Pic de température gaine []
[]	Déclenchement turbine
75	Fin de la simulation

**TAB-15.2.4B.12 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE
VAPEUR GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE -
ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES
ÉVÉNEMENTS**

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche Démarrage de l'ASG dans le GV affecté
0,9	Signal d'AAR sur « chute de pression secondaire > MAX0p » Signal d'isolement vapeur sur « chute de pression secondaire > MAX1p »
1,1	Signal d'isolement ARE et de la charge RCV sur « chute de pression secondaire > MAX2p »
1,6	Signal de démarrage RBS sur « pression secondaire < MIN5p »
□	Fermeture des vannes d'isolement vapeur
□	Fermeture des vannes grand débit ARE sur compte rendu d'AAR
□	Fermeture des vannes petit débit ARE dans tous les GV
□	Arrêt des GMPP sur « chute de pression secondaire > MAX1p » et haute pression enceinte
37,2	Signal IS sur « pression pressuriseur < MIN3p » Démarrage ASG dans les GV sains sur « signal IS + MDTE »
□	Isolement de la charge du RCV
□	Démarrage du RBS
64,1	Puissance linéique maximale
71,1	Instant de RFTC minimal □ □ □
□	Démarrage des pompes ISMP

**TAB-15.2.4B.13 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À
L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE
NULLE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
434,6	Signal d'isolement vapeur sur « basse pression secondaire < MIN1p »
□	Fermeture des VIV
544,6	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV 1 sur « basse pression secondaire < MIN2p »
□	Isolement du petit débit ARE dans le GV affecté
1349,6	Signal de mise en service de l'ASG dans le GV affecté sur « bas niveau GV < MIN2p » Mise en service de l'ASG dans le GV affecté
1799	Pic de puissance thermique
1810	Puissance linéique maximale
1870	Instant de RFTC minimal □ □ □

TAB-15.2.4B.14 CAS 3 - RUPTURE DE TUYAUTERIE
VAPEUR DE [] À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
20,8	Signal d'isolement vapeur sur « baisse rapide de pression secondaire > MAX1p »
[]	Fermeture des vannes d'isolement vapeur
29,5	Signal d'isolement du petit débit ARE dans tous les GV et de la charge RCV sur « baisse rapide de pression secondaire > MAX2p »
[]	Fermeture des vannes petit débit ARE dans tous les GV
67,2	Signal de démarrage RBS sur « basse pression secondaire < MIN5p »
[]	Isolement de la charge RCV
75,3	Signal IS sur « basse pression pressuriseur < MIN3p »
[]	Démarrage du RBS
197,9	Signal de mise en service de l'ASG dans le GV affecté sur « bas niveau GV < MIN2p » Mise en service de l'ASG dans le GV affecté
232	Premier ppm de bore dans le coeur
243	Instant de RFTC minimal [] [] []
275,2	Pic de puissance thermique
275	Puissance linéique maximale

**TAB-15.2.4B.15 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À
L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE
NULLE - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ - SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS (MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
484,5	Signal d'AAR et d'isolement vapeur sur « basse pression secondaire < MIN1p »
□	Fermeture des VIV
535,1	Signal d'isolement du petit débit ARE dans le GV 1 sur « haut niveau GV > MAX0p »
□	Isolement du petit débit ARE dans le GV affecté
1762,5	Signal de mise en service de l'ASG dans le GV affecté sur « bas niveau GV < MIN2p » Mise en service de l'ASG dans le GV affecté
□	Action opérateur démarrage du RBS et isolement de l'ASG du GV affecté
2349	Pic de puissance thermique
2581	Signal d'isolement de la charge RCV sur « haut niveau pressuriseur > MAX1p »
□	Isolement de la charge RCV

**TAB-15.2.4B.16 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE
 D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN
 PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN –
 DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
 SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
65,5	Émission du signal de protection anti-dilution en états d'arrêt
□	Fermeture des vannes petit débit ARE dans tous les GV
95,5	Démarrage du RBS
□	Isolement de la charge RCV
543,4	Arrivée du 1 ^{er} ppm de bore dans le cœur
553	Instant de puissance linéique maximale □
555	Instant de RFTC minimal □ □ □
□	Isolement vapeur sur signal de « basse pression secondaire < MIN1p »
1288	Signal IS sur « basse pression pressuriseur < MIN3p » Activation du refroidissement partiel sur signal IS
1288	Signal d'isolement du VDA affecté sur « basse pression secondaire < MIN3p »
□	Fermeture de la vanne d'isolement du VDA affecté

TAB-15.2.4B.17 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE
D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN
PUISSANCE – CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN -
DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
65,5	Émission du signal de protection anti-dilution en états d'arrêt
□	Fermeture des vannes petit ARE dans tous les GV
95,5	Démarrage du RBS
□	Isolement de la charge RCV
543,4	Arrivée du 1 ^{er} ppm de bore dans le cœur
□	Isolement vapeur sur signal de « basse pression secondaire < MIN1p »
983,6	Signal IS sur « basse pression pressuriseur < MIN3p » Activation du refroidissement partiel sur signal IS
1110	Signal d'isolement du VDA affecté sur « basse pression secondaire < Min3p »
□	Fermeture de la vanne d'isolement du VDA affecté

**TAB-15.2.4B.18 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE
D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN
PUISSANCE – CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN -
DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
65,5	Émission du signal de protection anti-dilution en états d'arrêt
□	Fermeture des vannes petit ARE dans tous les GV
95,5	Démarrage du RBS
□	Isolement de la charge RCV
543,4	Arrivée du 1 ^{er} ppm de bore dans le cœur
□	Isolement vapeur sur signal de « basse pression secondaire < MIN1p »
746,1	Signal IS sur « basse pression pressuriseur < MIN3p » Activation du refroidissement partiel sur signal IS
866,6	Signal d'isolement du VDA affecté sur « basse pression secondaire < Min3p »
□	Fermeture de la vanne d'isolement du VDA affecté

**TAB-15.2.4B.19 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE
D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN
PUISSANCE – CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN –
DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
65,5	Émission du signal de protection anti-dilution en états d'arrêt
█	Fermeture des vannes petit ARE dans tous les GV
95,5	Démarrage du RBS
█	Isolement de la charge RCV
543,4	Arrivée du 1 ^{er} ppm de bore dans le cœur
█	Isolement vapeur sur signal de « basse pression secondaire < MIN1p »
600,6	Signal IS sur « basse pression pressuriseur < MIN3p » Activation du refroidissement partiel sur signal IS
712,0	Signal d'isolement du VDA affecté sur « basse pression secondaire < Min3p »
█	Fermeture de la vanne d'isolement du VDA affecté

**TAB-15.2.4B.20 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE
D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN
PUISSANCE – CAS COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN -
DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
65,5	Émission du signal de protection anti-dilution en états d'arrêt
█	Fermeture des vannes petit ARE dans tous les GV
95,5	Démarrage du RBS
█	Isolement de la charge RCV
505,6	Signal IS sur « basse pression pressuriseur < MIN3p » Activation du refroidissement partiel sur signal IS
█	Isolement vapeur sur signal de « basse pression secondaire < MIN1p »
542,5	Arrivée du 1 ^{er} ppm de bore dans le cœur
607,5	Isolement du VDA affecté sur « basse pression secondaire < Min3p »
█	Fermeture de la vanne d'isolement du VDA affecté

**TAB-15.2.4B.21 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE
D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN
PUISSANCE – CAS COUVRANT LA PLAGE DE 25 À 100%
PN - DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

TEMPS (secondes)	ÉVÉNEMENT
0	Ouverture de la brèche
65,5	Émission du signal de protection anti-dilution en états d'arrêt
█	Fermeture des vannes petit ARE dans tous les GV
95,5	Démarrage du RBS
█	Isolement de la charge RCV
393,0	Signal IS sur « basse pression PZR < MIN3p » Activation du refroidissement partiel sur signal IS
█	Isolement vapeur sur signal de « basse pression secondaire < MIN1p »
465,1	Isolement du VDA affecté sur « basse pression secondaire < MIN3p »
█	Fermeture de la vanne d'isolement du VDA affecté
508,3	Arrivée du 1 ^{er} ppm de bore dans le cœur



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 94/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.22 CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET
DISTRIBUTION DE PUISSANCE À L'INSTANT PÉNALISANT
DU TRANSITOIRE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE
- CAS TGI-1 - CALCULS DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN -
CAS 1 - RTV-2A À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE**

□

**TAB-15.2.4B.23 CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET
DISTRIBUTION DE PUISSANCE A L'INSTANT PÉNALISANT
DU TRANSITOIRE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE
- CAS TGI-1 - CALCULS DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN -
CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE** □

□

**TAB-15.2.4B.24 CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET
DISTRIBUTION DE PUISSANCE A L'INSTANT PÉNALISANT
DU TRANSITOIRE POUR LA PARTIE À PUISSANCE NULLE
- CAS TGI - CALCULS DE PLIN MAX ET DE RFTC MIN - CAS
3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 97/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.25 CONDITIONS THERMOHYDRAULIQUES ET
DISTRIBUTION DE PUISSANCE A L'INSTANT PÉNALISANT
DU TRANSITOIRE – CALCULS DE PLIN MAX ET DE RFTC
MIN - DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA
EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 98/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4B.26 RTV A À PUISSANCE NULLE ET
DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN
CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE -
RÉSULTATS DE PLIN ET RFTC POUR LES DIFFÉRENTS
CAS ÉTUDIÉS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 99/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4B.27 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE
D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN
PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE 5 À 100%PN
- RESULTATS**

□

**TAB-15.2.4B.28 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE
TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS COUVRANT LA PLAGE DE 5 À 100%PN –
STATE-POINTS EN (P, CB, T°)**

□

FIG-15.2.4B.1 INITIATEURS TGI-1 - CONFIGURATIONS PÉNALISANTES POUR LA BRÈCHE PÉNALISANTE DU SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE

□

FIG-15.2.4B.2 INITIATEURS TGI-1 - CONFIGURATIONS PENALISANTES POUR LA BRÈCHE 2A À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE



FIG-15.2.4B.3 CONFIGURATIONS TGI – CARACTERISTIQUES DES CYCLES ETUDIES

□

FIG-15.2.4B.4 COUPLAGE DES CODES 

FIG-15.2.4B.5 ÉVÉNEMENTS À COUVRIR DANS LES ÉTUDES PCC

□

**FIG-15.2.4B.6 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB
CORRESPONDANT A LA BOUCLE ROMPUE N°1**

**FIG-15.2.4B.7 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB
CORRESPONDANT A LA BOUCLE ROMPUE N°2**

**FIG-15.2.4B.8 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB
CORRESPONDANT A LA BOUCLE ROMPUE N°3**

**FIG-15.2.4B.9 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB
CORRESPONDANT A LA BOUCLE ROMPUE N°4**

FIG-15.2.4B.10 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB SPECIALE
CENTREE SUR LA GRAPPE □

□

FIG-15.2.4B.11 NAPPE DE TEMPÉRATURES ET CB SPECIALE
CENTREE SUR LA GRAPPE □

□

**FIG-15.2.4B.12 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR EN ÉTAT A EN PUISSANCE - SANS CUMUL MDTE -
SPECTRE DE BRÈCHES PÉNALISANT**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 113/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.13 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRËCHE □ - PUISSANCES
CŒUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4B.14 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ -
TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 115/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.15 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - NIVEAU
PRESSURISEUR ET PRESSION PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 116/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.16 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 117/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.17 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE SANS CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - NIVEAUX GV GE
ET DÉBITS BRÈCHE ET TURBINE**

□

**FIG-15.2.4B.18 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR EN ÉTAT A EN PUISSANCE - AVEC CUMUL MDTE -
SPECTRE DE BRÈCHES PÉNALISANT**

□

FIG-15.2.4B.19 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL MDTE - BRÈCHE □ - ÉVOLUTIONS DE LA TEMPÉRATURE INTERNE DE LA GAINÉ ET DE LA TEMPÉRATURE AU CENTRE DE LA PASTILLE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 120/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.20 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - PUISSANCES
CŒUR ET PUISSANCE ÉCHANGÉE PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 121/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.21 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ -
TEMPÉRATURES BRANCHES CHAUDES ET BRANCHES FROIDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 122/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.22 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ -NIVEAU
PRESSURISEUR ET PRESSION PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 123/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.23 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 124/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.24 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - NIVEAUX GV GE
ET DÉBITS BRÈCHE ET TURBINE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 125/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.25 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN
PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE - BRÈCHE □ - DÉBITS
MASSIQUES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.4B.26 RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - ÉTAT A EN PUISSANCE AVEC CUMUL DU MDTE -
COURBE DE FUEL CENSUS SPÉCIFIQUE AUX CAS ÉTUDIÉS POUR LE CALCUL DU NCE**

□

FIG-15.2.4B.27 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - PUISSANCES CŒUR ET PUISSANCES
ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 128/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4B.28 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET
BRANCHES CHAUDES

□

FIG-15.2.4B.29 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - PRESSION PRIMAIRE ET NIVEAU
PRESSURISEUR

□

**FIG-15.2.4B.30 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG**

□

FIG-15.2.4B.31 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - PRESSIONS SECONDAIRES ET DÉBITS
D'ALIMENTATION DES GV

□

**FIG-15.2.4B.32 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS VAPEUR**

□

FIG-15.2.4B.33 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - DÉBITS D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS
ET RÉACTIVITÉ

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 134/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4B.34 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS
MASSIQUES PRIMAIRES

□

FIG-15.2.4B.35 CAS 1 - RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR
GUILLOTINE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - ÉTAT A À
PUISSANCE NULLE – DÉBIT DE CHARGE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 136/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.36 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PUISSANCES
CŒUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE**

[]

FIG-15.2.4B.37 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES

□

**FIG-15.2.4B.38 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSION
PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 139/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.39 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GL
ET DÉBITS ASG**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 140/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.40 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 141/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.41 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GE
ET DÉBITS VAPEUR**

[]

**FIG-15.2.4B.42 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBITS
D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET RÉACTIVITÉ**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 143/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4B.43 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES

□

**FIG-15.2.4B.44 CAS 2 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBIT DE
CHARGE**

[]

**FIG-15.2.4B.45 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PUISSANCES
CŒUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 146/213

FIG-15.2.4B.46 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES

[]

**FIG-15.2.4B.47 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSION
PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 148/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4B.48 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS ASG

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 149/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.49 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 150/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.50 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GE
ET DÉBITS VAPEUR**

[]

**FIG-15.2.4B.51 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBITS
D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET RÉACTIVITÉ**

□

FIG-15.2.4B.52 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 153/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.53 CAS 3 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBITS DE
CHARGE**

□

**FIG-15.2.4B.54 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PUISSANCES
CŒUR ET PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE
(MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

FIG-15.2.4B.55 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 156/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.56 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSION
PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR (MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

[]

**FIG-15.2.4B.57 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GL
ET DÉBITS ASG (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)**

□

**FIG-15.2.4B.58 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV (MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

[]

**FIG-15.2.4B.59 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - NIVEAUX GV GE
ET DÉBITS VAPEUR (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)**

[]

**FIG-15.2.4B.60 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - DÉBITS
D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET RÉACTIVITÉ (MILIEU DE
PROLONGATION DE CYCLE)**

[]

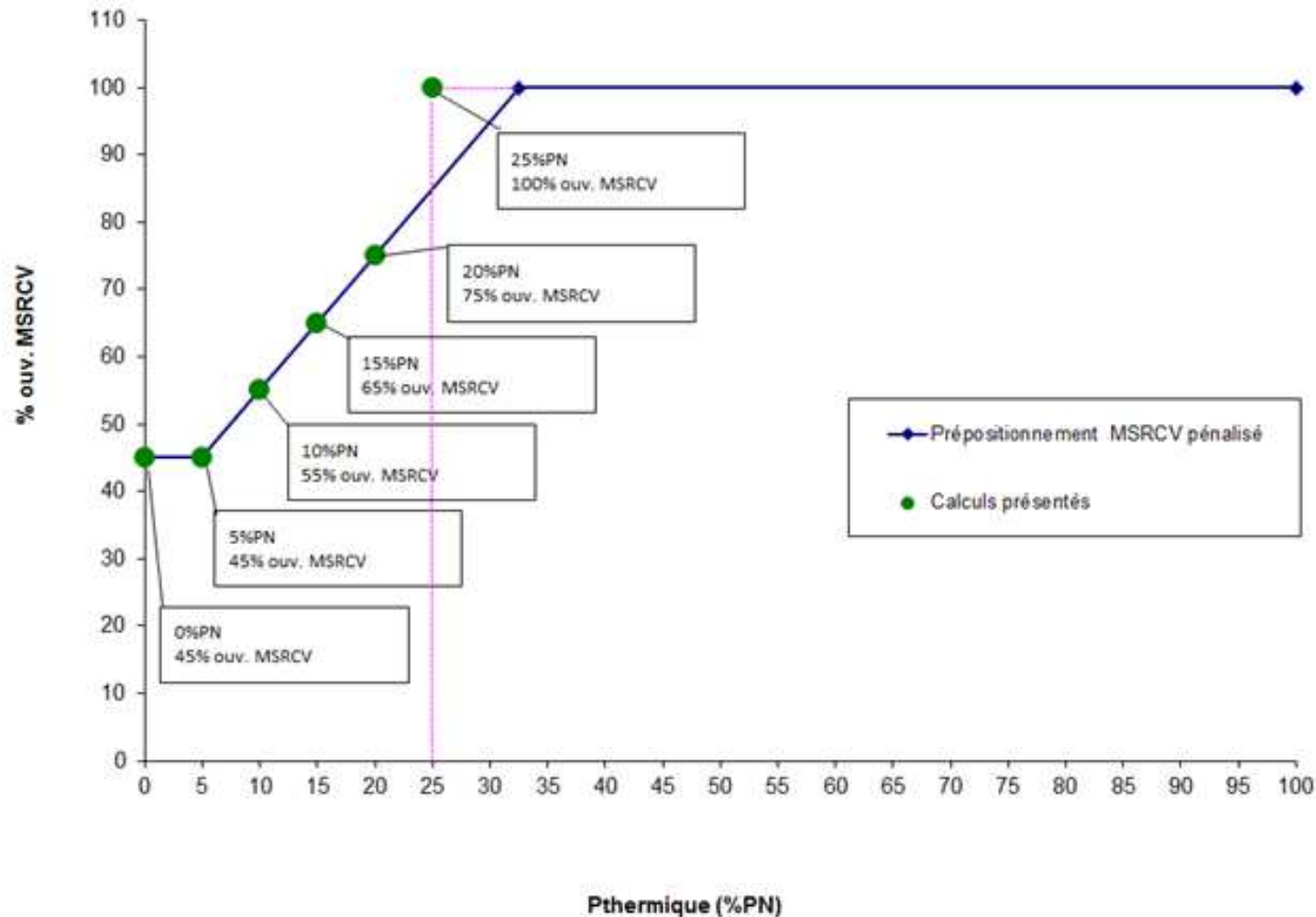
FIG-15.2.4B.61 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE - □ - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE - CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)

□

**FIG-15.2.4B.62 CAS 4 - SPECTRE DE BRÈCHES À L'INTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE - [] - ÉTAT A À PUISSANCE NULLE – DÉBITS DE
CHARGE (MILIEU DE PROLONGATION DE CYCLE)**

[]

FIG-15.2.4B.63 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE – PRÉPOSITIONNEMENT DES VANNES DE CONTRÔLE VDA EN FONCTION DU NIVEAU DE PUISSANCE ETUDIÉ





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 164/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.64 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE-
PLAGE ALLANT DE 0 À 5%PN**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 165/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.65 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PUISSANCES CŒUR ET
PUISSANCES ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 166/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.66 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE –
CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES
FROIDES ET BRANCHES CHAUDES**

□

**FIG-15.2.4B.67 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE –
CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET
NIVEAU PRESSURISEUR**

□

**FIG-15.2.4B.68 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE –
CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS
ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 169/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.69 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE –
CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET
DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

□

**FIG-15.2.4B.70 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE –
CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS
VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 171/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.71 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE –
CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITE ET RBS ET RÉACTIVITÉ**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 172/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.72 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE –
CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET
DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 173/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.73 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE –
CAS COUVRANT LA PLAGE DE 0 À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – DÉBIT DE CHARGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 174/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.74 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES
FROIDES ET BRANCHES CHAUDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 175/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.75 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET
NIVEAU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 176/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.76 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS
ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 177/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.77 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET
DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 178/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.78 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS
VAPEUR**

□

**FIG-15.2.4B.79 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 180/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.80 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET
DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 181/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.81 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 5%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PUISSANCES ÉCHANGÉES
PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 182/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.82 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES
FROIDES ET BRANCHES CHAUDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 183/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.83 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET
NIVEAU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 184/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.84 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS
ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 185/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.85 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET
DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 186/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.86 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS
VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 187/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.87 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 188/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.88 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET
DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 189/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.89 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 10%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PUISSANCES ÉCHANGÉES
PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 190/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.90 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES
FROIDES ET BRANCHES CHAUDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 191/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.91 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET
NIVEAU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 192/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.92 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS
ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 193/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.93 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLE - PRESSIONS SECONDAIRES ET
DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 194/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.94 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS
VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 195/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.95 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 196/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.96 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET
DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 197/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.97 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 15%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PUISSANCES ÉCHANGÉES
PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 198/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.98 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - TEMPÉRATURES BRANCHES
FROIDES ET BRANCHES CHAUDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 199/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.99 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION PRIMAIRE ET
NIVEAU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 200/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.100 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL ET DÉBITS
ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 201/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.101 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS SECONDAIRES ET
DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 202/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.102 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE ET DÉBITS
VAPEUR**

□

**FIG-15.2.4B.103 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS D'INJECTION DE
SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE**

□

**FIG-15.2.4B.104 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - CONCENTRATION EN BORE ET
DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 205/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.105 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT L'ÉTAT INITIAL À 20%PN - DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PUISSANCES ÉCHANGÉES
PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 206/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.106 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE ALLANT DE 25 À 100%PN -
DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
TEMPÉRATURES BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 207/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.107 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSION
PRIMAIRE ET NIVEAU PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 208/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.108 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GL
ET DÉBITS ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 209/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.109 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - PRESSIONS
SECONDAIRES ET DÉBITS D'ALIMENTATION DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 210/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.110 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - NIVEAUX GV GE
ET DÉBITS VAPEUR**

□

**FIG-15.2.4B.111 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE ALLANT DE 25 À 100%PN -
DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - DÉBITS
D'INJECTION DE SÉCURITÉ ET RBS ET DÉBIT DE CHARGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 212/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.112 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ -
CONCENTRATION EN BORE ET DÉBITS MASSIQUES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4B

PAGE 213/213

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4B.113 DÉFAILLANCE D'UNE VANNE RÉGLANTE D'UN
VDA EN CAS DE TRANSITOIRE DE DILUTION EN PUISSANCE - CAS
COUVRANT LA PLAGE DE PUISSANCE DE 25 À 100%PN - DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – PUISSANCES
ÉCHANGÉES PRIMAIRE/SECONDAIRE**

□

SOMMAIRE

.15.2.4C RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE.	10
1. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTAT A)	10
1.1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT	10
1.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE	10
1.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	10
1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	13
1.3. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL	14
1.4. MOYENS DE PROTECTION	14
1.4.1. PRÉCAUTIONS	14
1.4.2. MOYENS AUTOMATIQUES	15
1.5. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	15
1.5.1. CAS ÉTUDIÉS DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ	16
1.5.2. CAS ÉTUDIÉS DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	16
1.6. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	17
1.6.1. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	17
1.6.2. RÉSULTATS	20
1.7. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	23
1.7.1. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	23
1.7.2. RÉSULTATS	26
2. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTAT B)	29
2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE	29
2.1.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	29
2.1.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	29
2.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	29
2.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	30
3. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE	30
4. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	31
4.1. LISTE DES MODIFICATIONS	31



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 2/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

4.2. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTAT A)	32
4.2.1. CAS 1 : [] COURT TERME	32
4.2.2. CAS 4 : [] COURT TERME AVEC MDTE	33
4.2.3. CAS 5 : [] LONG TERME	33
4.3. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTAT B)	34
4.4. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	35
5. CONCLUSION	35
LISTE DES RÉFÉRENCES.	37

TABLEAUX :

TAB-15.2.4C.1 RTE (ÉTAT A, PCC4) CONDITIONS INITIALES.....	38
TAB-15.2.4C.2 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ	39
TAB-15.2.4C.3 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ	40
TAB-15.2.4C.4 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ	41
TAB-15.2.4C.5 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ	42
TAB-15.2.4C.6 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR.....	43
TAB-15.2.4C.7 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR.....	45
TAB-15.2.4C.8 RTE – PUISSANCE RÉSIDUELLE (HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES)	46
TAB-15.2.4C.9 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 1 : ATTEINTE DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ	47
TAB-15.2.4C.10 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 4 : ATTEINTE DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ.....	48
TAB-15.2.4C.11 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 5 : ATTEINTE DE L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR.....	49
TAB-15.2.4C.12 RTE – PUISSANCE RÉSIDUELLE	51

FIGURES :

FIG-15.2.4C.1 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	52
--	-----------

FIG-15.2.4C.2 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE.....	53
FIG-15.2.4C.3 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV	54
FIG-15.2.4C.4 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT BRÈCHE.....	55
FIG-15.2.4C.5 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	56
FIG-15.2.4C.6 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES	57
FIG-15.2.4C.7 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CHAUFFERETTES – PRESSIONS GV.....	58
FIG-15.2.4C.8 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR.....	59
FIG-15.2.4C.9 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR.....	60
FIG-15.2.4C.10 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG	61
FIG-15.2.4C.11 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	62
FIG-15.2.4C.12 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTÉRMEIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE.....	63
FIG-15.2.4C.13 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV	64
FIG-15.2.4C.14 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES)– NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT BRÈCHE.....	65
FIG-15.2.4C.15 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	66

FIG-15.2.4C.16 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES	67
FIG-15.2.4C.17 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CHAUFFERETTES – PRESSIONS GV	68
FIG-15.2.4C.18 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR.....	69
FIG-15.2.4C.19 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR	70
FIG-15.2.4C.20 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG	71
FIG-15.2.4C.21 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	72
FIG-15.2.4C.22 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE.....	73
FIG-15.2.4C.23 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV	74
FIG-15.2.4C.24 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT BRÈCHE.....	75
FIG-15.2.4C.25 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	76
FIG-15.2.4C.26 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES	77
FIG-15.2.4C.27 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CHAUFFERETTES – PRESSIONS GV.....	78
FIG-15.2.4C.28 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR.....	79
FIG-15.2.4C.29 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR	80

FIG-15.2.4C.30 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG	81
FIG-15.2.4C.31 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	82
FIG-15.2.4C.32 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE.....	83
FIG-15.2.4C.33 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV	84
FIG-15.2.4C.34 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT BRÈCHE.....	85
FIG-15.2.4C.35 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	86
FIG-15.2.4C.36 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES	87
FIG-15.2.4C.37 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CHAUFFERETTES– PRESSIONS GV.....	88
FIG-15.2.4C.38 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR.....	89
FIG-15.2.4C.39 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR.....	90
FIG-15.2.4C.40 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG	91
FIG-15.2.4C.41 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	92
FIG-15.2.4C.42 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE.....	93
FIG-15.2.4C.43 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV	94

FIG-15.2.4C.44 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES	95
FIG-15.2.4C.45 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSIONS GV – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES	96
FIG-15.2.4C.46 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG – PUISSANCE CHAUFFERETTES	97
FIG-15.2.4C.47 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR	98
FIG-15.2.4C.48 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR	99
FIG-15.2.4C.49 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSE DÉCHARGÉE AUX SOUPAPES PRESSURISEUR – CONSOMMATION ASG	100
FIG-15.2.4C.50 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS RBS ET RIS	101
FIG-15.2.4C.51 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU DANS LE PLÉNUM SUPÉRIEUR ET ΔPSAT	102
FIG-15.2.4C.52 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	103
FIG-15.2.4C.53 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE	104
FIG-15.2.4C.54 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV	105
FIG-15.2.4C.55 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES	106
FIG-15.2.4C.56 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSIONS GV – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES	107

FIG-15.2.4C.57 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG – PUISSANCE CHAUFFERETTES.....	108
FIG-15.2.4C.58 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR.....	109
FIG-15.2.4C.59 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR.....	110
FIG-15.2.4C.60 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSE DÉCHARGÉE AUX SOUPAPES PRESSURISEUR – CONSOMMATION ASG.....	111
FIG-15.2.4C.61 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS RBS ET RIS	112
FIG-15.2.4C.62 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU DANS LE PLÉNUM SUPÉRIEUR ET ΔP_{SAT}.....	113
FIG-15.2.4C.63 CAS 1 – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	114
FIG-15.2.4C.64 CAS 1 – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE	115
FIG-15.2.4C.65 CAS 1 – NIVEAUX GV.....	116
FIG-15.2.4C.66 CAS 1 – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT BRÈCHE.....	117
FIG-15.2.4C.67 CAS 1 – TEMPÉRATURES PRIMAIRES	118
FIG-15.2.4C.68 CAS 1 – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES.....	119
FIG-15.2.4C.69 CAS 1 – PUISSANCE CHAUFFERETTES – PRESSIONS GV.....	120
FIG-15.2.4C.70 CAS 1 – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR	121
FIG-15.2.4C.71 CAS 1 – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR.....	122
FIG-15.2.4C.72 CAS 1 – DÉBITS ASG	123
FIG-15.2.4C.73 CAS 4 – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	124
FIG-15.2.4C.74 CAS 4 – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE	125
FIG-15.2.4C.75 CAS 4 – NIVEAUX GV.....	126

FIG-15.2.4C.76 CAS 4 – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT BRÈCHE.....	127
FIG-15.2.4C.77 CAS 4 – TEMPÉRATURES PRIMAIRES	128
FIG-15.2.4C.78 CAS 4 – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES.....	129
FIG-15.2.4C.79 CAS 4 – PUISSANCE CHAUFFERETTES – PRESSIONS GV.....	130
FIG-15.2.4C.80 CAS 4 – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR	131
FIG-15.2.4C.81 CAS 4 – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR	132
FIG-15.2.4C.82 CAS 4 – DÉBITS ASG	133
FIG-15.2.4C.83 CAS 5 – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	134
FIG-15.2.4C.84 CAS 5 – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE	135
FIG-15.2.4C.85 CAS 5 – NIVEAUX GV.....	136
FIG-15.2.4C.86 CAS 5 – TEMPÉRATURES PRIMAIRES	137
FIG-15.2.4C.87 CAS 5 – PRESSIONS GV – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES	138
FIG-15.2.4C.88 CAS 5 – DÉBITS ASG – PUISSANCE CHAUFFERETTES.....	139
FIG-15.2.4C.89 CAS 5 – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR	140
FIG-15.2.4C.90 CAS 5 – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR.....	141
FIG-15.2.4C.91 CAS 5 – MASSE DÉCHARGÉE AUX SOUPAPES PRESSURISEUR –CONSOMMATION ASG.....	142
FIG-15.2.4C.92 CAS 5 – DÉBITS RBS ET RIS	143
FIG-15.2.4C.93 CAS 5 – NIVEAU DANS LE PLÉNUM SUPÉRIEUR ET ΔP_{SAT}.....	144

.15.2.4C RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE

Cette étude a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée en se basant sur un jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B). Puis, l'analyse des modifications introduites ultérieurement a conduit à reprendre une partie de cette étude.

1. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTAT A)

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B).

1.1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

Une grosse brèche de tuyauterie du système d'eau alimentaire en état A est classée comme un événement PCC-4.

L'accident examiné est défini comme une rupture située sur une tuyauterie du circuit d'eau alimentaire suffisamment importante pour empêcher l'alimentation en eau du générateur de vapeur.

La capacité d'évacuation de la puissance du système secondaire est altérée. En fonction de la dimension de la brèche et du niveau de puissance de la chaudière nucléaire lorsque la brèche se produit, cet accident peut entraîner un sur-refroidissement du primaire (dû à un débit de vapeur excessif à la brèche) ou un échauffement du circuit primaire (dû à un débit liquide à la brèche). Les conséquences d'un refroidissement du circuit primaire sont couvertes par l'étude « Rupture de Tuyauterie Vapeur » traité dans le paragraphe 1 de la section 15.2.4b. Dans le § 1. de la présente section, seul l'aspect échauffement du circuit primaire est pris en compte.

Cette étude est traitée pour le cas enveloppe d'une brèche intérieur enceinte en aval du clapet anti-retour. En effet, en cas de rupture située sur la tuyauterie d'eau alimentaire en amont du clapet anti-retour, les problématiques liées à la vidange des GV à la brèche ne sont rencontrées qu'en cas de défaillance de ce clapet. L'aggravant unique n'est alors plus à considérer sur une autre fonction de sûreté.

Les ruptures qui se situent sur la tuyauterie d'eau alimentaire principale, entre le générateur de vapeur et le clapet anti-retour, entraînent à la fois une perte de débit d'eau alimentaire des générateurs de vapeur et une perte d'eau des générateurs de vapeur, ce qui conduit à un échauffement du circuit primaire dans le cas du fonctionnement à pleine puissance.

Cet accident englobe, en termes d'échauffement du circuit primaire, la rupture d'une tuyauterie ASG ou d'une tuyauterie APG.

1.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE

1.2.1. Description de l'accident

La séquence typique des événements en cas de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire est la suivante :

- 1) de l'événement initiateur à l'état contrôlé :
Après rupture, le circuit secondaire se dépressurise et le volume d'eau du générateur de vapeur affecté diminue au fur et à mesure que la masse liquide est perdue à la brèche. En raison de la perte de débit d'eau alimentaire à la brèche au travers du barillet d'eau alimentaire, le volume d'eau dans les trois générateurs de vapeur non affectés diminue également, mais pas aussi rapidement que dans le générateur de vapeur affecté.
La diminution du volume d'eau des générateurs de vapeur entraîne une réduction de la capacité d'évacuation de la puissance par le système secondaire et, en conséquence, un échauffement du circuit primaire.
Pendant cette phase, en fonction de la taille de la brèche, un Arrêt Automatique du Réacteur intervient soit sur signal de « Pression pressuriseur > MAX2 », soit sur un signal de « Pression enceinte > MAX1 », soit sur un signal venant du système secondaire, à savoir :

- niveau GV < MIN1,
- chute de pression GV > MAX1,
- pression GV < MIN1.

Sur signal d'Arrêt Automatique du Réacteur, les grappes de contrôle/d'arrêt sont automatiquement insérées, ce qui amène le cœur dans des conditions sous-critiques. Le signal d'Arrêt Automatique du Réacteur déclenche automatiquement la turbine et si elles sont disponibles, les vannes de décharge de vapeur s'ouvrent, permettant à la vapeur de se décharger vers le condenseur. En cas d'indisponibilité du GCT (soit après fermeture automatique de la vanne d'isolement vapeur, soit postulée car il n'est pas classé F1, soit après un MDTE), la pression du générateur de vapeur augmente rapidement, se traduisant par une décharge de vapeur à l'atmosphère par le VDA.

Pour une taille de brèche de tuyauterie d'eau alimentaire suffisamment importante pour évacuer la puissance primaire, la pression du générateur de vapeur augmente uniquement après l'isolement vapeur automatique sur les signaux « Chute de pression GV > MAX1 » ou « Pression GV < MIN1 ». Dans ce cas, après la fermeture des VIV, les trois générateurs de vapeur non affectés subissent une augmentation de pression alors que le générateur de vapeur affecté continue à se dépressuriser via la brèche.

Sur le signal « Chute de pression GV > MAX2 », la tuyauterie d'eau alimentaire est automatiquement isolée dans tous les GV. Sur le signal « Pression GV < MIN2 », la tuyauterie d'eau alimentaire du générateur de vapeur affecté est automatiquement isolée. Dans l'étude d'accident, l'eau alimentaire normale et le système AAD ne sont pas pris en compte après l'intervention d'une rupture de la tuyauterie d'eau alimentaire (effet bénéfique, système non-classé F1).

Après l'Arrêt Automatique du Réacteur, le déséquilibre d'évacuation de puissance entre primaire et secondaire se traduit par la poursuite de la diminution du volume liquide dans les GV affecté et non affectés. Lorsque le point de consigne « Niveau GV MIN2 » est atteint dans un générateur de vapeur, la pompe ASG associée est démarrée, (après une temporisation correspondant à une séquence de restage des diesels en cas de MDTE) et un débit ASG est envoyé vers le GV correspondant afin de rétablir son inventaire en eau. L'APG est également isolé sur ce même signal. Toutefois, dans l'étude d'accident, la totalité du débit ASG envoyé vers le générateur de vapeur affecté est postulée comme étant perdue directement à la brèche, sans participation à l'évacuation de la puissance (hypothèse pénalisante). Seuls les débits ASG envoyés vers les GV non affectés sont crédités.

Tant que les débits d'ASG qui alimentent le secondaire des GV restent insuffisants pour assurer l'évacuation totale de la puissance venant du circuit primaire (puissance résiduelle et puissance circuit primaire), la température et la pression du circuit primaire augmentent. Lorsque la pression pressuriseur atteint les points de tarage des soupapes pressuriseur (respectivement « Pression pressuriseur MAX3, MAX4, MAX5 ») la soupape pressuriseur correspondante s'ouvre entraînant une décharge du circuit primaire dans le réservoir de décharge du pressuriseur (RDP) (et éventuellement dans le bâtiment du réacteur si les disques de rupture du RDP éclatent). Dans l'étude d'accident, les aspersions normale et auxiliaire du pressuriseur ne sont pas prises en compte (aspersion normale non qualifiée à l'ambiance dégradée, aspersion auxiliaire non classée F1).

Durant toute cette phase, de l'Arrêt Automatique du Réacteur jusqu'à l'état contrôlé, les deux systèmes ASG et VDA limitent l'échauffement du primaire alors que la surpression du primaire est limitée par les soupapes pressuriseur.

L'état contrôlé est atteint lorsque la puissance côté primaire est entièrement évacuée via les générateurs de vapeur alimentés par ASG, de sorte que la température et la pression du primaire sont stabilisées. L'état contrôlé peut être atteint :

- automatiquement avant 30 minutes, en considérant les systèmes F1 démarrés automatiquement : C'est le cas lorsque 2 générateurs de vapeur non affectés sont alimentés, 2 pompes ASG ayant la capacité d'évacuer plus que la puissance du primaire.
- ou sur l'action de l'opérateur 1 heure¹ après l'Arrêt Automatique du Réacteur : C'est le cas lorsqu'un seul générateur de vapeur non affecté est alimenté, en raison d'une défaillance

1. Dans l'analyse d'accident, l'action d'opérateur est considérée à AAR + 30 minutes si elle est effectuée à partir de la salle de commande, à AAR + 1 heure, si elle est effectuée en dehors de la salle de commande. Le réaligement de l'ASG est une action locale effectuée à l'intérieur des bâtiments de sauvegarde.

unique et de la maintenance sur l'ASG des 2 générateurs de vapeurs non affectés restants, une pompe ASG n'étant pas suffisante pour évacuer toute la puissance du primaire à court terme après l'Arrêt Automatique du Réacteur ; dans ce cas, l'isolement de la tuyauterie d'alimentation de secours du générateur de vapeur concerné et le réaligement de la pompe d'ASG assurant l'alimentation du générateur de vapeur affecté vers l'un des 2 générateurs de vapeur non affectés restants, sont nécessaires pour assurer l'évacuation de la puissance du primaire.

- 2) de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr
L'état d'arrêt sûr est atteint lorsque le RIS-RA en mode RA est connecté (ISBP fonctionnant en mode RA) :
- Un seul train RIS-RA en mode RA sur 4 suffit pour évacuer la puissance.
 - Les conditions de connexion sont les suivantes :
 - pression en branche chaude du primaire < 32 bar,
 - température en branche chaude du primaire < 180°C,
 - ΔT_{sat}^2 et niveau boucle en cohérence avec l'aspiration du RIS-RA en mode RA à partir de la branche chaude.

La séquence d'opérations à effectuer pour atteindre l'état d'arrêt sûr est la suivante :

isolement du GV affecté

La première action opérateur est d'isoler complètement le générateur de vapeur affecté côté vapeur et côté alimentation en eau. L'isolement coté vapeur est fait en fermant la vanne d'isolement vapeur (si ceci n'a pas déjà été fait automatiquement, par exemple pour les petites brèches d'eau alimentaire), la ligne de conditionnement VVP ainsi que le VDA correspondant. L'isolement coté eau est fait en isolant la ligne ASG correspondante (afin d'empêcher que la bêche ASG associée ne se vidange complètement par la brèche et pour arrêter l'augmentation de pression dans l'enceinte), la ligne de petit débit ARE (le grand débit étant isolé automatiquement consécutivement à l'AAR) et la vanne d'isolement principale ARE. L'APG est également isolé (si ceci n'a pas déjà été fait automatiquement).

ouverture du barillet passif de l'ASG (refoulement pompe)


Après l'isolement de la ligne d'injection de l'ASG vers le générateur de vapeur affecté, le débit d'ASG correspondant peut être envoyé vers un autre générateur de vapeur via le barillet ASG, si besoin, c'est-à-dire en cas de défaillance unique et de maintenance préventive sur 2 alimentations de secours de GV non affectés, comme indiqué ci-dessus (l'ARE et AAD ne sont pas crédités parce qu'ils ne sont pas classés F1, 2 pompes ASG étant nécessaires pour évacuer la totalité de la puissance primaire à court terme après l'Arrêt Automatique du Réacteur).

refroidissement du primaire par les GV non affectés


Le refroidissement du circuit primaire jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA s'effectue via le secondaire par les générateurs de vapeur non affectés. La vitesse de refroidissement est de - 25°C/h si 1 seul train RBS est en service, ou de - 50°C/h si 2 deux trains RBS sont en service ou si la concentration en bore (CB) du primaire est supérieure à la CB d'arrêt à froid, tant qu'elle n'est pas limitée par la capacité des VDA en raison d'un bas niveau de pression du GV. Les vitesses de refroidissement sont définies de sorte que la borication par le RBS compense l'apport de réactivité provenant du refroidissement du circuit primaire.

borication du RCP


2. $\Delta T_{\text{sat}} = T_{\text{sat}}(\text{pression branche chaude}) - T_{\text{co}}$, avec T_{co} = température sortie du coeur.

Au cours du refroidissement, la borication du primaire est effectuée via le circuit de borication de secours (RBS) (le circuit de contrôle volumétrique et chimique n'est pas pris en compte, n'étant pas classé F1). Une fois la borication nécessaire terminée,  arrête le circuit de borication de secours.

ouverture du barillet passif de l'ASG (à l'aspiration des pompes)

 ouvrir le barillet ASG à l'aspiration des pompes afin de tirer parti de l'ensemble de la quantité d'eau des 4 bâches ASG (l'alimentation en eau des bâches ASG n'étant pas considérée car elle n'est pas classée F1). Le relignage des bâches ASG est nécessaire afin de permettre l'alimentation en eau des GV par l'ASG compte tenu du fait que le dimensionnement des bâches ASG suppose la disponibilité des 4 bâches. Cette procédure permet de palier à l'indisponibilité d'une pompe ASG provoquée par une maintenance préventive, une défaillance unique ou par son isolement vers le GV affecté.

dépressurisation du primaire

Dans l'étude d'accident, les aspersion normale et auxiliaire du pressuriseur ne sont pas prises en compte (aspersion normale non qualifiée à l'ambiance dégradée, aspersion auxiliaire non classée F1). La dépressurisation est donc faite par ouverture  d'une soupape de sûreté du pressuriseur.

Pendant le refroidissement du circuit primaire,  doit isoler les lignes d'injection des accumulateurs.

connexion au RIS-RA en mode RA

Lorsque les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont atteintes, un train ISBP doit être connecté en mode RA (aspiration en branche chaude, injection en branche froide). Un seul train RIS-RA en mode RA suffit pour évacuer la puissance résiduelle.

1.2.2. Critères d'étude

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.

En pratique, et dans objectif de simplification, les conséquences d'un refroidissement du circuit primaire engendré par une rupture de tuyauterie d'eau alimentaire sont couvertes par l'étude « Rupture de Tuyauterie Vapeur » traitée dans la section 15.2.4b.

Les conséquences d'un échauffement du circuit primaire engendré par une rupture de tuyauterie d'eau alimentaire sont analysées à moyen et long terme vis-à-vis des dommages sur les assemblages combustibles via la vérification de l'absence de découverture du cœur.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.

- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.3. MÉTHODES ET CODES DE CALCUL



Les phénomènes dominants de cet accident de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire sont :

- La vidange et la dépressurisation du générateur de vapeur accidenté.
- L'échauffement asymétrique du primaire et la surpression résultante du primaire (avec pompes primaires en fonctionnement ou non).
- Le refroidissement asymétrique du primaire via les GV non affectés avec un faible volume d'eau (avec pompes primaires fonctionnant ou non).
- Le refroidissement asymétrique du primaire et la dépressurisation du primaire jusqu'aux conditions de connexion au RIS-RA en mode RA (avec pompes primaires en fonctionnement ou non).



L'étude des scénarios s'appuie sur l'application des règles conservatives d'études PCC définies en section 15.0.2. Une des règles est l'approche déterministe pour toutes les conditions aux limites, en considérant des critères techniques d'acceptation. Ces conservatismes concernent au moins :

- La caractérisation de l'événement initiateur (maximisation de l'impact résultant).
- Les conditions initiales du réacteur (limites de zone morte, incertitudes de mesure maximales).
- L'efficacité des actions de prévention et de mitigation (incertitude maximale pour chaque mesure I&C et pour le retard des signaux ainsi que pour chaque temps de réponse du système).

Cette méthodologie d'étude donne un résultat conservatif qui peut être utilisé directement pour l'évaluation du respect des critères techniques d'acceptation.



1.4. MOYENS DE PROTECTION

1.4.1. Précautions

Les précautions suivantes limitent l'apparition d'un événement :

- Un clapet anti-retour empêche le générateur de vapeur de se vidanger via la brèche si cette brèche est située en amont du clapet. Dans ce cas, il entraîne un « accident de perte d'eau alimentaire » moins contraignant qu'un accident de « rupture de tuyauterie d'eau alimentaire ».

- Les tuyauteries d'eau alimentaire sont classées RCC-M (voir sous-chapitre 1.6) classe 2 depuis leur clapet d'isolement extérieur enceinte jusqu'au clapet anti-retour et, du clapet anti-retour jusqu'au GV, elles sont classées RCC-M classe 1.

1.4.2. Moyens automatiques

En cas de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire, les actions automatiques (classées F1A) vont déclencher l'Arrêt Automatique du Réacteur et assurer l'évacuation de la puissance résiduelle pour limiter l'échauffement du primaire.

Les différentes actions automatiques qui peuvent intervenir en cas de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire sont celles qui sont liées à l'échauffement du circuit primaire ou aux conséquences de cet événement en ce qui concerne le générateur de vapeur.

Les signaux F1A d'Arrêt Automatique du Réacteur possibles sont les suivants :

- pression pressuriseur > MAX2,
- pression enceinte > MAX1,
- niveau GV < MIN1,
- chute de pression GV > MAX1,
- pression GV < MIN1.

Les autres actions automatiques considérées dans l'étude sont les suivantes :

- déclenchement de la turbine :
Sur signal AAR, le déclenchement turbine est activé.
- isolement VIV (F1A) :
Les VIV sont fermées sur signal de « pression GV < MIN1 » ou sur signal de chute de pression GV > MAX1.
- mise en service de l'ASG (F1A) :
Sur « Niveau GV < MIN2 », l'alimentation de secours du GV correspondant est mise en service.
- ouverture du VDA (F1A) :
Lorsque la pression du GV atteint le point de consigne VDA « Pression GV > MAX1 », les VDA s'ouvrent et assurent l'évacuation de la puissance avec le contrôle de la pression.
- arrêt des pompes primaires (F1A) :
Sur « Niveau GV < MIN3 » dans au moins 3 GV, les pompes primaires sont déclenchées.
- mise en service du RIS (F1A) :
L'injection de sécurité est mise en service sur signal de « Pression pressuriseur < MIN3 » avant activation du permissif P12 et sur signal de « ΔP_{sat} < MIN1 » après l'activation de P12.
- ouverture des soupapes GV (F1A, ouverture passive) :
Si la pression du GV augmente jusqu'à la pression de tarage des soupapes GV, celles-ci s'ouvrent pour limiter la surpression du secondaire et assurer l'évacuation de la puissance.
- ouverture des soupapes pressuriseur (F1A, ouverture passive) :
Si la pression primaire augmente jusqu'au point de tarage d'une soupape pressuriseur, celle-ci s'ouvre pour limiter la surpression du primaire, le réfrigérant primaire étant déchargé dans le réservoir de décharge du pressuriseur (RDP) et dans le bâtiment du réacteur en cas d'éclatement des disques de rupture du RDP.

1.5. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Trois tailles de brèche, représentatives du spectre de brèches \square , sont analysées : \square . Dans tous les cas étudiés, la brèche est postulée sur la boucle 3 qui porte le pressuriseur.

1.5.1. Cas étudiés de l'événement initiateur à l'état contrôlé

Trois cas sont étudiés afin de définir la taille de la brèche la plus pénalisante par rapport à la capacité d'évacuation de la puissance du secondaire. Cette taille de brèche pénalisante fait l'objet d'un quatrième cas de calcul avec cumul du MDTE au moment de l'AAR.

- **cas 1 (10 cm² court terme)**

Ce cas correspond à la taille de brèche d'interface, c'est-à-dire celle qui conduit à l'atteinte simultanée des seuils d'AAR sur « Niveau GV < MIN1 » et « Chute de pression GV > MAX1 ». Elle combine la dynamique rapide d'une RTE relativement importante avec le faible volume d'eau des GV d'une petite RTE.

- **cas 2 (10 cm² court terme)**

Ce cas correspond à une petite taille de brèche ne conduisant pas à l'isolement vapeur automatique des GV sur « Chute de pression GV > MAX1 », ou sur « Pression GV < MIN1 » avant le temps t_0 , 30 min après l'AAR sur « Niveau GV < MIN1 ».

- **cas 3 (10 cm² court terme)**

Ce cas correspond à la rupture guillotine doublement débattue d'une tuyauterie d'eau alimentaire. Il provoque la dégradation la plus rapide de l'inventaire en eau du secondaire. L'AAR se produit sur le signal « Chute de pression GV > MAX1 », qui entraîne également l'isolement des VIV.

- **cas 4 (taille de brèche pénalisante, court terme avec MDTE)**

Ce cas est analysé pour évaluer l'effet d'un manque de tension externe. Le MDTE est cumulé au moment du signal d'AAR.

1.5.2. Cas étudiés de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

L'atteinte de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée en s'appuyant uniquement sur les moyens F1A et F1B. Un des objectifs de l'étude de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire est d'assurer que l'évacuation de la puissance résiduelle côté secondaire reste disponible tant que le RIS-RA en mode RA n'est pas connecté, en s'appuyant uniquement sur les moyens F1. Il nécessite une capacité d'alimentation en eau au secondaire (bâches et pompes ASG), qui doit être cohérente avec les autres moyens nécessaires pour le transfert du réacteur de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr (borication primaire, refroidissement primaire et dépressurisation primaire).

Pendant cette phase, les actions suivantes doivent être mises en œuvre t_0 :

- isolement du GV affecté et réaligement de la pompe ASG du GV affecté à un GV non affecté non alimenté si besoin,
- borication du circuit primaire,
- refroidissement du circuit primaire par les générateurs de vapeur non affectés,
- dépressurisation du primaire.

Deux cas sont étudiés, concernant respectivement le refroidissement et la dépressurisation du circuit primaire (dans les deux cas, la borication du circuit primaire est assurée) :

- **cas 5 (10 cm² long terme)**

Ce cas est réalisé afin de démontrer la capacité des systèmes F1 (et notamment de l'ASG et des VDA) à refroidir le réacteur jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, à un niveau de puissance maximale à évacuer (y compris la puissance des pompes primaires).

La brèche d'interface est celle conduisant aux conditions à l'AAR les plus pénalisantes vis-à-vis de la consommation d'ASG. En effet, cette taille de brèche correspond à la vidange du secondaire la plus importante avant l'AAR.

Le refroidissement doit être réalisé de sorte que la connexion au RIS-RA en mode RA se fasse avant de vider les bâches de l'ASG.

- **cas 6 (10 cm² long terme avec MDTE)**

Ce cas est mis en œuvre afin de démontrer la capacité des systèmes F1 à dépressuriser le primaire jusqu'aux conditions de connexion au RIS-RA en mode RA, dans les conditions de dépressurisation les plus difficiles.

En ce qui concerne la dépressurisation du circuit primaire, la circulation naturelle du primaire qui résulte de l'hypothèse de MDTE est pénalisante en raison de l'existence de boucles chaudes non refroidies (par exemple, boucle connectée au GV affecté).

1.6. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

1.6.1. Hypothèses d'étude

1.6.1.1. État initial

Les conditions d'état initial sont choisies afin de maximiser la puissance à évacuer et l'échauffement du circuit primaire. □ :

□

Ces conditions initiales sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.4c.1](#).

1.6.1.2. Choix de la défaillance unique et de la maintenance préventive

Conformément aux règles générales de sûreté définies en section 15.0.2, la défaillance unique et la maintenance préventive sont appliquées aux systèmes F1 de manière pénalisante vis-à-vis des critères à satisfaire.

En ce qui concerne l'échauffement du circuit primaire, les hypothèses les plus pénalisantes consistent en une capacité d'évacuation de puissance côté secondaire minimisée. En conséquence, la maintenance préventive est appliquée sur un train ASG (ou un diesel en cas de cumul MDTE) associé à un générateur de vapeur non affecté.

En ce qui concerne la défaillance unique, elle est appliquée sur une pompe ASG (ou un diesel en cas de cumul MDTE) associée à un générateur de vapeur non affecté.

1.6.1.3. Hypothèses cœur

La puissance cœur est supposée constante (102% PN) jusqu'au début de la chute des grappes. □ La courbe A+B+C ainsi obtenue est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4c.8](#).

1.6.1.4. Hypothèses systèmes fluides

hypothèses relatives aux systèmes de régulation :

turbine

La régulation du débit vapeur par les vannes d'admission turbine est prise en compte, avec un délai de déclenchement turbine maximisé □ après le signal d'AAR. Les vannes d'admission s'ouvrent donc en parallèle de la dépressurisation du système secondaire pour maintenir le débit constant. Cela pénalise la vidange des GV. Par découplage, ce délai est conservé en cas de cumul MDTE.

GCT

Le contrôle de pression du GCT n'est pas pris en compte parce qu'il n'est pas activé avant l'Arrêt Automatique du Réacteur, et en raison de l'isolement du GCT après la fermeture de la VIV lors de l'Arrêt Automatique du Réacteur.

ARE/AAD

Tous les débits ARE/AAD sont supposés perdus à la brèche via le barillet d'eau alimentaire principale de sorte que ni le GV affecté ni les GV non affectés ne sont alimentés par l'ARE/AAD après la rupture de tuyauterie d'eau alimentaire. En conséquence, le contrôle du niveau GV est perdu dès que la brèche se produit.

chaufferettes/aspersion

La régulation de pression primaire par l'aspersion n'est pas prise en compte (l'aspersion normale, bien que classée F1B, n'est pas qualifiée à l'ambiance dégradée, ni au séisme). En revanche, les chaufferettes sont supposées fonctionner normalement pour maximiser l'énergie primaire.

RCV

La régulation de niveau pressuriseur n'est pas prise en compte pour maximiser le remplissage du pressuriseur. L'aspersion auxiliaire n'est pas prise en compte.

régulation de température

La régulation de température par les grappes n'est pas prise en compte pour pénaliser l'échauffement du circuit primaire avant l'AAR.

hypothèses relatives aux systèmes de sauvegarde :**VIV**

Le temps de fermeture des vannes d'isolement vapeur est maximisé [].

VDA

Le débit VDA est minimum [] et le point de consigne maximum []. On tient compte d'un délai maximisé [] entre l'émission du signal provoquant l'ouverture d'un VDA et son ouverture.

soupape de sûreté GV

La valeur du point de consigne des soupapes du générateur de vapeur est augmentée [].

soupape pressuriseur

A la suite de l'échauffement du circuit primaire, la pression du primaire augmente jusqu'à la pression d'ouverture des soupapes pressuriseur. Les points de consigne de pression minimale sont pris en compte pour l'ouverture des soupapes pressuriseur afin de maximiser la décharge du réfrigérant par la soupape pressuriseur []. La pression de refermeture est minimisée []. Un débit maximal est considéré []. Un délai d'ouverture nul et un délai de fermeture maximal [] sont pris en compte.

ASG

Le débit ASG est la valeur minimale de [] t/h par pompe, maintenu constant dans la plage de pression de 1 à [] bar, et ramené à [] t/h quand la pression du générateur de vapeur est égale à [] bar. La température d'injection est maximisée []. Un délai maximisé [] est pris en compte entre l'émission du signal provoquant le démarrage de l'ASG et l'injection à plein débit. En cas de MDTE, ce délai est allongé [].

RIS

Si l'injection de sécurité est sollicitée, les débits injectés par les pompes ISMP et ISBP sont supposés minimaux, à la température maximale [], pour minimiser le refroidissement du primaire. Un délai maximisé [] est pris en compte entre l'émission du signal IS et l'injection à plein débit. En cas de MDTE, ce délai est allongé [].

1.6.1.5. Hypothèses protection et actions manuelles F1A

Arrêt Automatique Réacteur

Pour les petites brèches il intervient sur « Niveau GV < MIN1 ». Seuls les signaux de niveau GV en provenance des générateurs de vapeur non affectés sont pris en compte. En effet, le fouettement des tuyauteries est supposé endommager l'instrumentation du GV affecté. Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [].

Pour les grosses brèches il intervient sur « Chute de pression GV > MAX1 ». Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [].

Le signal d'AAR sur pression enceinte élevée n'est pas pris en compte, de façon à ce que l'étude couvre les brèches hors enceinte.

Par hypothèse de découplage le signal d'AAR sur haute pression pressuriseur n'est pas considéré³.

ouverture des VDA

Après le déclenchement turbine et la fermeture des VIV, les pressions des générateurs de vapeur non affectés augmentent jusqu'au seuil de « Pression GV > MAX1 » qui conduit à l'ouverture des VDA. Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil maximisé [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [].

démarrage de l'ASG

L'ASG est mis en service sur « niveau GV GL < MIN2 ». Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [].

fermeture des VIV

Pour les petites brèches, les vannes d'isolement vapeur de tous les générateurs de vapeur sont automatiquement fermées sur signal « pression GV < MIN1 ». Les caractéristiques de ce signal sont :

- seuil minimisé [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [].

Pour les grosses brèches, les vannes d'isolement vapeur de tous les générateurs de vapeur sont automatiquement fermées sur signal « Chute de pression du GV > MAX1 » (caractéristiques fournies plus haut).

3. Cette hypothèse constitue un sur-conservatisme. Il permet de s'affranchir de l'effet antagoniste d'un AAR sur haute pression pressuriseur d'autant plus précoce (et donc favorable pour l'inventaire en eau du secondaire) que l'échauffement primaire est pénalisé. Il est justifié a posteriori par son absence d'impact significatif sur les cas limitatifs à court et long terme.

Dans les deux cas, le temps total de fermeture des VIV est donc de \square s.

arrêt automatique des pompes primaires

L'arrêt automatique des pompes primaires intervient sur « Niveau GV GL < MIN3 » dans au moins 3 GV. Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé \square ,
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé \square ,
- temps d'ouverture des disjoncteurs de pompes maximisé \square .

signal IS

L'injection de sécurité peut être mise en service sur signal de « Pression pressuriseur < MIN3 » si P12 est désactivé. Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé \square ,
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé \square .

Ce signal n'intervient pas au cours de l'accident.

isolement du train ASG associé au GV affecté \square

\square l'isolement du train ASG associé au générateur de vapeur affecté est réalisé par la fermeture \square des vannes d'isolement et de régulation.

Ouverture du barillet de l'ASG au refoulement de pompe \square

Au moment de l'action de l'opérateur : $t_{AAR} + 1$ heure (action locale), si un seul GV sain est alimenté par l'ASG, le réalignement de la pompe ASG du générateur de vapeur affecté vers un générateur de vapeur non affecté et non alimenté se fait par l'ouverture manuelle du barillet d'ASG.

1.6.2. Résultats

1.6.2.1. Cas 1 : \square court terme

La séquence des évènements pour le cas 1 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.2](#). L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.1](#) à [FIG-15.2.4c.10](#).

Les signaux de bas niveau GV dans un GV non affecté et de chute de pression GV élevée sont atteints simultanément (à 61,2 secondes), provoquant le signal d'arrêt automatique du réacteur (à 62,7 secondes). La puissance cœur, \square , chute rapidement. Une soupape pressuriseur s'ouvre une première fois à 65 secondes, en conséquence de l'échauffement avant l'AAR. Le déclenchement turbine intervient \square secondes après le signal d'AAR. La fermeture des VIV intervient \square secondes après le signal de chute de pression GV élevée.

Une fois les VIV fermées, seul le GV affecté continue à se dépressuriser. La pression des autres GV remonte rapidement jusqu'à ouverture des VDA. Les niveaux GV continuent de chuter, ce qui provoque l'atteinte du seuil de très bas niveau GV dans les GV sains à 172 secondes. En raison de la défaillance et de la maintenance préventive, postulée sur les ASG des GV 1 et 2, seul le GV 4 est alimenté \square secondes plus tard. Les 2 GV sains non alimentés se vident rapidement, ainsi que le GV alimenté (plus lentement), un seul train ASG n'étant pas suffisant pour évacuer la puissance primaire. La dégradation de l'évacuation de puissance au secondaire conduit à un échauffement primaire, ce qui provoque des ouvertures successives d'une soupape de sûreté du pressuriseur.

La vidange du secondaire conduit à l'arrêt automatique des pompes primaires lorsque les niveaux GV mesurés passent sous le seuil d'indisponibilité des GV, à 2122 secondes. Après l'arrêt des GMPP, la

puissance primaire à évacuer se réduit ; néanmoins la puissance résiduelle est encore supérieure à la capacité d'évacuation de puissance du secondaire.

Au bout d'une heure environ, l'alimentation d'un seul GV par un train ASG devient suffisante pour évacuer la puissance résiduelle, les pressions et températures primaires sont stables et/ou en phase de diminution. L'état contrôlé est alors atteint, sans atteinte des critères de passage en gavé-ouvert. Le calcul est néanmoins poursuivi.

Une heure après l'AAR, l'ASG du GV affecté est réaligné vers le GV 1, par l'ouverture en local du barillet passif en aval des pompes ASG. Dans un premier temps la pression du GV 1 chute car la vapeur est condensée par l'injection ASG. Puis, peu après 4500 secondes la circulation naturelle reprend significativement dans la boucle 1 et la production de vapeur est suffisante pour remonter en pression jusqu'au point de consigne du VDA.

La chute des grappes et l'absence de découverture du cœur permettent d'assurer des dommages limités sur les assemblages combustibles.

L'état contrôlé est atteint :

- La chute des grappes assure la sous-criticité du cœur il n'y a pas de risque de retour en criticité : $keff < 1,0$.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée au bout d'une heure environ par l'ASG.
- L'inventaire en eau primaire est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables (absence de découverture du cœur).

1.6.2.2. Cas 2 : court terme

La séquence des évènements pour le cas 2 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.3](#). L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.11](#) à [FIG-15.2.4c.20](#).

Pour cette taille de brèche inférieure à la brèche d'interface, le niveau dans le GV affecté décroît plus lentement que dans le cas 1 ; par contre dans les GV non affectés la baisse de niveau se fait à vitesse similaire en début d'accident. Ceci conduit à un arrêt automatique sur bas niveau GV à un instant comparable (60,9 secondes).


Bien que l'AAR ait lieu pratiquement au même instant pour les cas 1 et 2, la perte d'inventaire en eau du GV affecté avant AAR est moindre pour la plus petite brèche, ce qui permet d'évacuer plus d'énergie primaire après AAR.

Les GMPP s'arrêtent automatiquement à 1452 s lorsque les niveaux gamme large dans au moins 3 GV non affecté sont inférieurs à MIN3.

D'autre part les VIV restent ouvertes plus longtemps, ce qui maintient un débit vapeur des GV sains à la brèche. Le seuil d'indisponibilité des GV est atteint plus rapidement, conduisant à un arrêt plus précoce des GMPP. Les VIV sont fermées suite au franchissement du seuil « pression GV < MIN1 ». Les VIV sont isolées 2697 secondes après l'initiateur.

L'échauffement primaire est moins important que pour le cas 1. Les soupapes pressuriseur sont moins sollicitées et aucune décharge liquide ne se produit.

Comme pour le cas 1, dans la mesure où les GMPP sont arrêtés, l'état contrôlé pourrait être atteint lorsque la puissance résiduelle devient inférieure à la capacité d'évacuation d'un train ASG. Néanmoins, ceci n'apparaît pas dans l'accident : après l'isolement vapeur, l'échange primaire-secondaire est momentanément dégradé, le temps que la température en branche froide correspondant au GV sain alimenté remonte jusqu'à sa valeur stabilisée (correspondant au point de consigne VDA).

Auparavant, une heure après l'AAR, le GV 1 est réalimenté par l'ASG du GV affecté, suite à l'ouverture  du barillet passif en aval des pompes ASG, après quoi l'état contrôlé est atteint, sans atteinte des critères de passage en gavé-ouvert.


Pour cet accident, la perte de masse primaire est moindre que pour le cas 1. L'analyse du cas 2 est donc couverte par l'analyse du cas 1. Ainsi, puisque les critères relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles et l'atteinte de l'état contrôlé sont satisfaits pour le cas 1, ils le sont également pour le cas 2.

1.6.2.3. Cas 3 : court terme

La séquence des évènements pour le cas 3 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.4](#). L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.21](#) à [FIG-15.2.4c.30](#).

Pour cette grosse taille de brèche, la pression secondaire décroît plus rapidement que pour le cas 1. L'AAR intervient sur un signal de chute de pression GV élevée à 12,8 secondes. Ce signal conduit également à l'isolement automatique des VIV.

Pour cette taille de brèche supérieure à la brèche d'interface, l'inventaire en eau du secondaire est moins dégradé, en raison de l'AAR et de l'isolement vapeur plus précoces. L'échauffement primaire et donc la décharge à la soupape pressuriseur, sont moins importants.

L'état contrôlé est atteint une heure après l'AAR, sans atteinte des critères de passage en gavé-ouvert, lorsque le GV 1 est réalimenté par l'ASG du GV affecté, suite à l'ouverture  du barillet passif en aval des pompes ASG.

Pour cet accident, la perte de masse primaire est moindre que pour le cas 1. L'analyse de l'atteinte de l'état contrôlé pour le cas 3 est donc couverte par l'analyse du cas 1.

Les GMPP ne sont pas arrêtés automatiquement au cours de cet accident du fait du relignage ASG. En l'absence de relignage ASG, les GMPP seraient arrêtés une fois les niveaux gamme large dans au moins 3 GV non affecté devenus inférieurs à MIN3. Dans ce cas de figure, l'état contrôlé est atteint, sans atteinte des critères de passage en gavé-ouvert, dès que la puissance résiduelle devient inférieure à la capacité d'évacuation d'un train ASG (au bout d'une heure environ).

Puisque les critères relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles et à l'atteinte de l'état contrôlé sont satisfaits pour le cas 1, ils le sont également pour le cas 3.

1.6.2.4. Cas 4 : court terme avec MDTE


La séquence des évènements pour le cas 4 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.5](#). L'évolution des principaux paramètres de cet accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.31](#) à [FIG-15.2.4c.40](#).

La brèche d'interface, identifiée comme étant la plus pénalisante, est étudiée avec cumul du MDTE au moment de l'AAR.

Après l'AAR (sur bas niveau GV et chute de pression GV élevée), l'échauffement en branche chaude est plus marqué que pour le cas sans MDTE, en raison de la perte des GMPP.

Côté secondaire, la vidange des GV est plus lente et le GV alimenté ne se vide pas complètement.

Comme pour le cas 1, dans la mesure où les GMPP sont arrêtés, l'état contrôlé peut être atteint, sans atteinte des critères de passage en gavé-ouvert, lorsque la puissance résiduelle devient inférieure à la capacité d'évacuation d'un train ASG.

Une heure après l'AAR, le GV 1 est réalimenté par l'ASG du GV affecté, suite à l'ouverture  du barillet passif en aval des pompes ASG.

Pour cet accident, la perte de masse primaire est moindre que pour le cas 1. L'analyse de l'atteinte de l'état contrôlé pour le cas 4 est donc couverte par l'analyse du cas 1. Ainsi, puisque les critères relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles et à l'atteinte de l'état contrôlé sont satisfaits pour le cas 1, ils le sont également pour le cas 4.

1.6.2.5. Analyse de la prolongation de cycle

En prolongation de cycle, le niveau de puissance, la température et la pression primaire sont abaissés. Ces conditions sont favorables vis-à-vis de l'échauffement primaire par rapport au fonctionnement en cycle naturel, par conséquent les accidents présentés ci-dessus enveloppent le fonctionnement en prolongation de cycle.

1.7. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

1.7.1. Hypothèses d'étude

1.7.1.1. État initial

Les conditions d'état initial sont choisies afin de maximiser la puissance à évacuer au secondaire et à limiter la capacité du secondaire à évacuer cette énergie.

□

Ces conditions initiales sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.4c.1](#).

1.7.1.2. Choix de la défaillance unique et de la maintenance préventive

La défaillance unique et la maintenance préventive sont choisies pour pénaliser la capacité des systèmes F1 à refroidir le primaire, ainsi qu'à le dépressuriser en cas de MDTE, jusqu'aux conditions de connexion au RIS-RA en mode RA.

La maintenance préventive n'a pas d'impact sur la disponibilité du VDA car la maintenance préventive n'est pas mise en œuvre sur la partie mécanique des VDA et parce que la maintenance préventive sur la partie électrique des VDA (par exemple sur le générateur diesel de secours en cas de MDTE) n'empêche pas la disponibilité des VDA :

□

En conséquence, la maintenance préventive la plus pénalisante est celle d'un train d'ASG associé à un générateur de vapeur non affecté. En cas de MDTE, la maintenance préventive la plus pénalisante est celle d'un diesel associé à un générateur de vapeur non affecté, ce qui cause, notamment, la perte du train ASG donc l'existence d'une boucle primaire non refroidie (en plus de celle du GV affecté).

La défaillance unique la plus pénalisante par rapport au refroidissement du primaire est la défaillance d'une file RBS. Cette défaillance limite la vitesse de refroidissement à -25° C/h tant que la concentration en bore requise par les procédures de conduite n'est pas atteinte. En cas de MDTE, la défaillance unique la plus pénalisante par rapport à la dépressurisation du primaire est la défaillance d'un diesel. Cette défaillance conduit, notamment, à la perte d'un train ASG ainsi qu'à la perte d'une file RBS (en cas de maintenance préventive sur le diesel de la division voisine).

1.7.1.3. Hypothèses cœur

La puissance cœur est supposée constante (102% PN) jusqu'au début de la chute des grappes. □. La courbe A+B+C ainsi obtenue est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4c.8](#).

1.7.1.4. Hypothèses systèmes fluides

hypothèses relatives aux systèmes de régulation

turbine

La régulation du débit vapeur par les vannes d'admission turbine est prise en compte, avec un délai de déclenchement turbine maximisé [] après le signal d'AAR. Les vannes d'admission s'ouvrent donc en parallèle de la dépressurisation du système secondaire pour maintenir le débit constant. Cela pénalise la vidange des GV. Par découplage, ce délai est conservé en cas de cumul MDTE.

GCT

Le contrôle de pression du GCT n'est pas pris en compte parce qu'il n'est pas activé avant l'Arrêt Automatique du Réacteur, et en raison de l'isolement du GCT après la fermeture de la VIV lors de l'Arrêt Automatique du Réacteur.

ARE/AAD

Tous les débits ARE/AAD sont supposés perdus à la brèche via le barillet d'eau alimentaire principale de sorte que ni le GV affecté ni les GV non affectés ne sont alimentés par l'ARE/AAD après la rupture de tuyauterie d'eau alimentaire. En conséquence, le contrôle du niveau GV est perdu dès que la brèche se produit.

chaufferettes/aspersion

Les chaufferettes sont supposées fonctionner à pleine puissance lors de la dépressurisation contrôlée dans la zone de marge à la saturation définie par les procédures de conduite. Pour le cas avec MDTE, on suppose de manière découplée que les chaufferettes non secourues fonctionnent, pour pénaliser la pression primaire.

RCV

La régulation de niveau pressuriseur n'est pas prise en compte pour maximiser le remplissage du pressuriseur. L'aspersion auxiliaire n'est pas prise en compte.

régulation de température

La régulation de température par les grappes n'est pas prise en compte pour pénaliser l'échauffement du circuit primaire avant l'AAR.

hypothèses relatives aux systèmes de sauvegarde**VIV**

Le temps de fermeture des vannes d'isolement vapeur est maximisé [].

VDA

Le débit VDA est minimum [] et le point de consigne maximum []. On tient compte d'un délai maximisé [] entre l'émission du signal provoquant l'ouverture d'un VDA et son ouverture.

soupape de sûreté GV

La valeur du point de consigne des soupapes du générateur de vapeur est augmentée [].

soupape pressuriseur

Les points de consigne de pression maximale sont pris en compte pour l'ouverture de la soupape pressuriseur afin de minimiser la décharge du réfrigérant par la soupape pressuriseur []. La pression de refermeture est maximisée []. Un débit minimal est considéré []. Un délai d'ouverture maximal [] et un délai de fermeture nul sont pris en compte.

ASG

Le débit ASG est la valeur minimale de [] t/h par pompe, maintenu constant dans la plage de pression de 1 à [] bar, et ramené à [] t/h quand la pression du générateur de vapeur est égale à [] bar. La température d'injection est maximisée []. Un délai maximisé [] est pris en compte entre l'émission du signal provoquant le démarrage de l'ASG et l'injection à plein débit. En cas de MDTE, ce délai est allongé [].

IS

Si l'injection de sécurité est sollicitée, les débits injectés par les pompes ISMP et ISBP sont supposés minimaux, à leurs températures maximales [], pour minimiser le refroidissement du primaire. Un délai maximisé [] est pris en compte entre l'émission du signal IS et l'injection à plein débit. En cas de MDTE, ce délai est allongé [].

RBS

L'un des deux trains RBS est activé manuellement au début de la phase de refroidissement du primaire et arrêté lorsque la concentration en bore requise en arrêt à froid est atteinte.

Les caractéristiques retenues pour le RBS sont un débit minimal de [] à la température maximale []. L'injection de bore par le RBS correspond à une concentration minimale de []. La masse maximale d'eau injectée par le RBS dans le circuit primaire est égale à [] kg pour un train RBS en service (elle correspond à la quantité que l'on demande à l'opérateur d'injecter, avec prise en compte d'une erreur de [] kg liée à l'incertitude de la mesure de niveau d'une bêche RBS). Cette quantité garantit l'atteinte de la CB requise en arrêt à froid, pour tous les cycles et épuisements. Le cas le plus pénalisant [] est déterminé vis-à-vis de l'écart de concentration en bore entre l'état initial et la CB requise en arrêt à froid [].

ASG (régulation automatique de niveau)

Le niveau des GV alimentés par l'ASG est régulé automatiquement à []% GL [].

1.7.1.5. Hypothèses protection et actions manuelles F1A**Arrêt Automatique Réacteur**

Pour les petites brèches il intervient sur « Niveau GV < MIN1 ». Seuls les signaux de niveau GV en provenance des générateurs de vapeur non affectés sont pris en compte. En effet, le fouettement des tuyauteries est supposé endommager l'instrumentation du GV affecté. Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [].

Pour les grosses brèches il intervient sur « Chute de pression GV > MAX1 ». Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [].

Le signal d'AAR sur pression enceinte élevée n'est pas pris en compte, de façon à ce que l'étude couvre les brèches hors enceinte.

Par hypothèse de découplage le signal d'AAR sur haute pression pressuriseur n'est pas considéré.

ouverture des VDA

Après le déclenchement turbine et la fermeture des VIV, les pressions des générateurs de vapeur non affectés augmentent jusqu'au seuil de « Pression GV > MAX1 » qui conduit à l'ouverture des VDA. Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil maximisé [\[1\]](#),
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [\[1\]](#).

démarrage de l'ASG

L'ASG est mis en service sur « niveau GV GL < MIN2 ». Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé [\[1\]](#),
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [\[1\]](#).

fermeture des VIV

Pour les petites brèches, les vannes d'isolement vapeur de tous les générateurs de vapeur sont automatiquement fermées sur signal « pression GV < MIN1 ». Les caractéristiques de ce signal sont :

- seuil minimisé [\[1\]](#),
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [\[1\]](#).

Pour les grosses brèches, les vannes d'isolement vapeur de tous les générateurs de vapeur sont automatiquement fermées sur signal « Chute de pression du GV > MAX1 » (caractéristiques fournies plus haut).

signal IS

L'injection de sécurité peut être mise en service sur signal de « $\Delta P_{sat} < MIN1$ » si P12 est activé. Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes :

- seuil minimisé [\[1\]](#),
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal maximisé [\[1\]](#).

isolement du train ASG associé au GV affecté [\[1\]](#)

[\[1\]](#), l'isolement du train ASG associé au générateur de vapeur affecté est réalisé par la fermeture [\[1\]](#) des vannes d'isolement et de régulation.

ouverture du barillet de l'ASG au refoulement de pompe (action manuelle F1A)

[\[1\]](#) si un seul GV sain est alimenté par l'ASG, le réalignement de la pompe ASG du générateur de vapeur affecté vers un générateur de vapeur non affecté et non alimenté se fait par l'ouverture [\[1\]](#) du barillet d'ASG.

1.7.1.6. [\[1\]](#)

[\[1\]](#)

1.7.2. Résultats

1.7.2.1. Cas 5 : [\[1\]](#) long terme

La séquence des événements pour le cas 5 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.6](#). L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.41](#) à [FIG-15.2.4c.51](#).

La phase automatique de l'accident est similaire au cas 1 jusqu'au début de l'injection ASG (seuls les temps diffèrent très légèrement en raison des conditions initiales différentes).

L'injection ASG dans les GV 4 et 1 se fait à plein débit respectivement à partir de [] et [] secondes (l'ASG 2 est en maintenance préventive). A partir de cet instant l'état contrôlé est atteint.

L'opérateur intervient une demi-heure après l'AAR. Comme indiqué au § 1.7.1.6., on tient compte dans l'étude d'une attente en arrêt à chaud de deux heures.

Une heure après l'AAR, [] à l'isolement du train ASG associé au GV affecté.

Deux heures après l'AAR le refroidissement débute. En raison de la défaillance d'une pompe RBS, le gradient est limité à -25°C/h . En parallèle une dépressurisation contrôlée du primaire est effectuée avec une soupape pressuriseur.

Environ 9150 secondes après le début de l'injection RBS, la concentration en bore du circuit primaire est supérieure à celle requise en arrêt à froid. Le RBS est arrêté et le gradient de refroidissement passe à -50°C/h .

En l'absence d'appoint primaire, le refroidissement conduit à la vidange du pressuriseur. La pression primaire ne peut être maintenue. L'injection de sécurité est sollicitée [] secondes, sur signal de bas ΔP_{sat} . L'ISMP provoque la remontée de la pression primaire.

L'opérateur arrête ensuite progressivement trois pompes ISMP [].

Lorsque la température en sortie cœur et dans 2 branches chaudes passe en-dessous de []° C (22396 secondes), l'opérateur arrête les pompes primaires et le dernier train ISMP en service.

Il dépressurise ensuite le primaire par ouverture d'une soupape pressuriseur, jusqu'à [] bar (en-dessous de la pression de connexion au RIS-RA en mode RA). Sur l'ensemble de l'accident [] t de fluide primaire (vapeur uniquement) sont rejetées par la soupape pressuriseur.

L'arrêt de la circulation forcée a conduit à une augmentation de la température sortie cœur.

Le refroidissement est poursuivi jusqu'à 30000 secondes. Les conditions permettant la connexion du RIS-RA en mode RA sont satisfaites. La capacité des bâches ASG est suffisante. Sur la totalité de l'accident, la consommation est de [] t.

A ce résultat, on ajoute :

- la quantité d'ASG envoyée vers le générateur de vapeur affecté, qui est supposée totalement perdue à la brèche, soit au plus [] t (débit maximum perdu pendant une heure),
- la quantité d'eau évacuée par l'APG entre l'arrêt de l'ARE (instant initial) et le démarrage de l'ASG []. Le débit APG étant égal à [] % du débit vapeur dans chaque GV, la quantité d'eau évacuée est inférieure à [] t.

On obtient une consommation totale d'ASG de [] t, ce qui est inférieur à la capacité minimale des bâches ASG []. De plus, en fin d'accident le niveau d'eau dans les 2 GV sains alimentés est régulé autour de []% GL, ce qui représente une masse d'eau d'environ [] t par GV. Si la maintenance préventive n'était pas prise en compte sur l'ASG d'un GV sain, cela reviendrait à remplir un GV supplémentaire et à transférer au maximum [] t de plus des bâches ASG vers les GV, ce qui conduirait à une consommation enveloppe de [] t.

L'état d'arrêt sûr est atteint :

- L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
- La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à la connexion des trains RIS-RA en mode RA qui permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle.

- Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.7.2.2. Cas 6 : \square long terme avec MDTE

La séquence des évènements pour le cas 6 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.7](#). L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.52](#) à [FIG-15.2.4c.62](#).

Le début de l'accident est similaire au cas 4 (seuls les temps diffèrent très légèrement en raison des conditions initiales différentes).

Le déroulement du refroidissement est analogue à celui du cas 5 sans MDTE. L'injection de sécurité est sollicitée un peu plus tardivement sur signal de bas ΔP_{sat} . Cette fois, ce signal intervient non pas en raison d'une chute de pression incontrôlée, mais à cause de l'atteinte de la saturation dans les deux branches chaudes non refroidies. L'ISMP démarre \square secondes, provoquant la remontée de la pression primaire.

L'opérateur arrête ensuite la pompe ISMP 3 \square .

Lorsque la température en sortie cœur et dans 2 branches chaudes passe en-dessous de \square (23380 secondes), l'opérateur arrête le dernier train ISMP en service.

Il dépressurise ensuite le primaire par ouverture d'une soupape pressuriseur, jusqu'à \square bar (en-dessous de la pression de connexion au RIS-RA en mode RA). Sur l'ensemble de l'accident \square t de fluide primaire (dont \square t de liquide) sont rejetées par la soupape pressuriseur.

Le refroidissement est poursuivi jusqu'à 30000 secondes. Les conditions permettant la connexion du RIS-RA en mode RA sont satisfaites. La capacité des bâches ASG est suffisante. Dans l'accident, la consommation d'ASG est de \square t. A ce résultat, on ajoute :

- la quantité d'ASG envoyée vers le générateur de vapeur affecté, qui est la quantité d'ASG envoyée vers le générateur de vapeur affecté, qui est supposée totalement perdue à la brèche, soit au plus \square t (débit maximum perdu pendant une heure),
- la quantité d'eau évacuée par l'APG entre l'arrêt de l'ARE (instant initial) et le démarrage de l'ASG \square . Le débit APG étant égal à \square % du débit vapeur dans chaque GV, la quantité d'eau évacuée est inférieure à \square t.

On obtient une consommation totale d'ASG de \square t. Dans la mesure où les pompes primaires ne sont pas en service, la consommation d'ASG est moindre que dans le cas sans MDTE.

L'état d'arrêt sûr est atteint :

- L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
- La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à la connexion des trains RIS-RA en mode RA qui permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.7.2.3. Analyse de la prolongation de cycle

En prolongation de cycle, le niveau de puissance, la température et la pression primaire sont abaissés. Ces conditions sont favorables vis-à-vis de l'échauffement primaire par rapport au fonctionnement en cycle naturel, par conséquent les accidents présentés ci-dessus enveloppent le fonctionnement en prolongation de cycle.

2. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTAT B)

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B).

2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE

2.1.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

Au niveau des conditions initiales, les principales différences entre une RTE en état A et une RTE en état B sont :

- le niveau de puissance qui est inférieur en état B,
- l'inventaire en eau des GV qui est supérieur en état B.

Ces différences sont très favorables pour la RTE en état B.

Une autre différence en état B, au niveau des signaux et des actions de protection, est la désactivation des signaux d'isolement des VIV et de l'ARE sur Pression GV < MIN1 et MIN2 respectivement, après validation du permissif P12.

Par conséquent, en état B, l'isolement des VIV n'intervient que sur signal de Chute de pression GV > MAX1. Ainsi, par rapport à l'état A, les actions automatiques intervenant suite à une RTE en état B seront identiques pour des tailles de brèches suffisamment importantes pour solliciter le signal de chute de pression GV élevée. En revanche, pour des tailles de brèches plus petites, les VIV resteront ouvertes sur une durée plus longue qu'en état A.

2.1.2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont identiques à ceux présentés au [§ 1.2.2.](#)

2.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Le spectre de brèches peut être divisé en deux catégories :

- les grosses brèches qui sollicitent le signal de chute de pression GV élevée,
- les petites brèches qui ne sollicitent pas le signal de chute de pression GV élevée.

Les conséquences d'une grosse brèche en état B sont couvertes par l'analyse en état A, dans la mesure où les actions automatiques sont les mêmes qu'en état A et que les conditions initiales sont plus favorables. L'analyse présentée dans la suite ne concerne donc que les petites brèches. Un bilan d'énergie permet de conclure que les conséquences d'une petite brèche en état B sont également couvertes par l'analyse en état A.

Suite à la RTE, le premier signal F1A transmis en salle de commande est un signal de bas niveau GV dans un GV sain.

La dépressurisation du circuit secondaire ne conduit pas à l'atteinte du signal de chute de pression GV. Par conséquent aucun isolement automatique des VIV ne se produit et la perte de l'inventaire en eau du secondaire à la brèche se poursuit, ce qui conduit à l'atteinte du seuil de très bas niveau GV dans les GV sains. A cet instant, aucun échauffement primaire ne s'est encore produit car l'évacuation de la totalité de la puissance primaire est possible (il reste encore suffisamment d'eau dans les GV sains). On tient compte de la défaillance d'un ASG d'un GV sain et de la maintenance préventive d'un ASG d'un autre GV sain. Par conséquent seul un GV sain est alimenté par l'ASG [].

La puissance primaire à évacuer correspond à la puissance résiduelle et à la puissance des pompes primaires. □.

En conséquence, □% de la puissance générée au primaire peuvent être évacués par un seul train ASG. Le reste de la puissance conduit à un échauffement du fluide primaire :

□

En partant d'une température initiale de □°C □, l'augmentation de la température moyenne du fluide primaire conduit à atteindre une valeur d'environ □°C au bout d'1 h, ce qui est inférieur à l'échauffement observé pour le cas limitatif en état A (pour le cas 1, au bout de 1000 s, les températures primaires sont déjà au-dessus de cette valeur). De plus, cette estimation ne tient pas compte de l'arrêt automatique des GMPP consécutif à la vidange des GV (d'autant plus précoce que les VIV restent ouvertes), qui permet d'arrêter l'échauffement (puissance résiduelle inférieure à la capacité d'évacuation de puissance d'un train ASG).

Une heure après le signal de bas niveau GV, □ le barillet passif en aval des pompes ASG pour alimenter un GV sain supplémentaire avec l'ASG du GV affecté, ce qui assure dans tous les cas l'évacuation de la totalité de la puissance primaire.

L'analyse de l'atteinte de l'état contrôlé pour une RTE en état B est donc couverte par l'analyse en état A. Les critères de sûreté étant respectés pour les accidents de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire en état A, ils le sont également pour les accidents de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire en état B.

2.3. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Les actions □ à entreprendre pour atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont identiques à celles décrites pour l'état A (cf. [§ 1.7.1.6.](#)).

Dans la mesure où les actions manuelles sont les mêmes qu'en état A et que les conditions initiales sont plus favorables, l'analyse de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr pour une RTE en état B est couverte par l'analyse en état A. Ainsi puisque l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est démontrée pour une RTE en état A, elle le sera également pour une RTE en état B.

3. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

L'étude de l'accident de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire réalisée sur la base d'un jeu de données intermédiaires montre qu'en dépit de la défaillance unique la plus pénalisante et de la maintenance préventive :

- L'inventaire en eau du circuit primaire est toujours suffisant pour satisfaire le refroidissement et le non découverture du cœur permettant ainsi d'assurer des dommages limités sur les assemblages combustibles.
- L'état contrôlé est atteint en utilisant uniquement des moyens F1A :
 - La chute des grappes assure la sous-criticité du cœur, il n'y a pas de risque de retour en criticité ($k_{eff} < 1,0$).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée au bout d'une heure environ par l'ASG.
 - L'inventaire en eau primaire est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables : il n'y a pas découverture du cœur.
- L'état d'arrêt sûr est atteint en s'appuyant sur les actions classées F1A et F1B :
 - L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.

- La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à la connexion des trains RIS-RA en mode RA qui permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle.
La consommation maximale de la bâche ASG est de \square t, soit une marge de \square t par rapport à la capacité minimale des bâches ASG (cette valeur comprend la masse d'eau supplémentaire qui serait consommée si la maintenance préventive n'était pas prise en compte sur l'ASG d'un GV sain).
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation, relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé puis de l'état d'arrêt sûr, présentés au [§ 1.2.2.](#) est donc respecté.

4. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

4.1. LISTE DES MODIFICATIONS

Les modifications impactant l'étude de RTE et introduites entre le jeu d'hypothèses intermédiaire (Annexe 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15.1) sont les suivantes :

- prise en compte de la fuite aux joints des GMPP: En effet, la continuité de fonctionnement du RCV (non classé F1) n'étant pas assurée, l'injection aux joints doit être considérée comme inopérante et une fuite aux joints des GMPP doit être considérée. Pour chacune des boucles, la fuite aux joints a été mise en place dans la partie verticale de la branche en U, juste avant la pompe primaire. \square La fuite aux joints est considérée dès le début de l'accident étudié.
- modification du terme A en 3D évalué avec le couplage du code MANTA au code SMART (cf. tableau [TAB-15.2.4c.12](#)),
- modification du seuil de consigne de régulation du niveau GV par l'ASG \square ,
- modification des débits RIS,
- modification de l'hystérésis des soupapes du pressuriseur i. e. modification de la pression de refermeture des soupapes du pressuriseur \square ,
- changement de classement du relignage ASG (F1B): Le relignage ASG n'est donc plus crédité pour les cas d'étude de l'atteinte de l'état contrôlé.
- prise en compte de la motorisation des vannes du barillet au refoulement des pompes ASG. Suite à cette modification, le relignage ASG peut être effectué 30 min après AAR. Ainsi, le temps d'attente en arrêt à chaud de deux heures en cas de passage en phase d'attente de la procédure Gavé-Ouvert introduit au [§ 1.7.1.6.](#) reste enveloppe.
- augmentation du temps d'ouverture des disjoncteurs de pompes primaires \square ,
- augmentation du délai de déclenchement des chaufferettes,
- prise en compte de l'évolution de la répartition des débits RBS : un volume de \square de RBS, permettant d'assurer l'atteinte de la concentration en bore requise en arrêt à froid, est considéré de manière conservative.
- non-isolement de l'échantillonnage GV sur démarrage automatique de l'ASG,
- isolement de la purge GV sur bas niveau GV gamme étroite MIN1p,
- prise en compte de l'incertitude sur la chaîne de mesure ΔT_{sat} : La valeur de cette incertitude a été considérée de façon conservative \square ,
- intégration de l'optimisation de la conduite de l'ISMP dans la stratégie de passage à l'arrêt à froid avec injection de sûreté ,
- prise en compte du signal d'activation du RBS sur basse pression pressuriseur \square ,

- prise en compte de l'isolement ASG du GV affecté 30 minutes après l'AAR après remise à zéro du signal de démarrage automatique ASG,
- prise en compte de la modification de conduite relative à l'arrêt des GMPP,
- prise en compte de la procédure Gavé-Ouvert au MCS : l'orientation initiale en Conduite Incidentelle/Accidentelle oriente l'opérateur vers la procédure Gavé-Ouvert si aucun GV n'est utilisable à la fois au MCP et au MCS,
- modification de la capacité totale des bâches ASG [] .

4.2. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTAT A)

Parmi les cas court terme, seuls les cas 1 (taille de brèche [] sans cumul MDTE) et 4 (taille de brèche [] avec cumul MDTE) considérant la taille de brèche la plus pénalisante ont été mis en cohérence avec l'état final de conception. Cette démarche est justifiée par le faible impact des modifications sur les phénomènes physiques observés.

Parmi les cas long terme, seul le cas 5 (taille de brèche [] sans cumul MDTE) apparu comme étant le cas le plus pénalisant vis-à-vis de la consommation ASG a été mis en cohérence avec l'état final de conception. L'impact des modifications sur la reprise de ce cas ne remet pas cause son caractère pénalisant vis-à-vis de la consommation ASG par rapport au même cas cumulant le MDTE.

4.2.1. Cas 1 : [] court terme

La séquence des évènements pour la reprise du cas 1 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.9](#). L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.63](#) à [FIG-15.2.4c.72](#).

Les signaux de bas niveau GV dans un GV non affecté et de chute de pression GV élevée sont atteints simultanément (à 61,2 secondes), provoquant le signal d'arrêt automatique du réacteur []. La puissance cœur [], chute rapidement. Une soupape pressuriseur s'ouvre une première fois à 65 secondes, en conséquence de l'échauffement avant l'AAR. Le déclenchement turbine intervient [] après le signal d'AAR. La fermeture des VIV intervient [] après le signal de chute de pression GV élevée.

Une fois les VIV fermées, seul le GV affecté continue à se dépressuriser. La pression des autres GV remonte rapidement jusqu'à ouverture des VDA. Les niveaux GV continuent de chuter, ce qui provoque l'atteinte du seuil de très bas niveau GV dans les GV sains à 170,6 secondes. En raison de la défaillance et de la maintenance préventive postulées sur les ASG des GV 1 et 2, seul le GV 4 est alimenté [] plus tard. Les 2 GV sains non alimentés se vident rapidement, ainsi que le GV alimenté (plus lentement), un seul train ASG n'étant pas suffisant pour évacuer la puissance primaire. La dégradation de l'évacuation de puissance au secondaire conduit à un échauffement primaire, ce qui provoque des ouvertures successives d'une soupape de sûreté du pressuriseur.

La vidange du secondaire conduit à l'arrêt automatique des pompes primaires lorsque les niveaux GV mesurés passent sous le seuil d'indisponibilité des GV, à 2196 secondes. Après l'arrêt des GMPP, la puissance primaire à évacuer se réduit ; néanmoins la puissance résiduelle est encore supérieure à la capacité d'évacuation de puissance du secondaire.

Au bout d'une heure environ, l'alimentation d'un seul GV par un train ASG devient suffisante pour évacuer la puissance résiduelle ; les pressions et températures primaires sont stables et/ou en phase de diminution. L'état contrôlé est alors atteint, sans atteinte des critères de passage en gavé-ouvert. De plus, la fuite aux joints des GMPP sera compensée grâce au démarrage automatique du RBS sur signal de basse pression pressuriseur

Sur l'ensemble de l'accident, moins de [] t de fluide primaire sont rejetées par la soupape pressuriseur.

La chute des grappes et l'absence de découverture du cœur permettent d'assurer des dommages limités sur les assemblages combustibles.

L'état contrôlé est atteint :

- La chute des grappes assure la sous-criticité du cœur il n'y a pas de risque de retour en criticité.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée au bout d'une heure environ par l'ASG.
- L'inventaire en eau primaire est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables (absence de découverture du cœur).

4.2.2. Cas 4 : ■ court terme avec MDTE

La séquence des événements pour le cas 4 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.10](#). L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.73](#) à [FIG-15.2.4c.82](#).

La brèche d'interface, identifiée comme étant la plus pénalisante, est étudiée avec cumul du MDTE au moment de l'AAR.

Après l'AAR (sur bas niveau GV et chute de pression GV élevée), l'échauffement en branche chaude est plus marqué que pour le cas sans MDTE, en raison de la perte des GMPP.

Côté secondaire, la vidange des GV est plus lente et le GV alimenté ne se vide pas complètement.

Comme pour le cas 1, dans la mesure où les GMPP sont arrêtés, l'état contrôlé peut être atteint, sans atteinte des critères de passage en gavé-ouvert, lorsque la puissance résiduelle devient inférieure à la capacité d'évacuation d'un train ASG. De plus, la fuite aux joints des GMPP sera compensée grâce au démarrage automatique du RBS sur signal de basse pression pressuriseur.

Pour cet accident, la perte de masse primaire est moindre que pour le cas 1. L'analyse de l'atteinte de l'état contrôlé pour le cas 4 est donc couverte par celle du cas 1. Ainsi, puisque les critères relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles et à l'atteinte de l'état contrôlé sont satisfaits pour le cas 1, ils le sont également pour le cas 4.

4.2.3. Cas 5 : ■ long terme

La séquence des événements pour le cas 5 est fournie dans le tableau [TAB-15.2.4c.11](#). L'évolution des principaux paramètres de l'accident est représentée sur les figures [FIG-15.2.4c.83](#) à [FIG-15.2.4c.93](#).

La phase automatique de l'accident est similaire au cas 1 jusqu'au début de l'injection ASG (seuls les temps diffèrent très légèrement en raison des conditions initiales différentes).

L'injection ASG dans les GV 4 et 1 se fait à plein débit à partir de 188,9 secondes (l'ASG 2 est en maintenance préventive). A partir de cet instant l'état contrôlé est atteint.

L'opérateur intervient une demi-heure après l'AAR, et procède à l'isolement du train ASG associé au GV affecté. Comme indiqué aux [§ 1.7.1.6.](#) et [§ 4.1.](#), on tient compte dans l'étude d'une attente en arrêt à chaud de deux heures.

Deux heures après l'AAR le refroidissement débute. En raison de la défaillance d'une pompe RBS, le gradient est limité à -25° C/h. En parallèle une dépressurisation contrôlée du primaire est effectuée avec une soupape pressuriseur.

Environ 12960 secondes après le début de l'injection RBS, la concentration en bore du circuit primaire est supérieure à celle requise en arrêt à froid. Le RBS est arrêté et le gradient de refroidissement passe à -50° C/h.

En l'absence d'appoint primaire, le refroidissement conduit à la vidange du pressuriseur. La pression primaire ne peut être maintenue. L'injection de sécurité est sollicitée à 11524 secondes, sur signal de bas ΔP_{sat} . L'ISMP provoque la remontée de la pression primaire.

L'opérateur bascule ensuite deux pompes ISMP sur leurs grandes lignes à débit nul respectives sur le critère de ΔT_{sat} [] (ISMP 1 et 2). Il réitère cette opération pour une troisième pompe ISMP sur critère de ΔT_{sat} [] (ISMP 3). La pression primaire restant stable après cette troisième ouverture d'une grande ligne à débit nul d'une pompe ISMP, l'arrêt des GMPP n'est pas demandé.

L'opérateur bascule le dernier train ISMP en service sur sa grande ligne à débit nul lorsque la température en sortie cœur passe en-dessous de 170°C. P14 n'étant alors pas présent, tous les trains ISMP sont arrêtés par l'opérateur.

Il dépressurise ensuite le primaire par ouverture d'une soupape pressuriseur, jusqu'à 25 bar (en-dessous de la pression de connexion au RIS-RA en mode RA).

P14 est alors validé par l'opérateur qui, sur constat d'un très bas niveau d'eau dans le pressuriseur, arrête les pompes primaires ce qui provoque une légère remontée de la température en sortie cœur.

La présence de la fuite aux joints des GMPP provoque une diminution de la pression primaire jusqu'à l'atteinte de la pression de refoulement des pompes ISBP.

Sur l'ensemble de l'accident, moins de [] t de fluide primaire (vapeur uniquement) sont rejetées par la soupape pressuriseur.

Le refroidissement est poursuivi jusqu'à 29722 secondes. Les conditions permettant la connexion du RIS-RA en mode RA sont satisfaites. La capacité des bâches ASG est suffisante. []

A ce résultat, on ajoute :

- la quantité d'ASG envoyée vers le générateur de vapeur affecté, qui est supposée totalement perdue à la brèche [],
- la quantité d'eau évacuée par l'APG entre l'arrêt de l'ARE (instant initial) et l'atteinte du bas niveau GV MIN1p [],
- la quantité d'eau évacuée sur tout l'accident par l'échantillonnage GV : [].

On obtient une consommation totale d'ASG [] inférieure à la capacité minimale des bâches ASG []. De plus, en fin d'accident le niveau d'eau dans les 2 GV sains alimentés est régulé [], ce qui représente une masse d'eau [] par GV. Si la maintenance préventive n'était pas prise en compte sur l'ASG d'un GV sain, cela reviendrait à remplir un GV supplémentaire et à transférer [] des bâches ASG vers les GV, ce qui conduirait à une consommation enveloppe [].

L'état d'arrêt sûr est atteint :

- L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
- La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à la connexion des trains RIS-RA en mode RA qui permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

4.3. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTAT B)

Les modifications qui ont été introduites entre le jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15.1) ne remettent pas en cause la conclusion obtenue pour une RTE en état B.

En effet, l'analyse de l'atteinte de l'état contrôlé est couverte par l'analyse en état A bien que le relignage ASG ne soit plus crédité (F1B).

L'analyse de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr pour une RTE en état B est couverte par l'analyse en état A. Ainsi puisque les critères de sûreté sont respectés pour une RTE en état A, ils le seront également pour une RTE en état B.

4.4. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

Modification du volume de bore à injecter via le RBS pour l'atteinte de l'état d'arrêt à froid

L'injection de bore par l'opérateur via le RBS vise à injecter un volume de bore. Ce volume de bore à injecter et permettant d'assurer l'atteinte de la concentration en bore requise en arrêt à froid est augmenté \square pour être en cohérence avec la CIA. La durée d'injection du RBS nécessaire pour atteindre la concentration requise en arrêt à froid est donc augmentée de 260 secondes, passant de 12960 secondes à 13320 secondes dans le cas 5 visant à démontrer l'atteinte de l'état d'arrêt sûr (voir [§ 4.2.3.](#)).

Cette modification augmente légèrement la consommation ASG sans toutefois remettre en cause le respect des critères techniques d'acceptation associés. Pour cette raison, le calcul présenté au [§ 4.2.3.](#) ne nécessite pas de mise à jour.

Prise en compte de l'échauffement des colonnes de référence

L'échauffement des colonnes de référence consécutif à des conditions d'ambiance accidentelle implique l'apparition d'un biais sur la mesure, non pris en compte dans le remontage d'incertitudes des mesures de niveau. L'ajout de ce poste supplémentaire peut conduire à un dépassement du requis en ambiance dégradée pris en compte dans cette étude.

Une analyse d'impact a été menée \square et a démontré l'absence d'impact sûreté de cette modification. La prise en compte de l'échauffement des colonnes de référence ne remet pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.2.2.](#)

5. CONCLUSION

L'étude de l'accident de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire montre qu'en dépit de la défaillance unique la plus pénalisante et de la maintenance préventive :

- L'inventaire en eau du circuit primaire est toujours suffisant pour satisfaire le refroidissement et le non découverture du cœur permettant ainsi d'assurer des dommages limités sur les assemblages combustibles.
- L'état contrôlé est atteint en utilisant uniquement des moyens F1A :
 - La chute des grappes assure la sous-criticité du cœur, il n'y a pas de risque de retour en criticité ($keff < 1,0$).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée au bout d'une heure environ par l'ASG.
 - L'inventaire en eau primaire est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables : il n'y a pas découverture du cœur.
- L'état d'arrêt sûr est atteint en s'appuyant sur les actions classées F1A et F1B :
 - L'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur.
 - La réserve d'eau dans les bâches ASG est suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à la connexion des trains RIS-RA en mode RA qui permet d'évacuer durablement la puissance résiduelle.
La consommation maximale de la bâche ASG est de \square t, soit une marge de \square t par rapport à la capacité minimale des bâches ASG (cette valeur comprend la masse d'eau



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 36/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

supplémentaire qui serait consommée si la maintenance préventive n'était pas prise en compte sur l'ASG d'un GV sain).

- Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation, relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé puis de l'état d'arrêt sûr, présentés au [§ 1.2.2.](#) est donc respecté.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 37/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 38/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4C.1 RTE (ÉTAT A, PCC4) CONDITIONS
INITIALES**

□

TAB-15.2.4C.2 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS – CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU
D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche
61,2	Niveau GV < MIN1 dans un GV non affecté
61,2	Chute de Pression GV > MAX1
62,7	Signal d'AAR
□	Début de la chute des grappes
63,1	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois
□	Déclenchement turbine
67,7	VIV fermées
172,2	Signal « Niveau GV < MIN2 » dans GV4
□	Début d'injection ASG dans le GV4 Pompe ASG du GV1 non disponible en raison de la maintenance préventive Pompe ASG du GV2 non disponible en raison de la défaillance unique <u>Remarque</u> : débit ASG vers GV3 perdu à la brèche
2122	Arrêt automatique des GMPP sur « Niveau GV < □% GL » dans GV non affecté
3663	□ effectue le réaligement de la pompe ASG du GV affecté (GV3) vers un GV non affecté et non alimenté (GV1)
7000	Fin de l'accident

TAB-15.2.4C.3 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS – CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU
D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche
38,2	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois <i>Signal d'AAR correspondant non considéré</i>
60,9	Niveau GV < MIN1 dans un GV non affecté
62,4	Signal d'AAR
█	Début de la chute des grappes
█	Déclenchement turbine
245,0	Signal « Niveau GV < MIN2 » dans GV4
█	Début d'injection ASG dans le GV4 Pompe ASG du GV1 non disponible en raison de la maintenance préventive Pompe ASG du GV2 non disponible en raison de la défaillance unique <u>Remarque</u> : débit ASG vers GV3 perdu à la brèche
1452	Arrêt automatique des GMPP sur « Niveau GV < █% GL » dans GV non affecté
2697	VIV fermées
3662	█ effectue le réalignement de la pompe ASG du GV affecté (GV3) vers un GV non affecté et non alimenté (GV1)
7000	Fin de l'accident

TAB-15.2.4C.4 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS – CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU
D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche
12,8	Chute de Pression GV > MAX1
13,7	Signal d'AAR
□	Début de la chute des grappes
□	Déclenchement turbine
□	VIV fermées
1558	Signal « Niveau GV < MIN2 » dans GV4
□	Début d'injection ASG dans le GV4 Pompe ASG du GV1 non disponible en raison de la maintenance préventive Pompe ASG du GV2 non disponible en raison de la défaillance unique <u>Remarque</u> : débit ASG vers GV3 perdu à la brèche
2724	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois
3614	□ effectue le réalignement de la pompe ASG du GV affecté (GV3) vers un GV non affecté et non alimenté (GV1)
7000	Fin de l'accident

TAB-15.2.4C.5 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS – CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU
D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT
CONTRÔLÉ

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche
61,2	Niveau GV < MIN1 dans un GV non affecté
61,2	Chute de Pression GV > MAX1
□	Signal d'AAR
□	Occurrence du MDTE et perte des GMPP
63,1	Début de la chute des grappes
63,1	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois
□	Déclenchement turbine
□	VIV fermées
508,8	Signal « Niveau GV < MIN2 » dans GV4
□	Début d'injection ASG dans le GV4 Pompe ASG du GV1 non disponible en raison de la maintenance préventive Pompe ASG du GV2 non disponible en raison de la défaillance unique <u>Remarque</u> : débit ASG vers GV3 perdu à la brèche
3663	□effectue le réalignement de la pompe ASG du GV affecté (GV3) vers un GV non affecté et non alimenté (GV1)
7000	Fin de l'accident

TAB-15.2.4C.6 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS – CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU
D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT
D’ARRÊT SÛR

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche
61,2	Niveau GV < MIN1 et Chute de Pression de GV > MAX1 dans un GV non affecté
62,7	Signal d'AAR
63,1	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois
□	Début de la chute des grappes
□	Déclenchement turbine
□	VIV fermées
□	Injection ASG dans GV4
187,9	Injection ASG dans GV1
7263	Début du refroidissement à -25°C/h Mise en service d'un train RBS
16410	Concentration en bore supérieure à la concentration requise en arrêt à froid Arrêt du RBS Passage à un refroidissement à -50°C/h
16688	Signal IS sur bas ΔP_{sat}
□	Mise en service de l'IS
18935	□ Arrêt des trains ISMP 1 et 2
19753	□ Arrêt du train ISMP 3
22396	□ Arrêt des pompes primaires



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 44/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Temps (s)	Évènement
22516	Arrêt du train ISMP4 Ouverture d'une soupape pressuriseur
30000	Fin de l'accident Les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont satisfaites.

TAB-15.2.4C.7 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS – CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU
D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) : ATTEINTE DE L’ÉTAT
D’ARRÊT SÛR

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche
61,2	Niveau GV < MIN1 et Chute de Pression de GV > MAX1 dans un GV non affecté
62,7	Signal d'AAR
□	Occurrence du MDTE et perte des GMPP
63,1	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois
□	Début de la chute des grappes
□	Déclenchement turbine
□	VIV fermées
□	Injection ASG dans GV4
3663	□ effectue le réalignement de la pompe ASG du GV affecté (GV3) vers un GV non affecté et non alimenté (GV1)
7263	Début du refroidissement à -25°C/h Mise en service d'un train RBS
16410	Concentration en bore supérieure à la concentration requise en arrêt à froid Arrêt du RBS Passage à un refroidissement à -50°C/h
21714	Signal IS sur bas ΔP_{sat}
□	Mise en service de l'IS
21889	□ Arrêt du train ISMP 3
23380	□ Arrêt du train ISMP4 Ouverture d'une soupape pressuriseur
30000	Fin de l'accident Les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont satisfaites.



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4C

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE 46/144

TAB-15.2.4C.8 RTE – PUISSANCE RÉSIDUELLE
(HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES)

□

TAB-15.2.4C.9 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 1 : ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche Ouverture de la fuite aux joints des GMPP
61,2	Niveau GV < MIN1 dans un GV non affecté
61,2	Chute de Pression GV > MAX1
□	Signal d'AAR
63,1	Début de la chute des grappes
63,5	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois
□	Déclenchement turbine
□	VIV fermées
170,6	Signal « Niveau GV < MIN2 » dans GV4
□	Début d'injection ASG dans le GV4 Pompe ASG du GV1 non disponible en raison de la maintenance préventive Pompe ASG du GV2 non disponible en raison de la défaillance unique <u>Remarque</u> : débit ASG vers GV3 perdu à la brèche
2196	Arrêt automatique des GMPP sur « Niveau GV □ » dans GV non affecté
7000	Fin de l'accident

TAB-15.2.4C.10 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 4 : ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche Ouverture de la fuite aux joints des GMPP
61,2	Niveau GV < MIN1 dans un GV non affecté
61,2	Chute de Pression GV > MAX1
□	Signal d'AAR
□	Occurrence du MDTE et perte des GMPP
63,1	Début de la chute des grappes
63,5	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois
□	Déclenchement turbine
□	VIV fermées
503,3	Signal « Niveau GV < MIN2 » dans GV4
□	Début d'injection ASG dans le GV4 Pompe ASG du GV1 non disponible en raison de la maintenance préventive Pompe ASG du GV2 non disponible en raison de la défaillance unique <u>Remarque</u> : débit ASG vers GV3 perdu à la brèche
7000	Fin de l'accident

TAB-15.2.4C.11 RTE (ÉTAT A, PCC4) SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – CAS 5 : ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Temps (s)	Évènement
0	Occurrence d'une RTE dans le GV3 Les 4 débits ARE sont perdus à la brèche Ouverture de la fuite aux joints des GMPP
61,1	Niveau GV < MIN1 et Chute de Pression de GV > MAX1 dans un GV non affecté
61,9	Pression pressuriseur > MAX2 pour la première fois
□	Signal d'AAR
63,0	Début de la chute des grappes
□	Déclenchement turbine
□	VIV fermées
□	Injection ASG dans GV4
□	Injection ASG dans GV1
7261	Début du refroidissement à -25°C/h Mise en service d'un train RBS
11524	Signal IS sur bas ΔP_{sat}
11544	Mise en service de l'IS
20221	Concentration en bore supérieure à la concentration requise en arrêt à froid Arrêt du RBS Passage à un refroidissement à -50°C/h
22447	□ Basculement des trains ISMP 1 et 2 sur leurs grandes lignes à débit nul respectives
23311	□ Basculement du train ISMP 3 sur sa grande ligne à débit nul
24319	Température sortie cœur < 170°C Basculement du train ISMP4 sur sa grande ligne à débit nul P14 n'étant pas présent, arrêt de tous les trains ISMP Ouverture d'une soupape pressuriseur



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 50/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Temps (s)	Évènement
24410	Niveau pressuriseur < MIN3 et P14 validé Arrêt des pompes primaires
29722	Fin de l'accident Les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sont satisfaites.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 51/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4C.12 RTE – PUISSANCE RÉSIDUELLE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 52/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.1 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE
VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 53/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.2 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□

**FIG-15.2.4C.3 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV**

□

**FIG-15.2.4C.4 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT
BRÈCHE**

□

FIG-15.2.4C.5 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□

FIG-15.2.4C.6 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 58/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.7 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CHAUFFERETTES – PRESSIONS
GV**

□

FIG-15.2.4C.8 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 60/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.9 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 61/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.10 CAS 1 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 62/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.11 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE
VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4C

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE 63/144

FIG-15.2.4C.12 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTÉRMEDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 64/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.13 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 65/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.14 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES)- NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR - DÉBIT
BRÈCHE**

□

FIG-15.2.4C.15 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4C

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE 67/144

**FIG-15.2.4C.16 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 68/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.17 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CHAUFFERETTES – PRESSIONS
GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 69/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.18 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 70/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.19 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 71/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.20 CAS 2 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 72/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.21 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE
VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 73/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.22 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 74/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.23 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV**

□

**FIG-15.2.4C.24 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT
BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 76/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.25 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 77/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.26 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 78/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.27 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CHAUFFERETTES – PRESSIONS
GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 79/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.28 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□

FIG-15.2.4C.29 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 81/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.30 CAS 3 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 82/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.31 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE
VAPEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 83/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.32 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 84/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.33 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV**

□

**FIG-15.2.4C.34 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT
BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 86/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.35 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 87/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.36 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 88/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.37 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CHAUFFERETTES– PRESSIONS
GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 89/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.38 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□

FIG-15.2.4C.39 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 91/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.40 CAS 4 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 92/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.41 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 93/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.42 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 94/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.43 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV**

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4C

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE 95/144

**FIG-15.2.4C.44 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4C

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE 96/144

FIG-15.2.4C.45 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PRESSIONS GV – DÉBITS BOUCLES
PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 97/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.46 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG – PUISSANCE CHAUFFERETTES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 98/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.47 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 99/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.48 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR

□

**FIG-15.2.4C.49 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – MASSE DÉCHARGÉE AUX SOUPAPES
PRESSURISEUR – CONSOMMATION ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 101/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.50 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS RBS ET RIS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 102/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.51 CAS 5 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU DANS LE PLÉNUM SUPÉRIEUR ET
ΔPSAT**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 103/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.52 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4C

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE

104/144

FIG-15.2.4C.53 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 105/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.54 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAUX GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 106/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.55 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.4C.56 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PRESSIONS GV – DÉBITS BOUCLES
PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 108/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.57 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS ASG – PUISSANCE CHAUFFERETTES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 109/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.58 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 110/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.59 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU
PRESSURISEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 111/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.60 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – MASSE DÉCHARGÉE AUX SOUPAPES
PRESSURISEUR – CONSOMMATION ASG**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 112/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.61 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – DÉBITS RBS ET RIS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 113/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.62 CAS 6 (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – NIVEAU DANS LE PLÉNUM SUPÉRIEUR ET**

ΔP_{SAT}

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 114/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.63 CAS 1 – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 115/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.64 CAS 1 – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 116/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.65 CAS 1 – NIVEAUX GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 117/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.66 CAS 1 – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT
BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 118/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.67 CAS 1 – TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 119/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.68 CAS 1 – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 120/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.69 CAS 1 – PUISSANCE CHAUFFERETTES –
PRESSIONS GV**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 121/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.70 CAS 1 – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 122/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.71 CAS 1 – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 123/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.72 CAS 1 – DÉBITS ASG

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4C

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE

124/144

FIG-15.2.4C.73 CAS 4 – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

□

FIG-15.2.4C.74 CAS 4 – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 126/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.75 CAS 4 – NIVEAUX GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 127/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.76 CAS 4 – NIVEAU PLENUM SUPÉRIEUR – DÉBIT
BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 128/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.77 CAS 4 – TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 129/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.78 CAS 4 – DÉBITS BOUCLES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 130/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.79 CAS 4 – PUISSANCE CHAUFFERETTES –
PRESSIONS GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 131/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.80 CAS 4 – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 132/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.81 CAS 4 – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 133/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.82 CAS 4 – DÉBITS ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 134/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.83 CAS 5 – PUISSANCE CŒUR ET GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 135/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.84 CAS 5 – MASSES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4C

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE 136/144

FIG-15.2.4C.85 CAS 5 – NIVEAUX GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 137/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.86 CAS 5 – TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 138/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.87 CAS 5 – PRESSIONS GV – DÉBITS BOUCLES
PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

2.4C

PAGE

139/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4C.88 CAS 5 – DÉBITS ASG – PUISSANCE
CHAUFFERETTES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 140/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.89 CAS 5 – DÉBITS SOUPAPES PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 141/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.90 CAS 5 – PRESSION PRESSURISEUR – NIVEAU PRESSURISEUR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 142/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.91 CAS 5 – MASSE DÉCHARGÉE AUX SOUPAPES
PRESSURISEUR –CONSOMMATION ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 143/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.92 CAS 5 – DÉBITS RBS ET RIS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4C

PAGE 144/144

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4C.93 CAS 5 – NIVEAU DANS LE PLÉNUM SUPÉRIEUR ET
 ΔP_{SAT}



SOMMAIRE

.15.2.4D OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHÈRE OU D'UNE SOUPAPE GV (ÉTAT B)	3
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT	3
1.1. DÉFINITION	3
1.2. CAUSES	3
2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	3
2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	3
2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	5
3. MOYENS DE PROTECTION	6
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	6
5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	6
5.1. MÉTHODE D'ÉTUDE	6
5.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	6
5.3. RÉSULTATS	6
6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	7



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4D

PAGE 2/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

**TAB-15.2.4D.1 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE
CONTOURNEMENT A L'ATMOSPHERE OU D'UNE SOUPAPE GV (ÉTAT
B) CONCENTRATION EN BORE CRITIQUE □ (INCERTITUDES,
PÉNALITÉS ET PROVISIONS COMPRISES)..... 10**

.15.2.4D OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHÈRE OU D'UNE SOUPAPE GV (ÉTAT B)

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

1.1. DÉFINITION

L'événement considéré est l'ouverture intempestive d'une vanne d'isolement de la décharge à l'atmosphère ou d'une soupape GV se produisant alors que les paramètres neutroniques et thermohydrauliques de la tranche sont dans le domaine de fonctionnement défini par l'état B. Cet état est caractérisé par :

- une pression primaire comprise entre 25 bar abs et 130 bar abs (voir sous-chapitre 15.0),
- une température moyenne primaire comprise entre 303,3°C et 110°C (voir sous-chapitre 15.0),
- une concentration en bore initiale au minimum égale à la concentration en bore de l'arrêt à chaud (un des critères de dimensionnement de cette concentration étant de garantir la sous-criticité avec une grappe bloquée à 110°C),
- toutes les grappes du cœur insérées,
- un niveau GV ajusté par les vannes réglantes Très Petit Débit d'eau alimentaire (système de démarrage et d'arrêt - AAD).

Cet accident est classé dans la catégorie des événements PCC-4.

1.2. CAUSES

Cet accident peut être causé par :

- l'ouverture intempestive d'une Vanne de Décharge à l'Atmosphère (VDA) :
Le système de Vannes de Décharge à l'Atmosphère est dimensionné pour évacuer 50% du débit vapeur nominal, il est constitué, sur chaque ligne vapeur, d'une vanne de contrôle à ouverture linéaire et d'une vanne d'isolement tout ou rien. L'ouverture intempestive d'un VDA provient de l'ouverture intempestive de la vanne d'isolement initialement en position fermée. Selon l'état d'ouverture de la vanne de contrôle, il résulte un appel de vapeur plus ou moins important dans les GV ; un débit vapeur important peut conduire à la sollicitation du signal de baisse rapide de pression secondaire, qui provoque alors l'isolement des lignes vapeur.
- l'ouverture intempestive d'une soupape de sûreté sur les lignes vapeur :
Les soupapes de sûreté sur les lignes vapeur sont des soupapes à ressort conçues pour évacuer 25% du débit vapeur nominal. L'ouverture intempestive d'une soupape de sûreté entraîne un appel de vapeur dans tous les GV, l'isolement des lignes vapeur peut être réalisé sur un signal de baisse rapide de pression secondaire, cependant ce signal n'est pas systématiquement atteint pour les brèches vapeur de petite taille comme une soupape pleine ouverte.

2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

De l'initiateur à l'état contrôlé

La dépressurisation secondaire induite par l'ouverture intempestive d'une vanne VDA ou d'une soupape GV entraîne une augmentation du débit vapeur extrait de chaque GV, débit qui décroît ensuite au fur et à mesure que la pression secondaire diminue. Il en résulte un refroidissement du fluide primaire, et donc une insertion de réactivité dans le cœur par effet modérateur. Cette insertion

de réactivité engendre une diminution de la marge d'antiréactivité initiale qui peut conduire à un retour en criticité, et à une excursion de puissance. Il y a donc un risque de crise d'ébullition et d'endommagement de la gaine du combustible.

En l'absence de MDTE, deux scénarios extrêmes sont envisageables pour les états à pression secondaire encore élevée :

- En cas de faible appel de débit vapeur tel que celui provoqué par l'ouverture intempestive d'une soupape de sûreté sur les lignes vapeur et si le système d'alimentation en eau des GV est en mode de régulation du niveau GV, le circuit primaire va se refroidir lentement jusqu'à atteindre la valeur limite imposée par la température d'eau alimentaire [1]. Dans cette situation, aucun signal de protection n'est émis.
- En cas d'appel de débit vapeur plus important, tel que celui provoqué par la pleine ouverture d'un VDA, les signaux automatiques de baisse rapide de pression secondaire peuvent être activés, conduisant à un isolement des lignes vapeur. Si la régulation du niveau GV est inefficace ou si l'eau alimentaire des GV a été isolée sur signal de baisse rapide de pression secondaire Max2p, le niveau d'eau dans les GV diminue jusqu'à atteindre le seuil du signal d'AAR par bas niveau GV Min1p. Si aucune action opérateur n'intervient, le niveau dans tous les GV continue de chuter jusqu'à atteindre le signal de bas niveau GV Min2p qui active l'ASG, GV par GV. [1]

Pour des états intermédiaires de l'état B jusqu'à la fin de l'état B (à 110°C et 25 bar abs), le débit vapeur n'est pas ou plus suffisant pour activer le signal de baisse rapide de pression GV. Aucun signal de protection automatique n'est émis.

En cas de MDTE à l'instant initial, les pompes primaires s'arrêtent et la pompe de démarrage et d'arrêt cesse rapidement d'alimenter les GV. L'appel de débit vapeur provoqué par l'initiateur conduit alors à une dégradation de l'inventaire en eau dans les GV. À terme le signal d'AAR sur bas niveau GV Min1p peut être émis et le signal de bas niveau GV Min2p peut démarrer l'ASG, GV par GV.

L'étude montre que dans ces différentes situations, l'état contrôlé est atteint car :

- Le cœur reste à l'état sous-critique.
- L'inventaire en eau primaire est stable.
- La puissance résiduelle est évacuée par les GV.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Atteinte de l'état d'arrêt sûr

L'opérateur est orienté en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA) suite à l'un des signaux d'AAR émis au cours de l'accident. Pour les situations ne sollicitant pas ces signaux de protection, l'opérateur peut être informé d'une dégradation du fonctionnement de la tranche par une alarme indiquant par exemple une diminution du niveau de la bache d'eau alimentaire. L'entrée en Conduite Incidentelle/Accidentelle pourrait se faire plus tardivement, par exemple sur un signal de bas niveau GV.

Si un isolement automatique des lignes vapeur a eu lieu, l'opérateur est orienté directement vers la stratégie « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité ». Dans le cas contraire, il est orienté vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle » puis sera réorienté rapidement vers la stratégie « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité ». Ces orientations s'appliquent avec ou sans MDTE à l'instant initial.

Les actions des opérateurs permettent d'abord d'isoler¹ le GV affecté puis de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA ; il s'agira :

- d'assurer un refroidissement contrôlé du fluide primaire par le secondaire, jusqu'à 180°C dans les branches chaudes, et en parallèle d'apporter du bore dans le circuit primaire via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid,
- d'utiliser, si la dépressurisation primaire induite par le refroidissement est insuffisante, les moyens de dépressurisation disponibles (l'aspersion normale ou les soupapes du pressuriseur si l'aspersion normale est indisponible).

L'opérateur peut procéder à la connexion du RIS-RA dès que le permissif P14 (180°C et 32 bar abs dans les branches chaudes) est obtenu. Les générateurs de vapeur ne sont alors plus nécessaires pour évacuer la puissance résiduelle.

2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10 % en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - En cas de crise d'ébullition, la température maximale de gaine doit rester inférieure à 1482°C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.

En pratique, pour cette étude initiée à puissance nulle, les critères techniques d'acceptation sont vérifiés par l'intégrité de la première barrière, garantie par le non-retour en criticité.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- Pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1. L'isolement complet d'un GV non intègre signifie l'isolement côté eau et l'isolement côté vapeur. Un GV isolé ne sera jamais désisolé.

3. MOYENS DE PROTECTION

Les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités, depuis l'état B, sont les suivants :

- signal d'AAR sur « baisse rapide de pression secondaire » (seuil Max0p) ou « bas niveau GV » (seuil Min1p),
- signal de fermeture des vannes d'isolement vapeur (VIV) sur « baisse rapide de pression secondaire » (seuil Max1p),
- signal d'isolement de l'ARE/AAD, dans les 4 GV, sur « baisse rapide de pression secondaire » (seuil Max2p),
- démarrage de l'ASG sur signal « bas niveau GV » (seuil Min2p), GV par GV.

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

L'initiateur de cette étude est l'ouverture intempestive d'une vanne VDA ou d'une soupape GV se produisant en état B.

Conformément aux règles d'étude (voir section 15.0.2), le MDTE doit être considéré sur les incidents PCC-3 et les accidents PCC-4 si cette hypothèse est pénalisante vis-à-vis des critères de sûreté. Pour les événements PCC intervenant dans les états d'arrêt, le MDTE, s'il est pénalisant, est postulé à l'événement initiateur. Par ailleurs, seuls les équipements classés au séisme sont utilisés dans la démonstration de sûreté.

Le MDTE provoque l'arrêt des pompes primaires, entraînant une réduction du débit primaire et une diminution de l'échange primaire/secondaire. Par conséquent, le MDTE ne pénalise pas l'accident à court terme vis-à-vis du risque de retour en criticité. Cependant, l'analyse ci-après couvre toutes les situations (avec et sans MDTE).

5. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

5.1. MÉTHODE D'ÉTUDE

□ Les résultats sont ensuite comparés à la concentration en bore minimale en état B (CB d'arrêt à chaud), afin de s'assurer que le cœur reste sous-critique, pour tous les scénarios envisagés, avec ou sans MDTE.

5.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La démonstration présentée dans ce paragraphe couvre toute hypothèse de défaillance unique et toute hypothèse de maintenance préventive.

5.3. RÉSULTATS

En état B, la concentration en bore du circuit primaire est ajustée afin de satisfaire une condition de sous-criticité. La concentration en bore requise en état B est au minimum celle de l'arrêt à chaud, présentée dans le sous-chapitre 4.5 « Contrôle de la réactivité ».

Lors de l'ouverture intempestive d'un VDA ou d'une soupape de sûreté sur les lignes vapeur, l'augmentation des débits vapeur extraits des GV conduit à un refroidissement du fluide primaire. Lorsque le fluide primaire se refroidit, la contraction du primaire est compensée par la régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur si celle-ci est opérationnelle. La concentration en bore de l'eau injectée par le RCV est au minimum égale à celle de l'arrêt à chaud. Par conséquent, au cours du refroidissement, la concentration en bore dans le circuit primaire reste au moins égale à la concentration en bore initiale (qui est au minimum égale à la concentration en bore de l'arrêt à chaud).

Pour tous les scénarios envisagés (conditions initiales en état B, type d'initiateurs, fonctionnement des régulations, avec ou sans MDTE), les conditions suivantes sont enveloppes de l'état final avant toute intervention de l'opérateur :

- pression primaire à \square bar abs (une pression primaire élevée est pénalisante vis-à-vis de la CB critique),
- température moyenne primaire à \square °C (température minimale de l'ASG qui peut démarrer automatiquement, GV par GV, par activation du signal Bas Niveau GV Min2p),
- concentration en bore d'arrêt à chaud.

Initialement, en état B, toutes les grappes sont insérées dans le cœur.

Des calculs spécifiques de concentration en bore critique à \square °C et \square bar abs, toutes grappes insérées, avec un xénon à l'équilibre sont présentés dans le tableau [TAB-15.2.4d.1](#). Les résultats montrent que la concentration en bore critique \square reste inférieure à la concentration en bore requise en arrêt à chaud définie dans le sous-chapitre 4.5. La sous criticité du cœur est donc garantie pour les accidents d'ouverture intempestive du VDA ou d'une soupape GV en état B.

Cette démonstration couvre toute hypothèse de défaillance unique (exemple de la défaillance de la régulation de limitation de puissance des pompes ASG, qui limite le débit ASG) et toute hypothèse de maintenance préventive. Les bilans sont en effet réalisés en considérant un refroidissement du circuit primaire à la valeur extrême \square .

L'absence de retour en criticité permet d'écarter tout risque de fusion à cœur des pastilles de combustible et de crise d'ébullition, ce qui garantit l'intégrité de la première barrière.

Par ailleurs, l'évacuation de la puissance résiduelle et de la puissance des pompes primaires est assurée par les GV alimentés par les lignes à très petit débit d'eau alimentaire ou par l'ASG. L'inventaire en eau primaire est stable et les rejets radiologiques restent tolérables (absence de dommage sur les assemblages combustible). L'état contrôlé est atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation PCC-4 définis au [§ 2.2](#). est respecté.

6. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Pour atteindre l'état d'arrêt sûr, il est nécessaire de rejoindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA correspondent à la présence du permiffif P14 \square . Ces conditions sont :

- pression en branche chaude < 32 bar abs,
- température en branche chaude < 180°C.

Lors de l'entrée en conduite opérateur, le réacteur est dans la situation suivante :

- Les grappes de contrôle et d'arrêt sont insérées dans le cœur.
- Suivant le type d'initiateur, l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur est assurée soit par le générateur de vapeur affecté si l'isolement vapeur a eu lieu, soit par les quatre générateurs de vapeur lorsqu'il n'y a pas eu d'isolement vapeur.
- Les générateurs de vapeur sont alimentés par la ligne très petit débit d'eau alimentaire ou par l'ASG.
- Le circuit primaire se refroidit sous l'effet de l'ouverture intempestive de la soupape GV ou du VDA.
- Les pompes primaires sont en fonctionnement ou pas suivant l'hypothèse concernant le MDTE.

Aucune action opérateur n'est considérée pendant les 30 minutes qui suivent le premier signal automatique.

L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle est consécutive au signal d'AAR sur bas niveau GV, ou sur baisse rapide de pression secondaire. Pour les situations ne sollicitant pas ces signaux de protection, l'opérateur peut être informé d'une dégradation du fonctionnement de la tranche par une alarme indiquant par exemple une diminution du niveau de la bêche d'eau alimentaire. L'entrée en Conduite Incidentelle/Accidentelle pourrait se faire plus tardivement, par exemple sur un signal de bas niveau GV.

Pour les scénarios où les lignes vapeur ont été isolées automatiquement, l'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle oriente l'opérateur vers la stratégie « Passage à l'Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » sur le critère « ΔP entre GV non isolés supérieur à \square bar » (détecté après signal d'isolement vapeur) ou sur le critère « au moins un GV inutilisable² ». Cette orientation est valable avec ou sans MDTE à l'instant initial.

Pour les initiateurs ne conduisant pas au signal d'isolement des lignes vapeur par baisse rapide de pression secondaire, l'opérateur est orienté initialement vers une conduite incidentelle, vers la stratégie « Stabilisation en conduite incidentelle ». Au cours de cette phase, une stabilisation de la TRIC est demandée. Parallèlement, le module « contrôle de la température primaire » demande une stabilisation de la pression GV à la valeur atteinte par le VDA sur les GV utilisables. Cette action s'avère inefficace et la TRIC continue de chuter malgré l'ordre de fermeture des VDA. La conduite demande alors un isolement des lignes vapeur et l'opérateur est en conséquence réorienté vers la stratégie « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité ». De nouveau cette orientation est valable avec ou sans MDTE à l'instant initial.

Un isolement complet du GV affecté est demandé sur un critère d'écart de pression entre le GV affecté et les GV sains \square . Cet isolement conduit en particulier à l'arrêt de l'alimentation de ce GV par l'ASG.

La stratégie « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité » demande à l'opérateur une borication du circuit primaire via l'injection par le RBS d'un volume de bore assurant la concentration en bore requise en arrêt à froid. En parallèle, un refroidissement du fluide primaire est réalisé par une ouverture contrôlée des vannes de décharge à l'atmosphère des GV sains. Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains RBS disponibles et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h si 1 train RBS est en service,
- 50°C/h si la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore requise en arrêt à froid ou si 2 trains RBS sont en service.

Le niveau d'eau dans les GV « utilisables » est maintenu grâce à l'ASG.

En cas d'indisponibilité d'une pompe ASG d'un GV sain, la surveillance des systèmes de sauvegarde aura permis d'identifier l'alimentation insuffisante dans le GV concerné et de restaurer l'alimentation du GV par un train ASG voisin.

Une fois que la concentration en bore requise est atteinte, la borication est arrêtée. Pendant le refroidissement, l'opérateur contrôle la dépressurisation du circuit primaire en maintenant une marge à la saturation et un niveau d'eau dans le pressuriseur satisfaisants.

Pour la dépressurisation contrôlée, l'opérateur utilise l'aspersion normale ou les soupapes du pressuriseur si les moyens d'aspersion sont indisponibles.

L'opérateur isole les accumulateurs quand la pression primaire passe sous \square bar abs.

Lorsque la température et la pression atteignent 180°C et 32 bars abs dans 2 branches chaudes sur 4, l'opérateur valide le permissif P14, ce qui entraîne la demande de connexion du RIS-RA en mode RA.

2. GV intègre ayant un inventaire en eau insuffisant (niveau GV < 14% GL)

La conduite se poursuit en utilisant le RIS-RA, les générateurs de vapeur ne sont plus nécessaires pour évacuer la puissance résiduelle.

Depuis l'état B, la puissance primaire à évacuer au secondaire est inférieure à celle à évacuer après AAR pour un accident de brèche secondaire initié en état A ; par ailleurs, côté secondaire, dans les scénarios d'ouverture intempestive d'une soupape secondaire ou d'une vanne VDA, l'inventaire en eau dans les GV se dégrade moins que dans les scénarios de Rupture de Tuyauterie d'Eau alimentaire traités dans la section 15.2.4c, caractérisés par une vidange rapide et complète du GV rupté et par une consommation importante de l'eau des GV sains qui cessent d'être alimentés par l'eau alimentaire normale dès l'instant initial et qui produisent un important débit vapeur avant l'isolement des lignes vapeur. En conséquence, l'accident d'ouverture intempestive d'un VDA ou d'une soupape secondaire depuis l'état B est couvert, vis-à-vis de la consommation d'eau dans les bâches ASG, par l'étude de Rupture de Tuyauterie d'Eau alimentaire en état A traitée dans la section 15.2.4c. Cette analyse couvre tous les scénarios avec ou sans MDTE à l'instant initial et quels que soient l'aggravant et la maintenance préventive.

Par conséquent, le dimensionnement des bâches ASG est suffisant pour atteindre l'état d'arrêt sûr correspondant aux conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA, permettant l'évacuation durable de la puissance résiduelle.

Par ailleurs, l'utilisation des moyens de borication disponibles assure le maintien de la sous-criticité du cœur ($k_{eff} < 0,99$) et les rejets radiologiques restent tolérables. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.2.](#) est donc respecté.

**TAB-15.2.4D.1 OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE
DE CONTOURNEMENT A L'ATMOSPHERE OU D'UNE
SOUPAPE GV (ÉTAT B) CONCENTRATION EN BORE
CRITIQUE □ (INCERTITUDES, PÉNALITÉS ET PROVISIONS
COMPRISES)**

□

SOMMAIRE

.15.2.4E ÉJECTION DE GRAPPE (ÉTATS A, B)	8
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	8
1.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE	8
1.2. PROTECTIONS	10
1.3. CRITÈRES D'ÉTUDE	11
1.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET D'ARRÊT SÛR	12
1.5. ANALYSES THERMOMÉCANIQUES SPÉCIFIQUES	13
1.5.1. PUISSANCE INITIALE NON NULLE	13
1.5.2. EFFET DU CONDITIONNEMENT MÉCANIQUE	13
2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	13
2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	14
2.1.1. CAS D'ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT LES PROTECTIONS DE PREMIER NIVEAU	14
2.1.2. CAS D'ÉJECTION DE GRAPPE NE SOLLICITANT PAS LES PROTECTIONS DE PREMIER NIVEAU	19
2.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	19
2.2.1. MÉTHODE D'ANALYSE	19
2.2.2. HYPOTHÈSES DES CALCULS THERMOHYDRAULIQUES	20
2.2.3. HYPOTHÈSES DES CALCULS NEUTRONIQUES	26
2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	27
2.4. ANALYSES THERMOMÉCANIQUES SPÉCIFIQUES	27
2.4.1. PUISSANCE INITIALE NON NULLE	27
2.4.2. EFFET DU CONDITIONNEMENT MÉCANIQUE	28
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	28
3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR A L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	28

3.1.1. CAS D'ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT LES PROTECTIONS DE PREMIER NIVEAU (PROTECTIONS NEUTRONIQUES SPÉCIFIQUES)	28
3.1.2. CAS D'ÉJECTION DE GRAPPE NE SOLLICITANT PAS LES PROTECTIONS DE PREMIER NIVEAU	30
3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	30
3.2.1. CAS RETENUS	30
3.2.2. ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « DΦ/DT ÉLEVÉ »	30
3.2.3. ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « BASSE PRESSION PRESSURISEUR » OU « BASSE PRESSION BRANCHE CHAUDE »	32
3.2.4. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	33
3.2.5. CONCLUSION	34
3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME	34
3.3.1. RESPECT DES CRITÈRES TECHNIQUES D'ACCEPTATION	34
3.3.2. DESCRIPTION DE LA CONDUITE	35
3.4. ANALYSES THERMOMÉCANIQUES SPÉCIFIQUES	36
3.4.1. PUISSANCE INITIALE NON NULLE	36
3.4.2. EFFET DU CONDITIONNEMENT MÉCANIQUE	36
3.5. CONCLUSION GÉNÉRALE	36
LISTE DES RÉFÉRENCES.	37

TABLEAUX :

TAB-15.2.4E.1 PÉNALITÉS POUR MODELISATION DE L'INERTIE THERMIQUE DE LA GAINÉ PÉNALITÉS APPLIQUÉES FORFAITAIREMENT SUR LES RÉSULTATS THERMIQUES DES CAS PROMPT-CRITIQUES	38
TAB-15.2.4E.2 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES – ÉTUDE THERMOHYDRAULIQUE ET ÉTUDE THERMIQUE AU POINT CHAUD	39
TAB-15.2.4E.3 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME –PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES – ÉTUDE THERMIQUE À HAUT BURN-UP	42
TAB-15.2.4E.4 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RÉSULTATS – ÉTUDE THERMOHYDRAULIQUE ET ÉTUDE THERMIQUE AU POINT CHAUD	43
TAB-15.2.4E.5 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RÉSULTATS – ÉTUDE THERMIQUE À HAUT BURN-UP	47
TAB-15.2.4E.6 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – SENSIBILITÉ À L'UTILISATION DE MODÈLES NEUTRONIQUES DE CŒUR - REPRÉSENTATIFS D'UN FONCTIONNEMENT □	50
TAB-15.2.4E.7 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - ÉTUDE THERMIQUE AU POINT CHAUD ET À HAUT BURN-UP – SENSIBILITÉ AU DÉBIT ET À LA PRISE EN COMPTE DU CUMUL DU MDTE	51
TAB-15.2.4E.8 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - SENSIBILITÉ AU NIVEAU DE PUISSANCE INITIAL.....	52
TAB-15.2.4E.9 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - CONDITIONS THERMO-	

HYDRAULIQUES LOCALES A LA COTE DE RFTC MINIMAL POUR LES CAS LIMITATIFS VIS-A-VIS DU CRITERE EN NCE	53
TAB-15.2.4E.10 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS SCANAIR DE LA SIMULATION DES TRANSITOIRES D'ÉTUDE MAXIMISANT LA VARIATION D'ENTHALPIE	54
TAB-15.2.4E.11 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME CONDITIONS INITIALES EN T°, DÉBIT ET BYPASS DES CALCULS DE MARGE À LA CRITICITÉ	55
TAB-15.2.4E.12 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME	56
TAB-15.2.4E.13 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME BU EN FONCTION DES CYCLES	57
TAB-15.2.4E.14 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME INCERTITUDES, PÉNALITÉS ET PROVISIONS	58
TAB-15.2.4E.15 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME PÉNALITÉS POUR MODÈLES PERTURBÉS	59
TAB-15.2.4E.16 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME PÉNALITÉS POUR MODÈLES PERTURBÉS □	60
TAB-15.2.4E.17 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME CONDITIONS INITIALES DES CALCULS THERMOHYDRAULIQUES	62
TAB-15.2.4E.18 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME DÉBIT ARE APRÈS AAR	63
TAB-15.2.4E.19 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME TEMPÉRATURE ARE	64

TAB-15.2.4E.20 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « DΦ/DT ÉLEVÉ » CAS SANS CUMUL DU MDTE ET SANS BRÈCHE SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENT 65

TAB-15.2.4E.21 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « DΦ/DT ÉLEVÉ » CAS AVEC CUMUL DU MDTE ET AVEC BRÈCHE DE □ CM² SÉQUENCE DES ÉVÈNEME 66

TAB-15.2.4E.22 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « BASSE PRESSION PRESSURISEUR » CAS SANS CUMUL DU MDTE ET AVEC BRÈCHE DE □ CM² SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS 67

TAB-15.2.4E.23 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « BASSE PRESSION PRESSURISEUR » CAS AVEC CUMUL DU MDTE ET AVEC BRÈCHE DE □ CM² SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS 68

TAB-15.2.4E.24 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME RÉSULTATS 69

TAB-15.2.4E.25 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SUR – DESCRIPTION DE LA CONDUITE À LONG TERME 70

FIGURES :

FIG-15.2.4E.1 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉLECTION DU CAS PÉNALISANT POUR L'ANALYSE THERMIQUE À HAUT BURNUP □ 72

FIG-15.2.4E.2 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉLECTION DU CAS PÉNALISANT POUR L'ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE □ 73

FIG-15.2.4E.3 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CAS PÉNALISANT AU POINT CHAUD □	74
FIG-15.2.4E.4 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CAS PÉNALISANT THERMOHYDRAULIQUE □	75
FIG-15.2.4E.5 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CAS PÉNALISANT VIS-À-VIS DE LA VARIATION D'ENTHALPIE À HAUT BURN-UP □	76
FIG-15.2.4E.6 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CAS PÉNALISANT VIS-À-VIS DE LA TEMPÉRATURE DE GAINÉ À HAUT BURN-UP □	77
FIG-15.2.4E.7 DÉFINITION DU SCHÉMA DE GRAPPES – SÉQUENCE N° 1	78
FIG-15.2.4E.8 DÉFINITION DU SCHÉMA DE GRAPPES – SÉQUENCE N° 2	79
FIG-15.2.4E.9 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « DΦ/DT ÉLEVÉ » CAS SANS CUMUL DU MDTE ET SANS BRÈCHE – ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES THERMOHYDRAULIQUES	80
FIG-15.2.4E.10 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « DΦ/DT ÉLEVÉ » CAS AVEC CUMUL DU MDTE ET AVEC BRÈCHE DE □ ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES THERMOHYDRAULIQUES	81
FIG-15.2.4E.11 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « BASSE PRESSION PRESSURISEUR » CAS SANS CUMUL DU MDTE ET AVEC BRÈCHE DE □ ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES THERMOHYDRAULIQUES	82
FIG-15.2.4E.12 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE	



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 7/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « BASSE PRESSION
PRESSURISEUR » CAS AVEC CUMUL DU MDTE ET AVEC BRÈCHE DE
ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES
THERMOHYDRAULIQUES 83**

**FIG-15.2.4E.13 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME VALEURS DU SEUIL
« HAUT NIVEAU GV » MAX0P 84**

.15.2.4E ÉJECTION DE GRAPPE (ÉTATS A, B)

L'accident d'éjection de grappe est considéré pour les états A et B du réacteur. Néanmoins, de l'état d'arrêt à chaud (toutes grappes insérées) à l'état B, la concentration en bore requise est définie de manière à ne pas atteindre la criticité du cœur en cas d'éjection de grappe (voir sous-chapitre 4.5). En conséquence, une analyse de l'accident est réalisée uniquement pour les conditions initiales en attente à chaud et réacteur en puissance.

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

1.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

L'accident d'éjection de grappe (EDG) résulte de la rupture de l'enceinte sous pression du mécanisme de commande des grappes de contrôle. La pression exercée sur la tige d'actionnement de la grappe provoque alors l'éjection de la grappe hors du cœur.

Cet accident peut conduire à une perte de réfrigérant primaire via la rupture de l'enveloppe du mécanisme de commande de la grappe éjectée.

De l'événement initiateur à l'état contrôlé, l'accident peut être divisé en deux phases distinctes :

- la phase « court terme », caractérisée par une diminution rapide du RFTC et l'apparition de la crise d'ébullition: Cette phase concerne les premières secondes de l'accident.
- la phase « moyen terme », caractérisée par l'intervention des systèmes automatiques pour rejoindre l'état contrôlé: Au cours de cette phase, la réactivité est susceptible d'augmenter provisoirement sous l'effet du refroidissement. L'état contrôlé est atteint lorsque la marge à la criticité est en phase d'augmentation durable.

description de la phase court terme :

L'EDG constitue un accident très rapide avec un temps d'éjection typique de 0,1 seconde. Il occasionne un apport de réactivité rapide suivi d'une excursion de puissance et d'une perturbation bien localisée de la distribution de puissance. Outre l'augmentation de puissance, une augmentation du facteur de point chaud peut survenir en raison de la déformation de la distribution de puissance après l'éjection de la grappe. La valeur de l'apport de réactivité dépend du plan de chargement, de l'insertion du groupe auquel appartient la grappe éjectée ainsi que de la nature de cette grappe (noire ou grise).

L'augmentation de réactivité incontrôlée apportée au cœur du réacteur par l'EDG entraîne une excursion de puissance. La réponse du flux neutronique à l'insertion rapide de réactivité se caractérise par une augmentation très rapide de ce dernier, limitée par l'effet de contre-réaction due au coefficient Doppler négatif (cas prompt-critiques) ainsi que par la concentration de précurseurs (prompt-jump pour les cas non prompt-critiques). Cette limitation intrinsèque de l'excursion de puissance est importante car elle limite la puissance pendant le temps de latence avant la mise en œuvre effective des protections.

description de la phase moyen terme (sans cumul du MDTE) :

Selon la taille de la brèche éventuelle, le fonctionnement de la chaudière au moment de l'éjection de grappe et les signaux sollicités, cet accident peut entraîner à moyen terme un refroidissement du circuit primaire par les GV et donc une diminution de la marge à la criticité, pouvant potentiellement conduire à un retour en criticité.

L'initiateur (éjection d'une grappe pouvant créer une brèche dans le dôme de la cuve) peut provoquer successivement :

- une forte variation du flux nucléaire dans le cœur : Si cette variation est suffisamment importante, un AAR est susceptible d'intervenir rapidement sur des signaux de protection du cœur (par exemple par la chaîne « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire »).
- une dépressurisation du circuit primaire : En raison de la présence de la brèche et de la dépressurisation induite, un AAR plus tardif peut intervenir, par exemple sur signal de « Basse Pression Pressuriseur » ou de « Basse Pression Branche Chaude ».

L'AAR provoque la chute des grappes dans le cœur, le déclenchement de la turbine ainsi que l'isolement des lignes à grand débit ARE. Les lignes à petits débits ARE restant en service, l'alimentation des GV par celles-ci induit un refroidissement du circuit primaire et donc une insertion de réactivité par effet modérateur. Ce refroidissement, qui contribue à la dépressurisation du circuit primaire, se poursuit jusqu'à l'atteinte du seuil de « Haut niveau GV » Max0p qui provoque l'isolement complet des lignes ARE.

Pour les cas d'éjection de grappe ne provoquant pas de brèche (ou provoquant une brèche de très petite taille), la baisse de température primaire consécutive à un AAR sur un signal de protection du cœur s'arrête au moment de l'isolement des lignes ARE. De même, la dépressurisation induite par le refroidissement s'arrête à ce moment. Pour ces cas, la marge à la criticité augmente donc après l'atteinte de ce seuil.

Dans les autres cas (i. e. tailles de brèches plus importantes), la dépressurisation du primaire se poursuit sous l'effet de la brèche. Le signal de démarrage du RBS et le signal IS sont successivement atteints sur les seuils « Basse Pression Pressuriseur » Min4p et Min3p. Ces deux signaux provoquent respectivement le démarrage des pompes RBS et des pompes ISMP, permettant ainsi l'injection de bore dans le circuit primaire et donc l'insertion d'anti-réactivité. Le signal IS provoque l'isolement de la charge RCV mais également le démarrage automatique du refroidissement partiel , contribuant au refroidissement du circuit primaire.

Pour les plus petites tailles de cette gamme de brèches entraînant le signal IS, la pression primaire remonte puis se stabilise après la fin du refroidissement partiel à une valeur résultant du bilan volumique entre le fluide évacué à la brèche, la production de vapeur par la puissance résiduelle dans le cœur et le volume injecté par le RBS et le RIS.

Plus la taille de brèche est importante, plus la dépressurisation du circuit primaire est rapide et plus les conditions de saturation dans les parties les plus chaudes de ce circuit sont atteintes rapidement. À partir d'une certaine taille de brèche, le taux de vide dans les boucles est suffisant pour atteindre le seuil « Bas ΔP aux bornes des pompes primaires ». La concomitance de ce signal avec le signal IS conduit à l'arrêt des pompes primaires.

Pour les tailles de brèches les plus importantes, suite à l'arrêt des pompes et du fait de la forte dépressurisation et de la vidange du circuit primaire, la vapeur peut finir par s'accumuler dans le haut des épingles GV, conduisant à un arrêt de la circulation d'ensemble. À partir de cet instant, les GV ne participent plus au refroidissement du circuit primaire et le cœur est alimenté par le débit IS, seule source de refroidissement potentiel du cœur. Suivant le bilan volumique, soit la pression primaire se stabilise à la pression de fin du refroidissement partiel, soit la dépressurisation se poursuit.

À la fin de cette phase moyen terme, la quantité de bore injectée par les systèmes RIS et RBS est suffisamment importante pour contrer l'effet du refroidissement du circuit primaire et la marge à la criticité est en augmentation.

description de la phase moyen terme (avec cumul du MDTE) :

Aux phénomènes décrits dans le paragraphe précédent s'ajoutent, en cas de cumul MDTE, les évènements suivants :

- l'arrêt des pompes ARE et donc l'arrêt complet de l'alimentation normale des GV si le seuil de « Haut niveau GV Max0p » n'a pas été sollicité auparavant,
- l'arrêt des pompes primaires: Il conduit à une forte décroissance des débits dans les boucles primaires entraînant la dégradation de l'échange primaire-secondaire et amplifiant d'éventuelles dissymétries si elles existent,
- l'arrêt des pompes RBS si elles étaient en service: Celles-ci redémarrent après un délai.
- la mise en service de l'ASG sur signal « IS + MDTE » temporisé.

1.2. PROTECTIONSprécautions permettant de réduire la probabilité de l'accident :

Une rupture de l'enceinte sous pression du mécanisme de commande de grappe de contrôle (MCG) conduisant à l'éjection de la grappe hors du cœur est à considérer comme très improbable pour les raisons suivantes :

- Chaque enceinte sous pression est complètement assemblée en usine et fait l'objet d'un test hydraulique. Après montage des MCG sur les adaptateurs du couvercle de cuve, l'étanchéité des enceintes sous pression des MCG est à nouveau testée lors de l'épreuve hydraulique du circuit primaire principal.
- Les contraintes dans les mécanismes ne sont pas affectées par les transitoires d'exploitation normale du système, ni par les déséquilibres d'origine thermique des boucles primaires.
- L'enceinte sous pression est constituée de [] pièces en acier inoxydable soudées entre elles. Les matériaux utilisés bénéficient d'un bon retour d'expérience et présentent une excellente résilience dans la gamme des températures considérées. L'enceinte sous pression est assemblée par bridage sur les adaptateurs du couvercle de cuve, l'étanchéité étant assurée par joint conique métallique.
- Lors de la fabrication, les différentes parties de cet assemblage subissent un ensemble de contrôles de construction, de nature à déceler tous les défauts qui pourraient les affecter. En exploitation, les soudures peuvent être contrôlées par ultrasons ou courants de Foucault durant les arrêts de tranche.
- L'ensemble de ces contrôles permet d'atteindre un haut niveau de confiance. Cependant, en cas de défaut, le plus probable est l'apparition d'une fuite mineure ne mettant pas en cause la résistance de l'enceinte sous pression du mécanisme. Le contrôle régulier des fuites primaires permet d'en suivre l'évolution et d'éviter le risque d'un accident d'éjection de grappe.

moyens automatiques de protection :

Les différentes actions du système de protection du réacteur qui peuvent intervenir dans la protection du cœur pour déclencher l'AAR dans un accident de ce type sont les suivantes :

- « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire » sur chaîne niveau puissance [],
- « Bas temps de doublement (niveau intermédiaire) » [],
- « Haut flux nucléaire (niveau intermédiaire) » [].

Les deux dernières actions sont associées au permissif P6.

En raison de l'augmentation rapide de la puissance durant l'EDG, tous les points de consigne d'arrêt automatique sont atteints presque simultanément. [] .

Un deuxième niveau de protection est assuré par les actions du système de protection suivantes : « Bas RFTC », « Puissance linéique élevée », « Haute pression GV », « Basse pression dans le pressuriseur », « Basse pression branche chaude » et, dans le cas du cumul du MDTE, « Basse vitesse GMPP » et « Bas débit boucle ». Ces actions de protection éventuelles, ainsi que les autres actions automatiques de protection comme le démarrage de l'IS et du RBS, l'isolement de l'ARE, de la charge et de la décharge RCV et le refroidissement partiel automatique, sont prises en compte dans l'analyse moyen terme (voir [§ 2.2.](#)).

Une analyse spécifique de la phase court terme des éjections de grappe ne déclenchant pas l'AAR par l'une des protections de premier niveau (protections neutroniques spécifiques) fait le lien entre ces deux niveaux de protection. La démarche de cette étude est présentée au [§ 2.1.2.](#) et ses principales conclusions sont présentées au [§ 3.1.2.](#)

1.3. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Il est très difficile de modéliser correctement les processus conduisant à la rupture des crayons combustibles dans un accident comme celui de l'EDG, de même que les phénomènes qui se produisent dans le cœur en cas de dispersion du combustible dans le réfrigérant.

Aussi préfère-t-on se référer à des critères empiriques, relatifs à des grandeurs plus facilement calculables, et mis au point à partir de résultats d'expériences.

Le maintien d'un cœur dans une géométrie refroidissable et l'absence de dommages supplémentaires de la seconde barrière (autres que ceux correspondant à l'initiateur) sont garantis par l'absence de risque de dispersion de combustible dans le réfrigérant primaire.

Par ailleurs, comme tout autre accident PCC-4, les pressions primaire et secondaire obtenues au cours de l'accident d'éjection de grappe ne doivent pas entraîner de dégradation complémentaire de la deuxième barrière ni la perte de la troisième barrière. La justification du respect des critères de surpression n'est pas traitée dans la présente section. Elle est en effet traitée dans la section 3.6.3 du Rapport de Sûreté.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

- pour les études « point chaud » (BU moyen assemblage ≤ 33 GWj/t) :
 - une enthalpie maximale dans la pastille (Hmax) inférieure à 200 cal/g (837 J/g),
 - La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section du crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10% de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.
 - une température maximale de la gaine au point chaud inférieure à 1482 °C.
- pour les études « burn-up intermédiaire » (BU moyen assemblage compris entre 33 et 47 GWj/t) :
 - une variation d'enthalpie (ΔH) maximale dans la pastille inférieure à 150 cal/g (628 J/g).
- Pour les études « haut burn-up » (BU moyen assemblage ≥ 47 GWj/t) :
 - une variation d'enthalpie maximale dans la pastille inférieure à 57 cal/g (239 J/g),
 - une température maximale de gaine inférieure à 700 °C,
 - une largeur de pulse de puissance locale dans le crayon à mi-hauteur supérieure à 30 ms,
 - une épaisseur de ZrO₂ de la gaine inférieure à 100 μm .

En plus de ces limites, le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition (NCE) doit rester inférieur à 10% sur tout le cœur quel que soit le taux de combustion. Cette restriction sur le

NCE, fondée sur l'hypothèse qu'un crayon entrant en crise d'ébullition est rompu, constitue un découplage permettant d'évaluer les rejets radiologiques potentiels en cas d'accident d'éjection de grappe.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

En pratique, le non retour en criticité est vérifié pour l'étude de la phase moyen terme.

1.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ ET D'ARRÊT SÛR

Pour atteindre l'état contrôlé, les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- l'Arrêt Automatique du Réacteur,
- fermeture des vannes d'isolement des lignes à grand débit d'ARE sur compte rendu d'AAR,
- isolement total de l'ARE sur signal « Haut niveau GV » Max0p,
- démarrage du RBS sur signal « Basse Pression Pressuriseur » Min4p,
- démarrage de l'IS sur signal « Basse Pression Pressuriseur » Min3p, qui provoque en particulier le démarrage des 4 trains RIS et l'isolement de la charge et de la décharge RCV,
- démarrage du refroidissement partiel automatique du circuit primaire sur signal IS,
- démarrage de l'ASG sur signal « Signal IS + MDTE » temporisé,
- isolement de l'ASG sur signal « Haut niveau GV gamme large » Max1p,
- déclenchement des GMPP sur « Signal IS + Bas ΔP aux bornes des pompes » (seuil Min1p) ou sur signal « Haute pression enceinte » Max2p.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, les fonctions F1B suivantes (au moins) sont disponibles :

- 4 trains VDA pour le refroidissement jusqu'à la connexion du RRA ,
- 4 trains ASG mis en service GV par GV ,
- 2 trains RBS pour la boratation ,
- 4 trains ISMP pour compenser la fuite primaire et assurer un apport de bore dans le circuit primaire (action automatique).

1.5. ANALYSES THERMOMÉCANIQUES SPÉCIFIQUES

Les critères techniques d'acceptation susmentionnés (critères en enthalpie ou en variation d'enthalpie pour les aspects « point chaud » et « burn-up intermédiaire » et critères « haut burn-up ») sont définis sur la base d'essais intégraux initiés à puissance nulle.

1.5.1. Puissance initiale non nulle

Il s'agit de justifier, de manière complémentaire à la vérification du respect des critères présentés au § 1.3., que les transitoires d'éjection de grappe initiés en puissance ne sont pas plus pénalisants, en termes de déformation permanente de la gaine, que les transitoires d'éjection de grappe initiés à puissance nulle. Cette analyse est présentée au § 2.4.1. et ses principales conclusions sont présentées au § 3.4.1..

1.5.2. Effet du conditionnement mécanique

Il s'agit de justifier, de manière complémentaire à la vérification du respect des critères présentés au § 1.3., que la prise en compte de l'état de conditionnement mécanique le plus sollicitant sur les transitoires d'éjection de grappe initiés en puissance n'amène pas à une déformation permanente de la gaine plus importante que celle obtenue avec les transitoires d'éjection de grappe initiés à puissance nulle. Cette analyse est présentée au § 2.4.2. et ses principales conclusions sont présentées au § 3.4.2..

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

L'étude de la phase à court terme consiste à évaluer les valeurs maximales atteintes au cours de l'accident :

- du nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition,
- du volume de combustible fondu au point chaud,
- de l'enthalpie combustible au point chaud,
- de la température de gaine au point chaud,
- de la variation d'enthalpie dans le combustible à burn-up intermédiaire,
- de la variation d'enthalpie dans le combustible à haut burn-up,
- de la température de gaine dans le combustible à haut burn-up,
- de l'épaisseur de zircone à haut burn-up,

ainsi que la valeur minimale de la largeur de pulse de puissance locale dans le crayon à mi-hauteur dans le combustible à haut burn-up. L'accident est simulé à l'aide de calculs \square dans lesquels on suppose que l'EDG se produit à l'instant $t = 0$ s.

L'étude de la phase moyen terme consiste à déterminer la valeur minimale de la marge à la criticité atteinte au cours de l'accident.

choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	□	Sans objet
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	Une grappe coincée hors du cœur lors de l'AAR	Un train d'IS est en maintenance préventive (indisponible)
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr	Cf. cas de référence (voir § 3.3.)	

tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour la phase court terme, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

Concernant la phase moyen terme, l'aggravant le plus pénalisant est le blocage d'une grappe hors du cœur lors de l'AAR. Cet aggravant combiné à l'évènement initiateur (i.e. grappe éjectée) conduit à étudier l'accident avec deux grappes bloquées hors du cœur, ce qui pénalise de manière importante l'antiréactivité insérée au moment de l'AAR. Par ailleurs, au titre de la maintenance préventive, la configuration la plus pénalisante est de considérer un train d'IS indisponible, ce qui limite l'apport de bore et donc l'insertion d'antiréactivité dans le cœur. De manière pénalisante, il est considéré que les deux grappes hors du cœur après l'AAR sont situées dans le quart de cœur en regard de la boucle dont le train IS est en maintenance préventive.

2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME

2.1.1. Cas d'éjection de grappe sollicitant les protections de premier niveau

□

2.1.1.1. Méthode d'analyse

La méthode □ appliquée pour l'étude de la phase court terme est détaillée □. La sélection des cas pénalisants vis-à-vis des critères techniques d'acceptation à vérifier ainsi que la vérification de ces critères prévues par la méthode s'effectuent via :

- la simulation de transitoires □ avec des paramètres pénalisés □,
- la réalisation de calculs thermohydrauliques découplés pour déterminer la valeur maximale du nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition atteinte pendant le transitoire □,
- la réalisation de calculs thermiques découplés pour déterminer les valeurs maximales des paramètres thermiques du combustible et de la gaine atteintes pendant le transitoire □.

Ces codes sont décrits en Annexe 15A, ainsi que leur base de qualification.

□

2.1.1.2. Conditions initiales

Les conditions initiales ont été sélectionnées de manière à être les plus pénalisantes vis-à-vis du risque d'entrée en crise d'ébullition et des critères thermiques à vérifier. L'objectif de la plupart de ces

hypothèses est essentiellement de parvenir à un niveau de puissance totale ou à une densité de puissance locale plus importante pour l'analyse et donc d'obtenir des températures combustible plus élevées, des températures de fluide de refroidissement plus hautes et des valeurs de RFTC inférieures.

Deux groupes de conditions initiales sont définis : le premier groupe représente les conditions pénalisantes pour les calculs du nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition et pour les calculs thermiques au point chaud ; le second groupe représente les conditions pénalisantes pour les calculs thermiques à haut burn-up, les conditions pénalisantes étant définies pour chaque transitoire. Le respect du critère thermique à burn-up intermédiaire est vérifié pour ces deux groupes de conditions initiales.

Les principales conditions initiales considérées afin de pénaliser les transitoires \square sont les suivantes :

- niveau de puissance initial maximisé pour les transitoires initiés en puissance : L'étude a été réalisée avec une incertitude sur le niveau de puissance \square , dont la valeur a évolué au cours de l'étude \square pour les cas initiés à puissance intermédiaire (cf. sous-chapitre 15.1). Il a été vérifié par une étude de sensibilité que cette faible augmentation à puissance intermédiaire a un impact mineur sur les critères les plus limitatifs,
- faible niveau de puissance initial pour les transitoires initiés à puissance nulle,
- température d'entrée cœur maximisée, correspondant à un bouchage des tubes GV de $\square\%$,
- pression primaire minimisée,
- débit cœur minimal (une étude de sensibilité au débit maximal est cependant réalisée),
- distribution de puissance piquée vers le haut du cœur \square : Cette distribution de puissance a été sélectionnée suite à la réalisation d'études de sensibilité préliminaires menées en simulant des transitoires \square et en réalisant les calculs thermohydrauliques et thermiques associés,
- position des groupes pénalisante, c'est-à-dire celle des cas identifiés à l'issue de la sélection des cas pénalisants : Dans cette phase, les positions initiales des groupes de contrôle étudiées couvrent les situations allant de leur extraction totale jusqu'à leur insertion limite, et ce pour les deux séquences du schéma de grappes (voir figures 4.3 FIG 23 et 4.3 FIG 24). \square .
Les insertions limites (IL) correspondant au jeu d'hypothèses intermédiaire (voir Annexe 15B) ont été conservées dans l'analyse court terme. Cette hypothèse est conservative, puisque les IL correspondant à l'état final de conception (voir sous-chapitre 15.1) ont été relevées par rapport à celles du jeu d'hypothèses intermédiaire : les situations correspondant à l'état final de conception sont donc couvertes par les situations correspondant au jeu d'hypothèses intermédiaire.

Les principales hypothèses sont listées dans les tableaux [TAB-15.2.4e.2](#) et [TAB-15.2.4e.3](#). La plupart sont issues du sous-chapitre 15.1.

2.1.1.3. Hypothèses relatives au cœur

\square

traitement du fonctionnement en prolongation de cycle : L'analyse est analogue à celle en cycle naturel et est effectuée au taux d'épuisement pénalisant en prolongation de cycle \square . Ce taux d'épuisement pénalisant a été sélectionné suite à la réalisation d'études de sensibilité préliminaires menées en simulant des transitoires \square et en réalisant les calculs thermohydrauliques et thermiques associés.

Les données neutroniques spécifiques à l'EDG sont l'efficacité de la grappe éjectée (Δp), le facteur d'élévation d'enthalpie post-éjection ($F\Delta H_f$) et le facteur de point chaud post-éjection (FQ_f) \square .

Deux groupes d'hypothèses relatives au cœur sont définis : le premier groupe représente les hypothèses pénalisantes pour les calculs du nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition et pour les calculs thermiques au point chaud ; le second groupe représente les hypothèses pénalisantes pour les calculs thermiques à haut burn-up, les hypothèses pénalisantes

étant définies pour chaque transitoire. Le respect du critère thermique à burn-up intermédiaire est vérifié pour ces deux groupes d'hypothèses.

Les principales hypothèses relatives au cœur considérées afin de pénaliser les transitoires [] sont les suivantes :

- vitesse d'éjection de la grappe : [] s,
- La durée totale jusqu'à arrêt complet du réacteur est constituée des éléments suivants :
 - le temps nécessaire à l'atteinte du point de consigne d'arrêt automatique du réacteur : Ce temps est un résultat du transitoire [].
 - un délai supplémentaire entre l'atteinte du point de consigne d'arrêt automatique du réacteur et le début de la chute des grappes [],
 - la durée de cette chute prise maximale, avec prise en compte du séisme [].
- L'éventuelle fuite du circuit primaire résultant de la rupture de l'enveloppe du mécanisme de la grappe éjectée n'est pas considérée, la durée de la phase court terme étant de quelques secondes.
- Le modèle de cœur est ajusté afin de couvrir les incertitudes de calcul ainsi que différentes pénalités ; les principales hypothèses sont :
 - La fraction de neutrons retardés est minimisée.
 - Le temps de génération des neutrons prompts est minimisé.
 - Le coefficient de température Doppler est minimisé en valeur absolue.
 - Le coefficient de température modérateur est minimisé en valeur absolue.
 - L'efficacité de la grappe éjectée est maximisée.

Les principales hypothèses sont listées dans les tableaux [TAB-15.2.4e.2](#) et [TAB-15.2.4e.3](#).

2.1.1.4. Hypothèses relatives aux systèmes

GMPP

L'EDG étant classée en catégorie de fonctionnement PCC-4, les règles d'étude conduisent à considérer un cumul du Manque De Tension Externe (MDTE) à l'instant initial, au signal d'AAR ou au signal IS, si ce cumul est pénalisant. Par suite, le Manque De Tension Externe (MDTE) est cumulé dès l'instant initial. La décroissance de débit imposée dans les transitoires [] est reprise de l'étude de l'accident de perte totale des alimentations électriques externes de courte durée (voir section 15.2.2h).

Une sensibilité à l'absence de cumul du MDTE est cependant réalisée (cf. étude de sensibilité au débit maximal évoquée précédemment).

système de protection

Le seuil « études » (intégrant les incertitudes de mesure) de la chaîne de protection par « Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire », sur chaîne niveau puissance, est égal à []% PN de manière conservative.

La cinétique de l'AAR est décrite au [§ 2.1.1.3.](#)

2.1.1.5. Sélection des cas pénalisants

La phase de sélection des cas pénalisants consiste à déterminer, pour chaque instant du cycle et chaque niveau de puissance étudiés, un (ou plusieurs) cas pénalisant (s) vis-à-vis des critères

thermiques et thermohydraulique à vérifier, sachant que le cas pénalisant peut être différent suivant le critère considéré.

La méthode décrite [\[1\]](#) retient le principe d'une simulation de chaque cas d'éjection de grappe [\[1\]](#). De plus, l'analyse des données neutroniques spécifiques pénalisées permet de présélectionner les cas d'éjection de grappe d'intérêt pour la sélection des cas pénalisants [\[1\]](#).

Les transitoires [\[1\]](#) sont réalisés en appliquant les incertitudes et pénalités sur les paramètres dominants, soit l'efficacité de la grappe éjectée ($\Delta\rho$), la fraction de neutrons retardés, le temps de génération des neutrons prompts et les contre-réactions Doppler et modérateur. Ces calculs permettent de caractériser le pulse moyen chaudière en recouplant les effets physiques.

Les conséquences de l'accident sont ensuite calculées pour les aspects thermique et thermohydraulique en appliquant les incertitudes et pénalités sur les facteurs de point chaud initiaux et post-éjection (FQ_i et FQ_f) et sur le facteur d'élévation d'enthalpie post-éjection ($F\Delta H_f$).

A l'issue de cette étape, on obtient un (ou plusieurs) cas pénalisant(s) par niveau de puissance et instant du cycle, retenu(s) pour leur caractère limitatif vis-à-vis des différents critères à vérifier.

[\[1\]](#)

2.1.1.6. Vérification du nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition

Dans un premier temps, afin de déterminer l'instant de RFTC minimal, le RFTC est calculé de manière découplée pour l'assemblage chaud (assemblage portant la puissance thermique maximale), tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issue du transitoire [\[1\]](#).
- Le facteur d'élévation d'enthalpie ($F\Delta H_f$) est issu d'un calcul d'éjection [\[1\]](#) réalisé à partir de la situation initiale du transitoire [\[1\]](#) ; le $F\Delta H_f$ est affecté de l'incertitude de calcul, des pénalités et des provisions ; pour finir, il est associé à une distribution radiale de puissance cœur dite « de conception » (voir sous-chapitre 4.4).
- Les conditions thermohydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) sont issues du transitoire [\[1\]](#) ; à puissance nulle, le niveau de puissance est pénalisé [\[1\]](#).

Dans un deuxième temps, la distribution de puissance thermique axiale pénalisante, à l'instant de RFTC minimal déterminé précédemment, est identifiée comme la distribution de puissance thermique axiale de l'assemblage qui porte le RFTC minimal [\[1\]](#).

Le pourcentage de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est ensuite calculé, autour de l'instant de RFTC minimal déterminé précédemment, de manière découplée à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage qui porte la distribution pénalisante identifiée précédemment ; elle est issue du transitoire [\[1\]](#).
- La courbe de fuel census est propre à chaque transitoire [\[1\]](#) ; elle est issue d'un calcul d'éjection [\[1\]](#) réalisé à partir de la situation initiale du transitoire [\[1\]](#) ; elle est affectée de l'incertitude de calcul, des pénalités et des provisions appliquées sur le $F\Delta H_f$.
- Les conditions thermohydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) sont issues du transitoire [\[1\]](#) ; à puissance nulle, le niveau de puissance est pénalisé [\[1\]](#).

On retient le maximum de nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition pour comparaison au critère de 10%.

2.1.1.7. Vérification des critères thermiques combustible

Les valeurs maximales de la température combustible, de l'enthalpie combustible et de la variation d'enthalpie dans le combustible sont calculées de manière découplée [], tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- Les conditions thermohydrauliques (puissance nucléaire, pression, débit massique et densité) sont issues du transitoire [] ; à puissance nulle, le niveau de puissance est pénalisé [].
- La température primaire est la température de sortie de l'assemblage considéré issue du transitoire [].
- Le facteur de point chaud FQ est celui de l'assemblage considéré issu du transitoire [] et affecté de l'incertitude de calcul, des pénalités et des provisions ; à haut burn-up, le FQ cœur est si besoin ajusté à l'instant initial de telle sorte que la puissance linéique correspondante reste inférieure à la limite de fonctionnement (soit 450 W/cm) [].
- De manière pénalisante, l'entrée en crise d'ébullition est supposée dès l'instant initial.
- Le coefficient de transfert thermique du jeu pastille/gaine est :
 - maximal et constant au cours du transitoire pour les cas initiés en puissance : [] W/m².°C,
 - minimal et constant au cours du transitoire pour les cas initiés à puissance nulle : [] W/m².°C pour l'étude au point chaud et l'étude à burn-up intermédiaire, [] W/m².°C pour l'étude à haut burn-up.
- La conductivité thermique initiale dans la pastille est minimale.

On retient les valeurs maximales de la température combustible et de l'enthalpie combustible pour comparaison aux critères de température de fusion et de 200 cal/g (837 J/g) pour le combustible de burn-up inférieur à 33 GWj/t.

On retient la valeur maximale de la variation d'enthalpie dans le combustible pour comparaison au critère 150 cal/g (628 J/g) pour le combustible de burn-up compris entre 33 GWj/t et 47 GWj/t, et 57 cal/g (239 J/g) pour le combustible de burn-up supérieur à 47 GWj/t.

2.1.1.8. Vérification des critères thermiques pour la gaine

La valeur maximale de la température de gaine est calculée de manière découplée [], tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- Les conditions thermohydrauliques (puissance nucléaire, pression, débit massique et densité) sont issues du transitoire [] ; à puissance nulle, le niveau de puissance est pénalisé [].
- La température primaire est la température de sortie de l'assemblage considéré issue du transitoire [].
- Le facteur de point chaud FQ est celui de l'assemblage considéré issu du transitoire [] et affecté de l'incertitude de calcul, des pénalités et des provisions ; à haut burn-up, le FQ cœur est si besoin ajusté à l'instant initial de telle sorte que la puissance linéique correspondante reste inférieure à la limite de fonctionnement (soit 450 W/cm) [].
- De manière pénalisante, l'entrée en crise d'ébullition est supposée dès l'instant initial.
- Le coefficient de transfert thermique du jeu pastille/gaine est :
 - minimum à l'instant initial du transitoire : [] W/m².°C pour l'étude au point chaud, [] W/m².°C pour l'étude à haut burn-up,
 - maximum à partir de [] s jusqu'à la fin du transitoire : [] W/m².°C.
- La conductivité thermique initiale dans la pastille est maximale.

On retient la valeur maximale de la température de gaine pour comparaison aux critères de 1482 °C et de 700 °C respectivement pour le combustible de burn-up inférieur à 33 GWj/t et le combustible de burn-up supérieur à 47 GWj/t.

2.1.1.9. Vérification des critères en largeur de pulse et en oxydation de la gaine dans le combustible à haut burn-up

Pour les cas d'éjection de grappe où le seuil de prompte-criticité est dépassé, la valeur de la largeur de pulse de puissance locale dans le crayon à mi-hauteur est calculée à partir de l'évolution de la puissance nucléaire issue du transitoire [1]. On retient la valeur minimale de largeur de pulse de puissance locale dans le crayon à mi-hauteur pour comparaison au critère de 30 ms.

La valeur maximale d'épaisseur d'oxyde de zirconium atteinte au cours du transitoire est obtenue en additionnant à l'épaisseur maximale d'oxyde initial [1], l'épaisseur d'oxyde créé au cours du transitoire thermique pénalisant pour la gaine décrit précédemment. On retient la valeur maximale d'épaisseur d'oxyde de zirconium pour comparaison au critère de 100 µm.

2.1.2. Cas d'éjection de grappe ne sollicitant pas les protections de premier niveau

Une analyse est menée spécifiquement sur les transitoires qui ne sollicitent ni la protection par haut flux neutronique, ni celle par taux élevé d'augmentation du flux neutronique. [1]. Elle permet d'évaluer l'efficacité des protections de second niveau vis-à-vis des phénomènes de crise d'ébullition, de fusion du combustible et de détérioration de la gaine à haut burn-up. Cette analyse se rapporte davantage à la vérification du bon dimensionnement des systèmes de protection qu'à l'étude d'éjection de grappe en elle-même.

Ces transitoires sont dissociés en deux familles :

- ceux qui sollicitent un AAR de second niveau rapide, [1],
- ceux qui sollicitent un AAR de second niveau tardif [1] ou qui n'entraînent pas d'AAR.

Ces transitoires sont étudiés avec cumul du MDTE à l'instant initial, à l'instant d'AAR, et sans cumul du MDTE.

Pour la première famille, le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition, la température maximale de combustible et la température maximale de gaine à haut burn-up sont calculés [1], et retenus pour comparaison aux mêmes critères que ceux des transitoires qui sollicitent une protection de premier niveau.

Pour la seconde, la valeur minimale de RFTC au cours du transitoire, jusqu'à la sollicitation d'une protection ou jusqu'à l'atteinte d'une situation stabilisée du cœur, est retenue et comparée au critère déterministe d'entrée en crise d'ébullition lié à la corrélation de flux critique utilisée. Elle permet de vérifier que ces transitoires respectent l'absence de crise d'ébullition, et sont ainsi protégés vis-à-vis des risques de fusion du combustible et de détérioration de la gaine.

2.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

En pratique, le non retour en criticité est vérifié pour l'étude de la phase moyen terme.

2.2.1. Méthode d'analyse

L'étude est réalisée selon la démarche d'étude de la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe [1].

L'approche repose sur l'enchaînement de deux calculs (i.e. pas de couplage de code considéré) visant à déterminer la marge à la criticité minimale au cours de l'accident :

- un calcul thermohydraulique \square : Le transitoire simule le comportement global des circuits primaire et secondaire, prend en compte la cinétique de refroidissement du circuit primaire et valorise l'apport de bore par les systèmes RIS et RBS. Ce calcul fournit à plusieurs instants du transitoire des state-points (Pression, Température, Concentration en bore) en entrée cœur.
- Un calcul neutronique statique \square permettant de déterminer la marge à la criticité aux instants sélectionnés.

2.2.2. Hypothèses des calculs thermohydrauliques

2.2.2.1. Conditions initiales

Les conditions initiales, comme les autres hypothèses, sont pénalisées vis-à-vis du critère de non-retour en criticité de manière à :

- maximiser et anticiper le refroidissement primaire,
- retarder et minimiser la dépressurisation du circuit primaire afin de retarder et minimiser l'injection de bore dans le cœur.

Ces hypothèses sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.4e.17](#).

2.2.2.2. Hypothèses relatives au cœur

La puissance cœur est maintenue constante jusqu'au début de la chute des grappes.

Le calcul de la marge à la criticité est réalisé en considérant la puissance initiale de l'accident. L'augmentation de puissance qui suit l'éjection de grappe n'est pas prise en compte puisqu'elle n'influe pas sur le calcul. En effet, la marge d'arrêt est une fonction d'état. Elle ne dépend que des états initiaux et finaux du calcul. Le chemin parcouru entre ces deux états ne modifie pas le résultat de marge à la criticité.

La plage de puissance initiale considérée est la plage [0 % PN ; 100 % PN]. \square L'incertitude sur le niveau de puissance initiale n'est pas considérée dans les calculs thermohydrauliques, mais dans les calculs neutroniques (cf. [§ 2.2.3.](#)).

Une puissance résiduelle minimisée est considérée pour maximiser le refroidissement du circuit primaire, ce qui est pénalisant vis-à-vis de la marge à la criticité. \square .

2.2.2.3. Hypothèses relatives aux signaux de protection et de sauvegarde

Arrêt Automatique du Réacteur :

Les deux AAR suivants sont considérés :

- AAR sur signal « $d\phi/dt$ élevé » (« Taux élevé d'augmentation du flux nucléaire ») : À l'échelle de la phase moyen terme, cet AAR intervient quasiment au même moment que l'évènement initiateur. Il s'agit donc de l'AAR le plus précoce qui puisse intervenir.
- AAR sur signal « BPP » (« Basse pression dans le pressuriseur ») Min2p pour les cas initiés à une puissance cœur supérieure à 10 % PN, et AAR sur signal « BPBC » (« Basse pression branche chaude ») Min1p pour les cas initiés à une puissance inférieure à 10 % PN: Ces deux AAR sont les plus tardifs qui puissent intervenir.

Pour l'AAR « $d\phi/dt$ élevé » (classé F1A), les caractéristiques suivantes sont définies de manière à anticiper son atteinte (voir sous-chapitre 15.1) :

- Par découplage, le seuil d'AAR est atteint à l'instant initial de l'accident.
- Le délai total entre l'atteinte du seuil d'AAR et le début de chute des grappes est minimisé \square .

Les caractéristiques des AAR BPP et BPBC sont les suivantes (voir sous-chapitre 15.1) :

- signal AAR « Basse Pression Pressuriseur » (classé F1A) :
 - seuil Min2p [],
 - délai total entre l'atteinte du seuil d'AAR et le début de chute des grappes [] (délai minimisé).
- signal AAR « Basse Pression Branche Chaude » (classé F1A) :
 - seuil Min1p [],
 - délai total entre l'atteinte du seuil d'AAR et le début de chute des grappes [] (délai minimisé).
- Ces hypothèses sont prises en cohérence avec celles portant sur le signal IS (cf. ci-dessous).

déclenchement de la turbine :

La fermeture des vannes de déclenchement turbine se produit sur le compte-rendu d'AAR avec un délai maximal [] pour maintenir la capacité d'extraction de puissance le plus longtemps possible.

démarrage du RBS :

L'incertitude capteur du pressuriseur doit être appliquée de la même manière aux seuils de « Basse Pression Pressuriseur » des signaux d'AAR, IS et RBS. Des sensibilités au sens de cette incertitude ont été réalisées (voir [Réf](#)). Elle justifie la prise en compte de seuils maximisés. Par ailleurs, le temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal dépend de la sensibilité à l'incertitude capteur :

- Pour un seuil minimisé de son incertitude, ce délai est pris maximal.
- Pour un seuil maximisé de son incertitude, ce délai est pris minimal.

Le démarrage du RBS se fait sur signal « Basse Pression Pressuriseur » Min4p (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes (voir sous-chapitre 15.1) :

- seuil Min4p [],
- temps de réponse de la chaîne et du traitement du signal [] (délai minimisé),
- délai de démarrage des pompes RBS [].

Conformément à la démarche d'étude, le sens de pénalisation du signal RBS est cohérent avec la pénalisation des signaux AAR et IS.

démarrage de l'IS :

Le démarrage de l'IS se fait sur signal « Basse Pression Pressuriseur » Min3p (classé F1A), avec les caractéristiques suivantes (voir sous-chapitre 15.1) :

- seuil Min3p [],
- temps de réponse de la chaîne et du traitement du signal [] (délai minimisé),
- délai de démarrage des pompes IS [].

Ces hypothèses permettent d'augmenter l'intervalle de temps entre le démarrage du refroidissement partiel automatique sur signal IS et l'injection effective d'IS, et donc de bore, dans le circuit primaire.

refroidissement partiel automatique :

Le refroidissement partiel sur compte-rendu du signal IS (classé F1A) conduit à l'ouverture progressive des vannes du VDA ou du GCT pour assurer une vitesse de refroidissement [].

De manière pénalisante, un refroidissement partiel automatique par le GCT est considéré. Les caractéristiques de ce refroidissement partiel sont les suivantes (voir sous-chapitre 15.1) :

- démarrage du refroidissement partiel sans retard au signal IS,
- pression de consigne de début de refroidissement partiel [],
- pression de consigne de fin de refroidissement partiel [].

arrêt des pompes primaires :

Le signal « IS + bas ΔP aux bornes des pompes » (classé F1A) n'est jamais atteint pour les tailles de brèches pénalisantes étudiées dans cette section (voir § 2.2.2.5.).

Dans les cas avec cumul MDTE, l'arrêt des pompes primaires a lieu lors du signal IS.

isolement de l'ARE :

La fermeture des lignes à grand débit ARE est obtenue sur signal d'AAR (classé F1A). Le délai de fermeture de ces lignes, correspondant au temps de manœuvre des vannes d'isolement, est de [] s (délai minimisé). Ce délai est minimisé de manière à allonger la phase de remplissage du GV par les petits débits ARE pour atteindre le seuil d'isolement de la ligne à petit débit ARE, ce qui conduit à allonger la phase de refroidissement induite du circuit primaire.

La fermeture des lignes à petit débit ARE est obtenue sur signal « Haut Niveau GV GE » Max0p (classé F1A). Les caractéristiques de ce signal sont les suivantes (voir sous-chapitre 15.1) :

- seuil Max0p [],
- temps de réponse de la chaîne et du traitement du signal [] (délai maximisé),
- délai d'isolement de la ligne (temps de manœuvre des vannes) : délai maximal [].

Le cumul du MDTE peut également conduire à l'arrêt complet du débit ARE par arrêt des pompes ARE. L'instant pénalisant de cumul MDTE étant postérieur au signal d'AAR (cf. § 2.2.2.5.), seul le petit débit ARE est arrêté sur MDTE. Cependant, afin de maximiser la durée totale d'injection de l'ARE au cours de l'accident, dans les cas où le petit débit ARE est arrêté sur MDTE, on considérera un délai maximal [] pour la fermeture des lignes à grand débit ARE sur signal d'AAR.

démarrage de l'ASG :

Pour les cas avec cumul du MDTE, les pompes ASG démarrent sur « Signal IS + MDTE », après une temporisation []. L'ASG peut alors injecter dans les GV si elle n'est pas isolée.

Le seuil de démarrage ASG sur signal « Très Bas Niveau GV Gamme Large » Min2p n'est pas atteint dans les configurations présentées dans cette étude.

isolement de l'ASG :

L'isolement de l'ASG intervient sur un seuil de « Haut niveau GV GL » Max1p (classé F1A). Les caractéristiques de ce signal sont pénalisées de manière à retarder l'isolement ASG dans le but de maximiser la durée du refroidissement primaire induit par l'ASG. Elles sont les suivantes (voir sous-chapitre 15.1) :

- seuil Max1p [],
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal [] (délai maximisé),
- délai d'isolement de l'ASG (temps de manœuvre des vannes) : délai maximal [].

isolement de la décharge RCV :

La décharge RCV est isolée sur signal IS sans délai, dans le but de ralentir la dépressurisation du circuit primaire.

La régulation de niveau pressuriseur peut également demander l'isolement de la décharge RCV sur seuil « Bas Niveau Pressuriseur » Min2 \square . Cette action est prise en compte car elle peut conduire à un isolement anticipé de la décharge, qui est défavorable pour cet accident.

isolement de la charge RCV :

La charge RCV est isolée sur signal IS avec un délai maximal \square ou bien sur seuil « Haut Niveau Pressuriseur » Max1p avec les caractéristiques suivantes :

- seuil Max1p \square ,
- temps de réponse de la chaîne et de traitement du signal \square (délai maximisé),
- délai d'isolement de la charge : délai maximal \square .

Ces hypothèses visent à maintenir la charge RCV en service le plus longtemps possible, ce qui est pénalisant vis-à-vis du refroidissement et de la dépressurisation du circuit primaire.

En cas de cumul MDTE, le RCV n'est pas valorisable. Cependant, son fonctionnement est considéré car celui-ci est pénalisant.

2.2.2.4. Hypothèses relatives aux systèmes et aux régulations

GMPP :

Lors de l'arrêt éventuel des GMPP, une décroissance de vitesse plus lente conduit à maintenir plus longtemps le refroidissement du circuit primaire, mais favorise également l'apport de bore dans le quart de cœur affecté par les grappes éjectée et bloquée. En fonction des cas, on considère donc soit une inertie minimisée des GMPP (vitesse de décroissance la plus rapide), soit une inertie maximisée (vitesse de décroissance la plus lente).

injection de sécurité :

Après sollicitation du signal IS, chaque ISMP disponible injecte effectivement en branche froide dès que la pression dans le circuit primaire le permet. Compte tenu de la maintenance préventive et de l'aggravant, trois pompes ISMP sur quatre sont disponibles.

On considère pour chacune de ces pompes ISMP un débit minimisé fonction de la pression primaire (voir sous-chapitre 15.1) afin de retarder l'arrivée de bore dans le cœur. Par ailleurs, on considère une concentration minimale de l'IRWST \square et une température minimale constante \square .

De manière pénalisante, la ligne RIS entre le clapet ISMP et le piquage dans le circuit primaire est initialement considérée à une concentration en bore égale à celle du primaire.

Les accumulateurs et l'injection de sécurité à basse pression ne sont pas sollicités au cours de cet accident.

système de borication de sécurité :

Après sollicitation du signal de démarrage du RBS, chaque train RBS disponible injecte effectivement en branche froide et ce, indépendamment de la pression dans le circuit primaire. Compte-tenu de l'absence de maintenance préventive sur le système RBS et de la prise en compte de l'aggravant sur une grappe bloquée en position haute, les deux trains RBS sont disponibles pour assurer la borication du primaire.

On considère pour chacun des trains RBS un débit minimisé \square et une concentration en bore naturel minimale \square (voir sous-chapitre 15.1) afin de retarder l'arrivée de bore dans le cœur et minimiser la quantité de bore injectée. D'autre part, une température minimale \square est considérée.

Par ailleurs, un même train RBS injectant dans deux boucles différentes, une dissymétrie de répartition des débits entre ces deux boucles reliées au même train est considérée. Un déséquilibre maximal \square est retenu de manière pénalisante.

eau alimentaire normale des GV :

Avant l'AAR, le débit ARE est régulé. Après l'AAR, les lignes à grand débit ARE sont isolées, les GV sont alors alimentés par les lignes à petit débit. Par conservatisme, les vannes réglantes des lignes à petit débit ARE sont supposées bloquées à leur ouverture maximale. Les caractéristiques du petit débit ARE sont donc les suivantes :

- Le débit ARE, fonction de la pression dans les GV, est maximisé afin d'accroître l'amplitude du refroidissement du circuit primaire (voir tableau [TAB-15.2.4e.18](#)).
- La température d'injection suit un profil enveloppe minimisé, prenant en compte la vidange des lignes ARE (voir tableau [TAB-15.2.4e.19](#)) :
 - Le volume des lignes ARE entre la sortie des réchauffeurs et les GV est considéré à la température ARE nominale avant AAR, c'est-à-dire à la température initiale de l'ARE. Cette température est fonction de la puissance primaire initiale.
 - Le volume des lignes ARE entre la bache alimentaire et la sortie des réchauffeurs est considéré à la température nominale de la bache alimentaire avant AAR. Cette température est fonction de la puissance primaire initiale.
 - Le volume de la bache alimentaire est considéré à la température minimale de cette bache.

eau alimentaire de secours des GV :

Tous les trains ASG sont disponibles. Chaque train ASG considéré injecte un débit maximal \square à la température minimale \square . Ces caractéristiques sont considérées pour maximiser l'intensité du refroidissement par l'ASG.

prise en compte des régulations :

La régulation de niveau dans le pressuriseur par le système RCV est prise en compte car elle permet le maintien en pression du circuit primaire, retardant ainsi l'atteinte des signaux de démarrage du RBS et de l'IS. D'autre part, elle favorise le refroidissement du circuit primaire (température de charge minimisée).

La régulation de niveau GV par l'ARE est prise en compte avant l'AAR de manière simplifiée (débit ARE égal au débit vapeur). Les conditions thermohydrauliques dans les GV évoluant peu, l'influence de la régulation sur cette phase de l'accident est négligeable. Après l'AAR, la régulation n'est pas considérée. De manière pénalisante, quel que soit le niveau de puissance initial, on considère que les vannes de contrôle des lignes à petit débit ARE sont à leur ouverture maximale dans l'intervalle de temps entre l'AAR et l'arrêt du petit débit ARE.

Les autres régulations ne sont pas prises en compte car elles ont soit un impact favorable, soit un impact négligeable sur l'accident.

injection aux joints des pompes primaires :

L'IJPP est considérée en service tout au long de l'accident. Cette hypothèse tend en effet à ralentir la dépressurisation du circuit primaire, retardant ainsi l'atteinte des signaux de démarrage du RBS et de l'IS.

Par ailleurs, la continuité de fonctionnement du RCV n'étant pas assurée en cas de signal IS ou de MDTE, l'IJPP pourrait être considérée comme inopérante, entraînant ainsi une fuite aux joints des GMPP \square . Ce débit de fuite serait néanmoins favorable (cf. [§ 2.2.2.5](#) pour chacune des configurations étudiées) et n'est donc pas pris en compte.

2.2.2.5. Tailles de brèches considérées

La taille de brèche maximale résultant de l'évènement initiateur est de \square cm² (rupture de l'enceinte d'un mécanisme de commande de grappe au niveau de ses soudures ou de ses goujons).

Afin de couvrir l'ensemble des tailles de brèches possibles, la taille de brèche minimale considérée est 0 cm² (cas d'éjection de grappe ne créant pas de brèche).

Conformément à la démarche d'étude de la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe \square , les plus petites tailles de brèches du spectre sont les plus pénalisantes car :

- Plus la taille de brèche augmente, plus la dépressurisation primaire est importante ce qui implique que :
 - Le signal IS est sollicité plus tôt, le refroidissement partiel est donc sollicité plus tôt, et notamment en cours de refroidissement par les lignes à petit débit ARE. Ceci induit une augmentation des débits ARE sous l'effet de la baisse de pression du GV consécutive au refroidissement partiel et donc une amplification du refroidissement par les lignes à petit débit ARE.
 - La pression de refoulement des pompes ISMP est atteinte plus tôt et la dépressurisation étant plus importante, l'injection de bore est donc plus précoce et la quantité de bore injectée est plus importante.
- L'impact de l'injection de bore plus précoce et plus importante est prépondérant sur l'impact de l'amplification du refroidissement par les petits débits ARE couplés au refroidissement partiel automatique.

Suivant l'AAR considéré, la taille de brèche pénalisante est différente.

petite brèche pénalisante pour les cas sollicitant l'AAR sur signal « $d\phi/dt$ élevé » :

La démarche d'étude \square identifie comme enveloppe le cas d'éjection de grappe ne créant pas de brèche car cette configuration ralentit la dépressurisation du primaire (les seuils de démarrage RBS et IS ne sont pas atteints). Le refroidissement provoqué par l'ARE, cumulé au niveau de pression primaire élevé, pénalise la marge à la criticité.

En ce qui concerne le cumul du MDTE pour une éjection de grappe sollicitant l'AAR sur signal « $d\phi/dt$ élevé » :

- S'il intervient à l'instant initial (confondu avec l'instant d'AAR), il conduit à l'arrêt immédiat de l'ARE, ce qui est favorable.
- S'il intervient sur signal d'IS, la taille de brèche est donc suffisante pour provoquer le signal IS (de l'ordre de quelques cm²). L'arrêt du débit dans les boucles ralentit l'arrivée du bore dans le cœur, ce qui est pénalisant, mais cet effet est contrebalancé par le caractère favorable d'une brèche de taille non nulle par rapport à un cas d'éjection de grappe sans brèche.

Au global, les configurations pénalisantes pour les cas d'AAR par signal « $d\phi/dt$ élevé » sont :

- une éjection de grappe ne créant pas de brèche et sans cumul du MDTE,
- une éjection de grappe créant la plus petite brèche entraînant la sollicitation du signal IS \square , avec cumul du MDTE sur signal IS.

Dans les deux cas, on retient donc la taille de brèche la plus petite envisageable comme brèche pénalisante. Pour cette raison, la fuite aux joints des GMPP (cf. § 2.2.2.4.) n'a pas été considérée, car elle conduirait à une brèche primaire de taille plus élevée, ce qui serait favorable.

petite brèche pénalisante pour les cas sollicitant l'AAR sur signal « Basse Pression Pressuriseur » ou « Basse Pression Branche Chaude » :

De la même manière que pour les brèches sollicitant l'AAR sur signal « $d\phi/dt$ élevé », la démarche d'étude identifie comme enveloppe la plus petite brèche provoquant une dépressurisation suffisante pour solliciter l'AAR sur signal « Basse Pression Pressuriseur » ou « Basse Pression Branche Chaude ». Avec les hypothèses décrites dans les paragraphes précédents, il s'agit d'une brèche de cm^2 .

En ce qui concerne le cumul du MDTE :

- S'il intervient à l'instant initial ou à l'instant d'AAR), il écourte sensiblement la phase d'injection par l'ARE, ce qui est favorable.
- S'il intervient sur signal d'IS, l'arrêt du débit dans les boucles ralentit l'arrivée du bore dans le cœur, ce qui est pénalisant par rapport à un cas sans MDTE. En revanche, la phase d'injection par les débits ARE est écourtée.

Au global, les configurations pénalisantes pour les cas d'AAR par signal « Basse Pression Pressuriseur » ou « Basse Pression Branche Chaude » sont :

- une éjection de grappe créant une brèche de cm^2 et sans cumul du MDTE,
- une éjection de grappe créant une brèche de cm^2 avec cumul du MDTE sur signal IS.

Dans les deux cas, on retient donc la taille de brèche la plus petite envisageable comme brèche pénalisante. Pour cette raison, la fuite aux joints des GMPP (cf. [§ 2.2.2.4.](#)) n'a pas été considérée, car elle conduirait à une brèche primaire de taille plus élevée, ce qui serait favorable.

2.2.2.6. Traitement du cumul MDTE

Cet aspect a été traité dans le [§ 2.2.2.5.](#)

2.2.3. Hypothèses des calculs neutroniques

Les hypothèses des bilans neutroniques sont déterminées de manière à minimiser la marge à la criticité au cours de l'accident.

conditions thermohydrauliques initiales et finales

Les calculs de marge à la criticité sont réalisés en prenant en compte un découplage entre les conditions initiales et les conditions finales du calcul.

Les conditions initiales en température du calcul de marge à la criticité retenues sont les températures du programme de température au débit thermohydraulique avec % de bouchage de tubes GV. La température est maximisée et par conséquent pénalisante vis-à-vis des calculs de marge à la criticité (variation de température entre l'état initial et l'état final maximisée).

Les conditions finales des calculs sont des conditions en température, CB et pression directement issues des transitoires thermohydrauliques. Ces derniers ont été pénalisés de manière à minimiser la marge à la criticité (température minimale notamment).

insertion des grappes

Les grappes sont insérées à leurs IL. Les jeux d'IL relatifs à la première gestion FA3 sont donnés dans le sous-chapitre 15.1. Ces jeux d'IL ont été dimensionnés sur les plages de BU suivantes (voir tableau [TAB-15.2.4e.13](#)) :

- DVX-MDV,
- MDV- % FDV,
- % FDV-FDV,
- prolongation de cycle.

Après l'arrêt d'urgence, le cœur est en configuration TGI-2 (grappe éjectée et aggravant). Les couples de grappes les plus anti-réactifs sont considérés hors du cœur. □.

niveau de puissance initial

Tous les niveaux de puissance sont analysés de 0 % PN (attente à chaud) à 100 % PN □. Les conditions de calculs des transitoires thermohydrauliques sont cohérentes avec le niveau de puissance du calcul de marge à la criticité dont les conditions initiales sont données dans le tableau [TAB-15.2.4e.11](#).

burn-Up

Le respect du critère de non retour en criticité doit être vérifié sur l'ensemble des cycles de la première gestion FA3. L'épuisement d'un cycle est étudié en cinq instants : DVX, MDV, □ % FDV, FDV et le premier pas de prolongation de cycle □.

Le BU pénalisant pour chaque jeu d'IL a été défini □.

apport de bore

Les transitoires thermohydrauliques sont réalisés avec une CB initiale nulle. Cela correspond à un accident initié en FDV ou en prolongation de cycle.

Pour les autres BU - DVX, MDV et □ % FDV - la CB initiale est non nulle.

L'apport de bore (ΔCB) obtenu au cours des transitoires FDV est appliqué aux autres BU moyennant une pénalisation supplémentaire pour corriger ce ΔCB .

En effet, pour un volume donné de bore apporté par le RIS et/ou le RBS, le ΔCB obtenu en FDV sera plus important que le ΔCB obtenu en DVX du fait d'une CB initiale plus importante en DVX.

Cette pénalité est à appliquer uniquement aux transitoires dont l'instant de marge minimale à la criticité prend en compte un apport de bore.

incertitudes, pénalités et provision

Les incertitudes, pénalités et provisions sont synthétisées dans les tableaux [TAB-15.2.4e.14](#) à [TAB-15.2.4e.16](#).

Les marges à la criticité sont calculées □ :

□

Concernant les state-points dont la marge minimale à la criticité prend en compte un apport de bore par le RIS et/ou le RBS, une incertitude □ est prise en compte. Elle est directement appliquée sur l'apport en bore dans le calcul neutronique.

2.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

La phase long terme n'est pas explicitement traitée par calcul mais est traitée par un argumentaire basé sur d'autres événements. L'analyse de cette phase est présentée au [§ 3.3](#).

2.4. ANALYSES THERMOMÉCANIQUES SPÉCIFIQUES

2.4.1. Puissance initiale non nulle

L'analyse consiste à comparer les déformations de la gaine imposées par la pastille lors des accidents d'éjection de grappe initiés à différents niveaux de puissances initiales à celles obtenues pour les

accidents initiés à puissance nulle, et à démontrer que ces derniers sont les plus pénalisants. L'analyse couvre les taux de combustion autorisés.

Le post-calcul thermomécanique consiste à réaliser un calcul complet depuis l'irradiation en base du crayon de combustible en utilisant l'historique enveloppe de conception de la gestion EPR FA3 jusqu'au transitoire d'éjection de grappe. Les transitoires retenus sont les transitoires maximisant la variation d'enthalpie pour plusieurs niveaux de puissance initiale afin de maximiser la déformation de la gaine.

Les transitoires maximisant les variations d'enthalpie, pour chaque niveau de puissance initiale, sont identifiés pour les taux de combustion d'intérêt [1]. Les déformations tangentielles permanentes en paroi externe de gaine correspondant à ces transitoires sont évaluées [2] et comparées à la déformation tangentielle permanente obtenue à puissance nulle.

[1]

2.4.2. Effet du conditionnement mécanique

L'analyse consiste à comparer la déformation de la gaine imposée par la pastille lors du transitoire d'éjection de grappe initié [1] maximisant la variation d'enthalpie pour l'état de conditionnement mécanique le plus sollicitant à celle obtenue pour le transitoire initié à puissance nulle, et à démontrer que ce dernier est le plus pénalisant.

L'état de conditionnement mécanique pré-transitoire le plus sollicitant est déterminé en supposant un Fonctionnement Prolongé à Puissance Intermédiaire [2].

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR A L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME

3.1.1. Cas d'éjection de grappe sollicitant les protections de premier niveau (protections neutroniques spécifiques)

L'accident d'éjection de grappe est simulé en éjectant la grappe en [1] seconde. Cela entraîne un apport de réactivité rapide avec des pics de puissance locale élevés. L'excursion de puissance associée est limitée par la contre-réaction Doppler due à l'augmentation de la température du combustible puis le transitoire se termine de manière définitive par l'action du système de protection du réacteur.

La sélection des cas pénalisants conduit à définir deux groupes de cas : le premier groupe représente les cas pénalisants pour les calculs thermohydrauliques et pour les calculs thermiques au point chaud et le second groupe représente les cas pénalisants pour les calculs thermiques à haut burn-up.

Comme indiqué au § 2.1., la sélection des cas pénalisants s'appuie sur une présélection des cas d'intérêt basée sur les données neutroniques spécifiques pénalisées. Cette présélection est illustrée en figure FIG-15.2.4e.1 pour le cas le plus pénalisant vis-à-vis du critère de température de gaine à haut burn-up [1] et en figure FIG-15.2.4e.2 pour le cas le plus pénalisant vis-à-vis du critère de nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition [2]. Sur chacune de ces figures apparaissent l'ensemble des cas d'éjection de grappe, les cas présélectionnés et le cas pénalisant vis-à-vis du critère technique d'acceptation à vérifier, identifié à l'issue de la phase de sélection des cas pénalisants.

Les cas pénalisants sont ensuite repris avec des provisions pour démontrer le respect des critères techniques d'acceptation de façon générique : les valeurs limitatives des paramètres faisant l'objet d'un critère technique d'acceptation, obtenues durant les transitoires sont récapitulées dans les tableaux TAB-15.2.4e.4 et TAB-15.2.4e.5. [1] Les comportements en transitoire des paramètres significatifs sont tracés :

- en figure FIG-15.2.4e.3 pour le cas limitatif vis-à-vis des aspects thermiques au point chaud [1],

- en figure [FIG-15.2.4e.4](#) pour le cas limitatif vis-à-vis du nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition [],
- en figure [FIG-15.2.4e.5](#) pour le cas limitatif vis-à-vis de la variation d'enthalpie à haut burn-up [],
- en figure [FIG-15.2.4e.6](#) pour le cas limitatif vis-à-vis de la température de gaine à haut burn-up [].

[]

étude de sensibilité au débit initial et à la prise en compte du cumul de Manque De Tension Externe (MDTE) :

- Le cas limitatif vis-à-vis de la température et de l'enthalpie combustible au point chaud [] et le cas limitatif vis-à-vis de la variation d'enthalpie combustible à haut burn-up [] sont repris en considérant un débit initial maximal et constant au cours de l'accident (cette hypothèse est pénalisante vis-à-vis de la thermique combustible []).
- Les principales hypothèses des deux calculs de sensibilité réalisés sont listées dans le tableau [TAB-15.2.4e.7](#). Les valeurs limitatives des paramètres faisant l'objet d'un critère technique d'acceptation, obtenues durant les transitoires sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.4e.7](#), sachant que les comportements en transitoire des paramètres significatifs sont similaires à ceux tracés en figures [FIG-15.2.4e.3](#) et en figure [FIG-15.2.4e.5](#).
- Le résultat de l'étude de sensibilité est que la prise en compte d'un débit initial maximal et constant au cours du transitoire est pénalisante vis-à-vis de la température, de l'enthalpie et de la variation d'enthalpie combustible []. [].

étude de sensibilité à l'incertitude sur le niveau de puissance initial pour les cas initiés à puissance intermédiaire :

- L'étude a été réalisée avec une incertitude sur le niveau de puissance []. Une étude de sensibilité a été réalisée afin de vérifier que la faible augmentation de l'incertitude [] à puissance intermédiaire (cf. sous-chapitre 15.1) a un impact mineur sur les conclusions de l'étude. Cette sensibilité a été effectuée sur les cas initiés à puissance intermédiaire présentant des marges faibles vis-à-vis des différents critères techniques d'acceptation, c'est-à-dire en pratique les cas limitatifs vis-à-vis du nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition [],
- Les maxima de nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition obtenus durant les transitoires sont récapitulés dans le tableau [TAB-15.2.4e.8](#), sachant que les comportements en transitoire des paramètres significatifs sont similaires à ceux tracés en figures [FIG-15.2.4e.4](#).
- Le résultat de l'étude de sensibilité est que l'écart constaté entre les marges obtenues avec les deux valeurs d'incertitude [] est faible, ce qui justifie la réalisation de la majorité de l'étude avec l'incertitude sur le niveau de puissance retenue initialement.

[]

Au final, l'analyse thermohydraulique aboutit à un nombre maximal de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition égal à []%.

L'analyse thermique au point chaud aboutit à une température maximale de gaine de [] °C, à une température maximale de combustible égale à [] °C (inférieure à la température de fusion du combustible), et à une enthalpie maximale dans le combustible de [] cal/g ([] J/g).

L'analyse thermique à burn-up intermédiaire aboutit à une variation d'enthalpie maximale dans le combustible [].

L'analyse thermique à haut burn-up aboutit à une température maximale de gaine de [] °C, à une variation d'enthalpie maximale dans le combustible de [] cal/g ([] J/g), à une largeur de pulse de puissance locale dans le crayon à mi-hauteur minimale de [] ms et à une épaisseur d'oxyde maximale de [] μm.

Les résultats obtenus montrent donc que, même avec des hypothèses très conservatives, les critères techniques d'acceptation et de sûreté correspondants sont satisfaits en cas d'accident d'éjection de grappe.

□

3.1.2. Cas d'éjection de grappe ne sollicitant pas les protections de premier niveau

L'analyse des transitoires qui ne sollicitent pas de protection neutronique (protection de premier niveau), mais qui sollicitent un AAR alternatif rapide □, permet de vérifier que le nombre maximal de crayons du cœur susceptibles d'entrer en crise d'ébullition reste inférieur à 10 %, que la température maximale de combustible reste inférieure à la température de fusion de l'oxyde d'uranium, et que la température maximale de gaine à haut burn-up reste inférieure à 700 °C.

L'analyse des transitoires qui ne sollicitent pas de protection neutronique, mais qui sollicitent un AAR tardif ou qui ne sollicitent pas d'AAR, aboutit à un RFTC minimal au cours du transitoire supérieur à □ DNBR_{DesignLimit}□. L'absence d'entrée en crise d'ébullition est donc vérifiée.

□

Finalement, les transitoires dont l'amplitude est suffisamment faible pour ne pas solliciter les protections neutroniques présentent davantage de marge vis-à-vis des critères techniques d'acceptation les plus limitatifs que les transitoires présentés au § 3.1.1., et dont l'amplitude est telle que la sollicitation des protections neutroniques est systématique.

3.2. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

3.2.1. Cas retenus

Conformément à l'analyse menée au § 2.2.2.5., les quatre configurations d'éjections de grappes suivantes sont retenues :

- éjection de grappe sollicitant l'AAR sur signal « $d\phi/dt$ élevé », sans cumul du MDTE, et ne créant pas de brèche,
- éjection de grappe sollicitant l'AAR sur signal « $d\phi/dt$ élevé », avec cumul du MDTE sur signal IS, et créant une brèche de □ cm²,
- éjection de grappe sollicitant l'AAR sur signal « Basse Pression Pressuriseur » ou « Basse Pression Branche Chaude », sans cumul du MDTE, et créant une brèche de □ cm²,
- éjection de grappe sollicitant l'AAR sur signal « Basse Pression Pressuriseur » ou « Basse Pression Branche Chaude », avec cumul du MDTE sur signal IS, et créant une brèche de □ cm².

Pour ces quatre configurations, les variations possibles des paramètres suivants ont été considérées :

- niveau de puissance initiale (de 0 à 100 % PN□),
- inertie des GMPP (minimale ou maximale),
- configurations de dissymétries d'injection du RBS entre boucles (cf. § 2.2.2.4.).

Pour chacune des quatre configurations, seul le cas pénalisant est présenté dans les sections suivantes.

3.2.2. Éjection de grappe sollicitant l'AAR sur signal « $d\phi/dt$ élevé »

3.2.2.1. Cas sans cumul du MDTE – Éjection de grappe ne créant pas de brèche

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4e.20](#) et les évolutions des paramètres physiques principaux de la tranche sont données à la figure [FIG-15.2.4e.9](#).

Pour cet accident, le niveau de puissance initial le plus pénalisant est \square % PN. Le choix de la pression primaire initiale a un faible impact ; celle-ci a donc été prise nominale. L'arrêt des GMPP n'ayant pas lieu, et le seuil d'injection du RBS par basse pression pressuriseur n'étant pas atteint, les hypothèses concernant l'inertie des GMPP et la dissymétrie d'injection du RBS n'ont pas d'impact.

L'AAR a lieu à l'instant de l'initiateur sur signal « $d\phi/dt$ élevé ». Suite à ce signal, les lignes à grand débit ARE sont isolées et la turbine est déclenchée.

Le circuit primaire subit alors un refroidissement important car les vannes des lignes à petit débit ARE sont supposées à leur pleine ouverture (cf. § 2.2.2.4.). Ce refroidissement se poursuit jusqu'à l'isolement total de l'ARE sur signal « Haut Niveau GV » MaxOp \square .

Parallèlement, le refroidissement entraîne une dépressurisation du circuit primaire, qui n'est pas suffisante pour que les seuils de démarrage du système RBS et RIS soient sollicités (respectivement sur seuils « Basse Pression Pressuriseur » Min4p et Min3p). Aucune injection de bore ne se produit donc sur cet accident. La décharge RCV est isolée \square sur seuil « Bas Niveau Pressuriseur » Min2.

Suite à l'isolement total de l'ARE, l'échange aux GV s'interrompt et le circuit primaire remonte en température sous l'effet de la puissance dissipée par les GMPP et les masses métalliques dans le fluide primaire. Cette remontée en température, conjuguée à l'injection par la charge RCV, conduit à une remontée en pression du circuit primaire. À plus long terme, les soupapes du pressuriseur pourraient être sollicitées pour écrêter la pression primaire.

Le minimum de marge à la criticité \square est atteint à 270 s, peu après l'isolement complet de l'ARE. Les conditions thermohydrauliques à l'instant pénalisant sont données dans le tableau [TAB-15.2.4e.11](#).

3.2.2.2. Cas avec cumul du MDTE – Éjection de grappe créant une brèche de \square cm²

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4e.21](#) et les évolutions des paramètres physiques principaux de la tranche sont données à la figure [FIG-15.2.4e.10](#).

Pour cet accident, le niveau de puissance initial le plus pénalisant est \square % PN. Ce cas est également pénalisé par une inertie minimisée des GMPP et par une configuration d'injection dissymétrique RBS \square , la boucle 1 étant celle dont le train IS est indisponible du fait de la maintenance préventive.

La pression primaire initiale a été maximisée afin de retarder le signal IS et de maximiser la quantité d'ARE injectée au cours de l'accident (celle-ci étant arrêtée consécutivement au MDTE, qui est cumulé à l'instant du signal IS).

L'AAR a lieu à l'instant de l'initiateur sur signal « $d\phi/dt$ élevé ». Suite à ce signal, les lignes à grand débit ARE sont isolées et la turbine est déclenchée.

Le circuit primaire subit alors un refroidissement important car les vannes des lignes à petit débit ARE sont supposées à leur pleine ouverture (cf. § 2.2.2.4.). La décharge RCV est isolée \square sur seuil « Bas Niveau Pressuriseur » Min2.

Parallèlement, le refroidissement, conjugué à l'effet de la brèche, entraîne une dépressurisation du circuit primaire, qui conduit à l'atteinte du seuil de démarrage du RBS \square , puis du signal IS à 244 s (respectivement sur seuils « Basse Pression Pressuriseur » Min4p et Min3p). Ce dernier entraîne l'isolement de la charge RCV \square et la mise en service du refroidissement partiel automatique.

Le cumul du MDTE sur signal IS entraîne l'arrêt complet de l'ARE par perte des pompes ARE, le signal de « Haut Niveau GV GE » MaxOp n'ayant pas été sollicité. Suite à l'arrêt de l'ARE, la température primaire se stabilise, puis le refroidissement reprend sous l'effet de l'IS et du refroidissement partiel automatique dans une moindre mesure.

Le bore, injecté par les systèmes RBS et RIS, arrive dans le cœur vers 593 s, soit après l'instant critique de l'accident. En effet, le minimum de marge à la criticité est atteint à 285 s, soit peu après l'arrêt complet de l'ARE \square . Les conditions thermohydrauliques à l'instant pénalisant sont données dans le tableau [TAB-15.2.4e.11](#).

À l'issue de la temporisation sur le signal « IS + MDTE », le niveau d'eau dans les GV restant proche du seuil « Haut Niveau GV GL » Max1p, l'ASG est soit isolée, soit injecte pendant une phase très courte. Aucun refroidissement notable par l'ASG n'est donc observé.

3.2.3. Éjection de grappe sollicitant l'AAR sur signal « Basse Pression Pressuriseur » ou « Basse Pression Branche chaude »

3.2.3.1. Cas sans cumul du MDTE – Éjection de grappe créant une brèche de \square cm²

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4e.22](#) et les évolutions des paramètres physiques principaux de la tranche sont données à la figure [FIG-15.2.4e.11](#).

Pour cet accident, le niveau de puissance initial le plus pénalisant est \square % PN. L'arrêt des GMPP n'ayant pas lieu, l'hypothèse sur l'inertie des GMPP n'a pas d'impact. Par ailleurs, les GMPP restant en service, le choix de la configuration d'injection dissymétrique du RBS a un impact négligeable. En cohérence avec le cas avec cumul du MDTE présenté au [§ 3.2.3.2.](#), on choisit une configuration d'injection dissymétrique du RBS \square , la boucle 1 étant celle dont le train IS est indisponible du fait de la maintenance préventive.

La pression primaire initiale a été maximisée afin de retarder le signal d'AAR et de maximiser le refroidissement du circuit primaire par le RCV avant l'AAR.

Suite à l'apparition de la brèche créée par l'éjection de grappe, le circuit primaire se dépressurise consécutivement à la vidange du pressuriseur. Pour contrecarrer cette vidange, le débit de charge RCV augmente sous l'effet de la régulation de niveau pressuriseur (notamment, la deuxième pompe de charge est mise en service), entraînant un léger refroidissement du circuit primaire. La décharge RCV est isolée \square sur seuil « Bas Niveau Pressuriseur » Min2.

La dépressurisation du circuit primaire conduit à l'atteinte du seuil d'AAR par « Basse Pression Pressuriseur » Min2p à 1069 s, qui provoque l'isolement des lignes à grand débit ARE et le déclenchement de la turbine.

Le circuit primaire subit alors un refroidissement important car les vannes des lignes à petit débit ARE sont supposées à leur pleine ouverture (cf. [§ 2.2.2.4.](#)). La dépressurisation se poursuit, ce qui conduit à l'atteinte du seuil de démarrage du RBS \square , puis du signal IS à 1189 s (respectivement sur seuils « Basse Pression Pressuriseur » Min4p et Min3p). Ce dernier entraîne l'isolement de la charge RCV \square et la mise en service du refroidissement partiel automatique.

Le refroidissement du circuit primaire se poursuit jusqu'à l'isolement total de l'ARE sur signal « Haut Niveau GV » Max0p \square . Suite à cet isolement, le circuit primaire se réchauffe sous l'effet de la puissance dissipée par les GMPP et les masses métalliques dans le fluide primaire, jusqu'à ce que la température du circuit primaire redevienne supérieure à la température de saturation du circuit secondaire (vers 1650 s). À partir de cet instant, le circuit secondaire pilote la température du circuit primaire et la température primaire diminue jusqu'à l'atteinte de la pression de consigne de fin de refroidissement partiel automatique (vers 1700 s).

L'arrivée dans le cœur du bore injecté par le RBS et l'IS permet de faire augmenter fortement la marge à la criticité.

Le bore, injecté par les systèmes RBS et RIS, arrive dans le cœur à 1320 s. Le minimum de marge à la criticité est atteint à cet instant \square . Les conditions thermohydrauliques à l'instant pénalisant sont données dans le tableau [TAB-15.2.4e.11](#).

3.2.3.2. Cas avec cumul du MDTE – Éjection de grappe créant une brèche de \square cm²

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4e.23](#) et les évolutions des paramètres physiques principaux de la tranche sont données à la figure [FIG-15.2.4e.12](#).

Pour cet accident, le niveau de puissance initial le plus pénalisant est \square % PN. Le choix de la pression primaire initiale a un faible impact ; celle-ci a donc été prise nominale. Ce cas est également pénalisé

par une inertie maximisée des GMPP et par une configuration d'injection dissymétrique RBS , la boucle 1 étant celle dont le train IS est indisponible du fait de la maintenance préventive.

Suite à l'apparition de la brèche créée par l'éjection de grappe, le circuit primaire se dépressurise consécutivement à la vidange du pressuriseur. Pour contrecarrer cette vidange, le débit de charge RCV augmente sous l'effet de la régulation de niveau pressuriseur (notamment, la deuxième pompe de charge est mise en service), entraînant un léger refroidissement du circuit primaire. La décharge RCV est isolée sur seuil « Bas Niveau Pressuriseur » Min2.

La dépressurisation du circuit primaire conduit à l'atteinte du seuil d'AAR par « Basse Pression Pressuriseur » Min2p à 769 s, qui provoque l'isolement des lignes à grand débit ARE et le déclenchement de la turbine.

Le circuit primaire subit alors un refroidissement important car les vannes des lignes à petit débit ARE sont supposées à leur pleine ouverture (cf. § 2.2.2.4.). La dépressurisation se poursuit, ce qui conduit à l'atteinte du seuil de démarrage du RBS , puis du signal IS à 862 s (respectivement sur seuils « Basse Pression Pressuriseur » Min4p et Min3p). Ce dernier entraîne l'isolement de la charge RCV et la mise en service du refroidissement partiel automatique.

Le cumul du MDTE sur signal IS entraîne l'arrêt complet de l'ARE par perte des pompes ARE, le signal de « Haut Niveau GV GE » Max0p n'ayant pas été sollicité. Suite à l'arrêt de l'ARE, la température primaire se stabilise, puis le refroidissement primaire reprend sous l'effet de l'IS et du refroidissement partiel automatique.

L'arrivée dans le cœur du bore injecté par le RBS et le RIS à 1233 s a un effet favorable sur la marge à la criticité, mais la vidange du tronçon IS initialement à la concentration en bore du primaire fait diminuer la concentration en bore de l'eau dans le cœur. À l'issue de cette vidange, la concentration en bore augmente à nouveau, de même que la marge à la criticité.

À l'issue de la temporisation sur le signal « IS + MDTE », l'ASG démarre dans tous les GV, induisant un refroidissement supplémentaire du circuit primaire. Cependant, la concentration en bore du cœur est à ce moment suffisante, et la marge à la criticité reste importante.

Le minimum de marge à la criticité est atteint à 1460 s, au moment du passage dans le cœur du tronçon IS initialement à la concentration en bore du primaire. Les conditions thermohydrauliques à l'instant pénalisant sont données dans le tableau [TAB-15.2.4e.11](#).

Nota : Pour ce transitoire, contrairement aux trois autres cas présentés précédemment, le minimum de marge à la criticité est atteint à un instant où du bore est présent dans le cœur. Ce transitoire est donc concerné par la pénalité $P_{\Delta CB}$ pour les BU DVX, MDV et % FDV. Malgré cette pénalité, le cas dimensionnant reste porté par le BU FDV.

3.2.4. Prise en compte de modifications complémentaires en cohérence avec l'état final de conception

Prise en compte de l'échauffement des colonnes de référence

L'échauffement des colonnes de référence consécutif à des conditions d'ambiance accidentelle implique l'apparition d'un biais sur la mesure, non pris en compte dans le remontage d'incertitudes des mesures de niveau. L'ajout de ce poste supplémentaire peut conduire à un dépassement du requis en ambiance dégradée pris en compte dans cette étude.

Une analyse d'impact a été menée et a démontré l'absence d'impact sûreté de cette modification. La prise en compte de l'échauffement des colonnes de référence ne remet donc pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation présentés au § 1.3..

Augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA

Dans la démonstration de sûreté, l'aggravant pénalisant pour l'EDG MT est une grappe bloquée en position haute. L'aggravant sur une vanne VDA bloquée ouverte est traitée par argumentaire.

Une relaxation du requis du temps de fermeture VI-VDA \square a été réalisée. L'analyse d'impact \square permet de justifier l'acceptabilité de l'impact de cette relaxation de critère sur les scénarios traités dans cette section. L'augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA ne remet pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.3.](#)

3.2.5. Conclusion

Les valeurs de marges minimales à la criticité pour les quatre cas présentés ci-dessus sont récapitulées dans le tableau [TAB-15.2.4e.24.](#)

Le respect du critère technique d'acceptation de non-retour en criticité est donc assuré pour l'aspect moyen terme de l'accident d'éjection de grappe avec une marge \square . Le cœur est donc sous-critique : keff < 1,0.

Par ailleurs, le respect des critères suivants justifie l'atteinte de l'état contrôlé :

- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à moyen terme par les générateurs de vapeur.
- Vis-à-vis de l'inventaire en eau du primaire et des rejets radiologiques, l'accident d'EDG MT est couvert par les sections 15.2.3e1 et 15.2.4f1 qui étudient l'ensemble des brèches primaires en état A et pour lesquelles les critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP sont respectés. Les rejets radiologiques restent tolérables.

3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME

3.3.1. Respect des critères techniques d'acceptation

Les critères techniques d'acceptation justifiant l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont les suivants :

- Le cœur est sous-critique : keff < 0,99 (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RRI/SEC ou ISBP/RRI/SEC » et « rejets radiologiques/intégrité des barrières » pour les limites PCC et les raisons pour lesquelles ces accidents sont enveloppés par rapport à l'EDG sont listées ci-dessous, pour les cas sans et avec cumul MDTE.

sous-criticité

L'éjection de grappe est couverte par le transitoire de dilution provoquée par une défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (voir section 15.2.2r). Dans tous les cas de brèches – déclenchant ou non un refroidissement partiel avant l'atteinte de l'état contrôlé – l'EDG conduit en effet :

- à un état contrôlé où la sous-criticité initiale est plus importante que pour l'accident de mauvais fonctionnement du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire,
- ou à un état contrôlé sous-critique, correspondant à la fin du refroidissement partiel automatique, à partir duquel l'apport de réactivité lors du refroidissement jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr sera plus faible que dans le cas de l'accident de défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire.

évacuation de la puissance résiduelle

L'éjection de grappe est couverte par l'accident de rupture de tuyauterie d'eau alimentaire, dans lequel le rapport puissance à évacuer sur capacité de refroidissement est plus élevé (voir section 15.2.4c). En effet, contrairement à la rupture de tuyauterie d'eau alimentaire, l'éjection de grappe n'induit aucune perte de débit ASG envoyé vers les GV. Par ailleurs la brèche et l'IS permettent d'évacuer une partie supplémentaire de la puissance résiduelle.

rejets radiologiques/Intégrité des barrières :

L'éjection de grappe est couverte par l'APRP brèches intermédiaires (voir section 15.2.4f1). Pour cet accident, la taille de la brèche du circuit primaire est supérieure à la taille de brèche maximale prise en compte dans l'accident d'éjection de grappe. Par conséquent, la dégradation de l'inventaire en eau est moins importante dans le cas de l'EDG. Les critères de rejets radiologiques et d'intégrité des barrières étant respectés pour l'accident APRP brèche intermédiaire, ils le sont aussi pour l'accident EDG.

3.3.2. Description de la conduite

Ce paragraphe vise à décrire la conduite à long terme du transitoire d'éjection de grappe avec maintien du RCV pour des transitoires ne créant pas de brèche primaire, ou créant une brèche primaire compensable par le RCV, avec un risque de rupture de gaine sollicitant le signal HAP (Haute Activité Primaire).

La conduite post-accidentelle est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4e.25](#) en fonction de l'accident étudié :





- accident avec/sans rupture de gaine,
- accident sans ou avec signal d'AAR,
- accident sans brèche ou avec une brèche compensable par le RCV.

Le RCV est supposé fonctionner. Dans le cas contraire et dans les cas où la brèche induite n'est pas compensable par le RCV, les situations de brèches entraîneraient l'atteinte du signal IS sur basse pression pressuriseur : un repli dans la règle de Passage en Arrêt à Froid avec IS serait alors demandé.

De plus, en cas de rupture de gaine, le signal « Haute Activité Primaire » (HAP) permet d'isoler les circuits non strictement nécessaires à la mitigation de l'accident et qui ne sont pas qualifiés à l'eau hautement active. Ainsi, en cas de signal HAP, la charge et la décharge RCV sont isolées.

Les procédures « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) », « Passage en Arrêt à froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » et « Passage en Arrêt à froid avec Injection de Sécurité (PAF avec IS) » sont décrites respectivement dans les [§ 3.3.2.1.](#), [§ 3.3.2.2.](#) et [§ 3.3.2.3.](#)

3.3.2.1. Conduite PER en CI

Dans la procédure PER en CI,  basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'obtenir la CB requise. Le circuit primaire est refroidi à 50 °C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et la CB > CB requise ou 2 trains RBS en service, ou à 25 °C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service. En cas de dégradation de la marge à la saturation,  une restauration du ΔT_{sat} . Le circuit primaire est dépressurisé. Sous les  barR, les accumulateurs RIS sont isolés. Lorsque le permissif P14 est activé, . L'état d'arrêt sûr est atteint.

3.3.2.2. PAF sans IS

Dans le cas où, avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, l'un des critères d'entrée vers la procédure PAF sans IS est rempli (comme une haute pression enceinte, ou une faible

marge à la saturation), [1]. Dans la procédure PAF sans IS, [1] afin d'obtenir la CB requise en arrêt à froid. Le circuit primaire est refroidi à 50 °C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la CB>CB requise en arrêt à froid, ou à 25 °C/h si 1 train RBS est en service et la CB<CB requise en arrêt à froid. En cas de dégradation de la marge à la saturation, [1] une restauration du ΔT_{sat} . Le circuit primaire est dépressurisé. Sous les [1] barR, les accumulateurs RIS sont isolés. Lorsque le permissif P14 est activé, [1]. L'état d'arrêt sûr est atteint.

3.3.2.3. PAF avec IS

Dans le cas où au moins un train IS est en service avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, [1]. Dans la procédure PAF avec IS, [1]. Le circuit primaire est refroidi à 50 °C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la CB> CB requise en arrêt à froid ou si la marge à la saturation est faible ($\Delta T_{sat} < \epsilon$), ou à 25 °C/h si 1 train RBS est en service. En cas de dégradation de la marge à la saturation, l'opérateur effectue une restauration du ΔT_{sat} . La ligne à grand débit minimum est ouverte sur les trains ISMP successivement de manière à atteindre les conditions d'apparition du permissif P14. Les accumulateurs RIS sont isolés sous les [1] barR ou dès [1] barR si la marge à la saturation est supérieure à ϵ . Après la validation du permissif P14, [1].

3.4. ANALYSES THERMOMÉCANIQUES SPÉCIFIQUES

3.4.1. Puissance initiale non nulle

Les déformations tangentielles permanentes en paroi externe de gaine correspondant aux transitoires initiés en puissance montrent que le cas de l'éjection de grappe initiée à 0% PN est le cas le plus pénalisant puisqu'il s'agit du cas conduisant au maximum de déformation permanente. Les résultats détaillés sont présentés dans le tableau [TAB-15.2.4e.10](#).

3.4.2. Effet du conditionnement mécanique

L'état de conditionnement mécanique le plus sollicitant est obtenu en considérant une phase pénalisante de déconditionnement [1] suivi d'un reconditionnement du crayon[1].

L'application du transitoire d'éjection de grappe limitatif [1] (cf. tableau [TAB-15.2.4e.10](#)) conduit à une déformation tangentielle permanente en paroi externe de gaine [1] inférieure à la déformation de référence évaluée à puissance nulle[1].

La déformation obtenue pour le transitoire maximisant la variation d'enthalpie [1] pour l'état de conditionnement mécanique le plus sollicitant est donc inférieure à la déformation de référence évaluée à puissance nulle.

3.5. CONCLUSION GÉNÉRALE

En conclusion, tous les critères énoncés au [§ 1.3.](#) sont respectés, qu'il s'agisse des critères à court terme ([§ 3.1.](#)), de l'atteinte de l'état contrôlé ([§ 3.2.](#)) ou de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr ([§ 3.3.](#)).



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 37/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 38/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4E.1 PÉNALITÉS POUR MODELISATION DE
L'INERTIE THERMIQUE DE LA GAINÉ PÉNALITÉS
APPLIQUÉES FORFAITAIEMENT SUR LES RÉSULTATS
THERMIQUES DES CAS PROMPT-CRITIQUES**

□

TAB-15.2.4E.2 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES – ÉTUDE THERMOHYDRAULIQUE ET ÉTUDE THERMIQUE AU POINT CHAUD

□



□



□

TAB-15.2.4E.3 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME –PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES – ÉTUDE THERMIQUE À HAUT BURN-UP

□

TAB-15.2.4E.4 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RÉSULTATS – ÉTUDE THERMOHYDRAULIQUE ET ÉTUDE THERMIQUE AU POINT CHAUD

□



□



□



□

TAB-15.2.4E.5 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME - RÉSULTATS – ÉTUDE THERMIQUE À HAUT BURN-UP

□



□



□

**TAB-15.2.4E.6 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
– SENSIBILITÉ À L'UTILISATION DE MODÈLES
NEUTRONIQUES DE CŒUR - REPRÉSENTATIFS D'UN
FONCTIONNEMENT** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 51/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4E.7 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
- ÉTUDE THERMIQUE AU POINT CHAUD ET À HAUT BURN-
UP – SENSIBILITÉ AU DÉBIT ET À LA PRISE EN COMPTE
DU CUMUL DU MDTE**

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4E
			CHAPITRE	15	PAGE	52/84

TAB-15.2.4E.8 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ
– ÉTUDE COURT TERME - SENSIBILITÉ AU NIVEAU DE PUISSANCE INITIAL

□

TAB-15.2.4E.9 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ
– ÉTUDE COURT TERME - CONDITIONS THERMO-HYDRAULIQUES LOCALES A LA COTE DE
RFTC MINIMAL POUR LES CAS LIMITATIFS VIS-A-VIS DU CRITERE EN NCE

□

**TAB-15.2.4E.10 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME – RÉSULTATS SCANAIRES DE LA SIMULATION DES
TRANSITOIRES D'ÉTUDE MAXIMISANT LA VARIATION D'ENTHALPIE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 55/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4E.11 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME CONDITIONS INITIALES EN T°, DÉBIT ET
BYPASS DES CALCULS DE MARGE À LA CRITICITÉ**

□

TAB-15.2.4E.12 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 57/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4E.13 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME BU EN FONCTION DES CYCLES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 58/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4E.14 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME INCERTITUDES, PÉNALITÉS ET
PROVISIONS**

□

 EDF	FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4E
				CHAPITRE	15	PAGE	59/84

TAB-15.2.4E.15 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME PÉNALITÉS POUR MODÈLES PERTURBÉS

□

**TAB-15.2.4E.16 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME PÉNALITÉS POUR MODÈLES PERTURBÉS**

¶

¶



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 61/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

TAB-15.2.4E.17 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME CONDITIONS INITIALES DES CALCULS THERMOHYDRAULIQUES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 63/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4E.18 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME DÉBIT ARE APRÈS AAR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 64/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4E.19 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME TEMPÉRATURE ARE**

□

**TAB-15.2.4E.20 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT
L'AAR SUR SIGNAL « D Φ /DT ÉLEVÉ » CAS SANS CUMUL
DU MDTE ET SANS BRÈCHE SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENT**

Évènement	Instant (s)
Éjection de la grappe	5
Signal d'AAR	5
Isolement des lignes ARE à grand débit	□
Déclenchement turbine	□
Isolement de la décharge RCV	□
Isolement complet de l'ARE	□
Instant du minimum de marge à la sous-criticité	270

**TAB-15.2.4E.21 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT
L'AAR SUR SIGNAL « D Φ /DT ÉLEVÉ » CAS AVEC CUMUL
DU MDTE ET AVEC BRÈCHE DE \square CM² SÉQUENCE DES
ÉVÈNEME**

Évènement	Instant (s)
Ouverture de la brèche	5
Signal d'AAR	5
Isolement des lignes ARE à grand débit	\square
Déclenchement turbine	\square
Isolement de la décharge RCV	\square
Démarrage du RBS	\square
Signal IS	244
Isolement complet de l'ARE	\square
Isolement de la charge RCV	\square
Instant du minimum de marge à la criticité	285
Arrivée de la première ppm de bore dans le circuit primaire	546
Arrivée de la première ppm de bore dans le cœur	593

**TAB-15.2.4E.22 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT
L'AAR SUR SIGNAL « BASSE PRESSION
PRESSURISEUR » CAS SANS CUMUL DU MDTE ET AVEC
BRÈCHE DE 1 CM² SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

Évènement	Instant (s)
Ouverture de la brèche	5
Isolement de la décharge RCV	1
Signal d'AAR	1068,6
Isolement des lignes ARE à grand débit	1
Déclenchement turbine	1
Démarrage du RBS	1
Signal IS	1189
Isolement de la charge RCV	1
Isolement complet de l'ARE	1
Arrivée de la première ppm de bore dans le circuit primaire	1313
Arrivée de la première ppm de bore dans le cœur	1320
Instant du minimum de marge à la criticité	1320

**TAB-15.2.4E.23 ÉJECTION DE GRAPPE – DE
L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE
MOYEN TERME ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT
L'AAR SUR SIGNAL « BASSE PRESSION
PRESSURISEUR » CAS AVEC CUMUL DU MDTE ET AVEC
BRÈCHE DE \square CM² SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS**

Évènement	Instant (s)
Ouverture de la brèche	5
Signal d'AAR	\square
Isolement de la décharge RCV	773
Déclenchement turbine	\square
Isolement des lignes ARE à grand débit	\square
Démarrage du RBS	\square
Signal IS	862
Isolement complet de l'ARE	\square
Isolement de la charge RCV	\square
Arrivée de la première ppm de bore dans le circuit primaire	1176
Arrivée de la première ppm de bore dans le cœur	1233
Instant du minimum de marge à la criticité	1460
Démarrage ASG	\square

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4E
			CHAPITRE	15	PAGE	69/84

**TAB-15.2.4E.24 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME RÉSULTATS**

□

**TAB-15.2.4E.25 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉTAT
CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SUR – DESCRIPTION DE
LA CONDUITE À LONG TERME**

	Avec brèche primaire	Sans brèche primaire
Avec AAR	<p><u>Sans rupture de gaine :</u> Signal d'entrée en CIA = AAR sur taux élevé d'augmentation de flux nucléaire</p> <p>Réalisation d'un bilan de fuite primaire en CI :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <input type="checkbox"/> Repli en arrêt à froid aux conditions de connexion du RRA dans la règle de Passage en Arrêt à Froid sans IS. - Si aucune indication de fuite primaire n'apparaît : Borication en CI. Atteinte de la CB demandée (CB RRA) pour sortir de la CIA dans la règle de Borication en CI, puis sortie de la CIA depuis la règle de Stabilisation en CI. <p><u>Avec rupture de gaine :</u> Signal d'entrée en CIA = AAR sur taux élevé d'augmentation de flux nucléaire Signal « Haute Activité Primaire » (HAP) puis signal IS émis</p> <p>Repli dans la règle de Passage en Arrêt à Froid avec IS, ou de Passage en Etat de Repli en CI.</p>	<p><u>Sans rupture de gaine :</u> Signal d'entrée en CIA = AAR sur taux élevé d'augmentation de flux nucléaire</p> <p>Orientation en CI puis Borication en CI : borication par le RCV réalisée (borication <input type="checkbox"/> à débit maximal, décharge en service). Atteinte de la CB demandée (CB RRA pour pouvoir sortir de la CIA) dans la règle de Borication en CI, puis sortie de la CIA depuis la règle de Stabilisation en CI.</p> <p><u>Avec rupture de gaine :</u> Signal d'entrée en CIA = AAR sur taux élevé d'augmentation de flux nucléaire</p> <p>Application de la fiche spécifique « Isolements sur haute activité primaire », dans laquelle l'ensemble des lignes primaire véhiculant du fluide primaire hors enceinte sera confirmé isolé. Repli en arrêt à froid aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA dans la règle de Passage en Etat de Repli en CI.</p>

	Avec brèche primaire	Sans brèche primaire
Sans AAR	<p><u>Sans rupture de gaine :</u></p> <p>☐</p> <p>Réalisation d'un bilan de fuite primaire en CN :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ☐ une baisse de charge dans la règle Baisse de Charge en CA est amorcée puis un arrêt ☐ du réacteur. Un repli en arrêt à froid aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sera ensuite réalisé, en conduite accidentelle, dans la règle de Passage en Arrêt à Froid sans IS. - ☐ pas d'entrée en CIA. <p><u>Avec rupture de gaine :</u></p> <p>Dans ce cas, le signal « Haute Activité Primaire » (HAP) isole la charge et la décharge RCV, la brèche n'est donc plus compensée. L'AAR sur basse pression pressuriseur devrait être atteint et la conduite sera similaire au cas avec AAR, brèche primaire et rupture de gaine.</p>	<p><u>Sans rupture de gaine :</u></p> <p>Aucun critère d'entrée en CIA - Conduite non redevable de la conduite post-accidentelle.</p> <p><u>Avec rupture de gaine :</u></p> <p>Signal d'entrée en CIA = signal « Haute Activité Primaire » (HAP)</p> <p>Sans signal IS, Orientation en CI puis application de la fiche spécifique « Isolements sur haute activité primaire », dans laquelle l'ensemble des lignes primaire véhiculant du fluide primaire hors enceinte sera confirmé isolé. Un repli en arrêt à froid aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA sera alors demandé après une baisse de charge et un AAR réalisé dans la stratégie « Maintien en Puissance / Baisse de Charge en CI ».</p> <p>Repli dans la règle de Passage en Etat de Repli en CI jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.</p>



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 72/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4E.1 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
SÉLECTION DU CAS PÉNALISANT POUR L'ANALYSE THERMIQUE
À HAUT BURNUP** □

□

**FIG-15.2.4E.2 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME
SÉLECTION DU CAS PÉNALISANT POUR L'ANALYSE
THERMOHYDRAULIQUE** □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 74/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4E.3 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CAS
PÉNALISANT AU POINT CHAUD** □

□

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 75/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4E.4 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CAS
PÉNALISANT THERMOHYDRAULIQUE** □

□

□

□

**FIG-15.2.4E.5 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CAS
PÉNALISANT VIS-À-VIS DE LA VARIATION D'ENTHALPIE À HAUT
BURN-UP** □

□

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 77/84

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4E.6 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME CAS
PÉNALISANT VIS-À-VIS DE LA TEMPÉRATURE DE GAINÉ À HAUT
BURN-UP**

□

□

□

□

FIG-15.2.4E.7 DÉFINITION DU SCHÉMA DE GRAPPES – SÉQUENCE
N°1

□

FIG-15.2.4E.8 DÉFINITION DU SCHÉMA DE GRAPPES – SÉQUENCE
N°2

□

**FIG-15.2.4E.9 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « D Φ /DT
ÉLEVÉ » CAS SANS CUMUL DU MDTE ET SANS BRÈCHE –
ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES THERMOHYDRAULIQUES**

□

□

□

□

**FIG-15.2.4E.10 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « D Φ /DT
ÉLEVÉ » CAS AVEC CUMUL DU MDTE ET AVEC BRÈCHE DE []
ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES THERMOHYDRAULIQUES**

[]

[]

[]

[]

[]

**FIG-15.2.4E.11 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « BASSE
PRESSION PRESSURISEUR » CAS SANS CUMUL DU MDTE ET
AVEC BRÈCHE DE □ ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES
THERMOHYDRAULIQUES**

□

□

□

□

□

**FIG-15.2.4E.12 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
ÉJECTION DE GRAPPE SOLLICITANT L'AAR SUR SIGNAL « BASSE
PRESSION PRESSURISEUR » CAS AVEC CUMUL DU MDTE ET
AVEC BRÈCHE DE [] ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES
THERMOHYDRAULIQUES**

[]

[]

[]

[]

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4E

PAGE 84/84

CENTRALES NUCLÉAIRES


Palier EPR

**FIG-15.2.4E.13 ÉJECTION DE GRAPPE – DE L'ÉVÉNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE MOYEN TERME
VALEURS DU SEUIL « HAUT NIVEAU GV » MAX0P**

□

SOMMAIRE

.15.2.4F1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES

(ÉTAT A)	15
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT	15
2. CRITÈRES D'ÉTUDE	15
3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	16
3.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	17
3.2. MOYENS DE PROTECTION	18
3.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	19
3.3.1. SPECTRE DE BRÈCHES INTERMÉDIAIRES	19
3.3.2. RUPTURES GUILLOTINES DES PLUS GROSSES TUYAUTERIES CONNECTÉES AU CIRCUIT PRIMAIRE	19
3.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS	19
3.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	19
3.5.1. ÉTAT INITIAL	19
3.5.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	20
3.5.3. HYPOTHÈSES CŒUR	20
3.5.4. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	20
3.5.5. HYPOTHÈSES PROTECTIONS	21
3.6. RÉSULTATS DES CALCULS SYSTÈME	21
3.6.1. COMPARAISON DES RÉSULTATS POUR LES DIFFÉRENTS CAS ÉTUDIÉS	21
3.6.2. SÉQUENCES D'ÉVÈNEMENTS ET ÉVOLUTIONS DES PARAMÈTRES LES PLUS REPRÉSENTATIFS	22
3.6.3. ANALYSE DÉTAILLÉE DU CAS LE PLUS PÉNALISANT	23
3.7. ÉTUDE D'ÉPUISEMENT	26
3.8. CONCLUSION	27
4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	27
4.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	28
4.2. MOYENS DE PROTECTION 	29
4.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	29

4.3.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	29
4.3.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	30
4.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS	30
4.4.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	30
4.4.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	31
4.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	31
4.5.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	31
4.5.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	34
4.6. RÉSULTATS	37
4.6.1. ÉVALUATION THERMOHYDRAULIQUE	37
4.6.2. ÉVALUATION DE LA CONCENTRATION EN BORE	39
4.7. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLEMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION	39
4.8. CONCLUSION	40
5. CONCLUSION	40
LISTE DES RÉFÉRENCES.	42

TABLEAUX :

TAB-15.2.4F1.1	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – CONDITIONS INITIALES	43
TAB-15.2.4F1.2	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT - DISTRIBUTION DE PUISSANCE POUR LES CRAYONS COMBUSTIBLE	44
TAB-15.2.4F1.3	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – PUISSANCE RÉSIDUELLE.....	45
TAB-15.2.4F1.4	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – SPECTRE DE BRÈCHES INTERMÉDIAIRES EN BRANCHE FROIDE SANS MDTE	46
TAB-15.2.4F1.5	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE DES GROSSES BRÈCHES (RUPTURES GUILLOTINES DOUBLEMENT DÉBATTUES DES LIGNES RIS ET DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR) – CAS SANS MDTE	47
TAB-15.2.4F1.6	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – SPECTRE DE BRÈCHES INTERMÉDIAIRES EN BRANCHE FROIDE AVEC MDTE	48
TAB-15.2.4F1.7	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE DES GROSSES BRÈCHES (RUPTURES GUILLOTINES DOUBLEMENT DÉBATTUES DES LIGNES RIS ET DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR) – CAS AVEC MDTE	49
TAB-15.2.4F1.8	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT – RÉSULTATS DU CAS PENALISANT N°1 (SANS MDTE – AVEC BTGV)	50
TAB-15.2.4F1.9	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT – RÉSULTATS DU CAS PENALISANT N°2 (AVEC MDTE – SANS BTGV)	51
TAB-15.2.4F1.10	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV	52

TAB-15.2.4F1.11	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV	53
TAB-15.2.4F1.12	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV	54
TAB-15.2.4F1.13	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV	55
TAB-15.2.4F1.14	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV	56
TAB-15.2.4F1.15	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV	57
TAB-15.2.4F1.16	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV.....	58
TAB-15.2.4F1.17	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] AVEC MDTE SANS BTGV	59
TAB-15.2.4F1.18	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] AVEC MDTE SANS BTGV	60
TAB-15.2.4F1.19	APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ –	

SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] AVEC MDTE SANS BTGV	61
TAB-15.2.4F1.20 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE RIS [] EN BRANCHE FROIDE AVEC MDTE SANS BTGV	62
TAB-15.2.4F1.21 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR [] SANS MDTE AVEC BTGV	64
TAB-15.2.4F1.22 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – SÉQUENCE D'ÉVÈNEMENTS.....	65
TAB-15.2.4F1.23 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – SÉQUENCE D'ÉVÈNEMENTS.....	66

FIGURES :

FIG-15.2.4F1.1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – DISTRIBUTIONS AXIALES DE PUISSANCE DU CRAYON MOYEN DU CŒUR, DU CRAYON MOYEN DE L'ASSEMBLAGE CHAUD ET DU CRAYON CHAUD POUR LA DÉTERMINATION DU TRANSITOIRE SYSTÈME PÉNALISANT - DISTRIBUTIONS AXIALES DE PUISSANCE DU CRAYON CHAUD POUR L'ÉTUDE D'ÉPUISEMENT	67
FIG-15.2.4F1.2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ - BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV - PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE - INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	68
FIG-15.2.4F1.3 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE [] SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS	

MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	69
FIG–15.2.4F1.4 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  EN SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	70
FIG–15.2.4F1.5 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	71
FIG–15.2.4F1.6 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	72
FIG–15.2.4F1.7 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	73
FIG–15.2.4F1.8 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	74
FIG–15.2.4F1.9 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	75
FIG–15.2.4F1.10 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT	














CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	76
FIG–15.2.4F1.11 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	77
FIG–15.2.4F1.12 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	78
FIG–15.2.4F1.13 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	79
FIG–15.2.4F1.14 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	80
FIG–15.2.4F1.15 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	81
FIG–15.2.4F1.16 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	82

FIG-15.2.4F1.17 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	83
FIG-15.2.4F1.18 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE– DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	84
FIG-15.2.4F1.19 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINE DU CRAYON CHAUD.....	85
FIG-15.2.4F1.20 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	86
FIG-15.2.4F1.21 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE– DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	87
FIG-15.2.4F1.22 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINE DU CRAYON CHAUD.....	88
FIG-15.2.4F1.23 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – PRESSIONS	

DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	89
FIG–15.2.4F1.24 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  AVEC MDTE SANS BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE– DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	90
FIG–15.2.4F1.25 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  AVEC MDTE SANS BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	91
FIG–15.2.4F1.26 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  AVEC MDTE SANS BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	92
FIG–15.2.4F1.27 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  AVEC MDTE SANS BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE– DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	93
FIG–15.2.4F1.28 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  AVEC MDTE SANS BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	94
FIG–15.2.4F1.29 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE  AVEC MDTE SANS BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	95
FIG–15.2.4F1.30 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT	

CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE [] AVEC MDTE SANS BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE– DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	96
FIG–15.2.4F1.31 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE [] AVEC MDTE SANS BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	97
FIG–15.2.4F1.32 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS [] EN BRANCHE FROIDE AVEC MDTE SANS BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	98
FIG–15.2.4F1.33 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS [] EN BRANCHE FROIDE AVEC MDTE SANS BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS	99
FIG–15.2.4F1.34 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS [] EN BRANCHE FROIDE AVEC MDTE SANS BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD	100
FIG–15.2.4F1.35 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D’EXPANSION DU PRESSURISEUR [] SANS MDTE AVEC BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE– INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	101
FIG–15.2.4F1.36 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT	

**CONTRÔLÉ– RUPTURE DE LA LIGNE D’EXPANSION DU
PRESSURISEUR □ SANS BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET
VAPEUR À LA BRÈCHE– DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS +
ACCUMULATEURS 102**

**FIG–15.2.4F1.37 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D’EXPANSION DU
PRESSURISEUR □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU
CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE
GAINÉ DU CRAYON CHAUD..... 103**

**FIG–15.2.4F1.38 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – ÉTUDE
D’ÉPUISEMENT – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON
CHAUD – OXYDATION MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD
CRÉÉE DURANT LE TRANSITOIRE..... 104**

**FIG–15.2.4F1.39 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – ÉTUDE
D’ÉPUISEMENT – DÉFORMATION DE LA GAINÉ À LA COTE DE LA
TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD..... 105**

**FIG–15.2.4F1.40 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – ÉTUDE
D’ÉPUISEMENT – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON
CHAUD – OXYDATION MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD
CRÉÉE DURANT LE TRANSITOIRE..... 106**

**FIG–15.2.4F1.41 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – ÉTUDE
D’ÉPUISEMENT – DÉFORMATION DE LA GAINÉ À LA COTE DE LA
TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD..... 107**

**FIG–15.2.4F1.42 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN
ÉTAT A – DE L’ÉTAT CONTRÔLÉ À L’ÉTAT D’ARRÊT SÛR – ATTEINTE**

DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – PUISSANCE CŒUR – ÉCHANGE PRIMAIRE SECONDAIRE	108
FIG–15.2.4F1.43 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – PUISSANCE CŒUR – ÉCHANGE PRIMAIRE SECONDAIRE – ZOOM	109
FIG–15.2.4F1.44 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – PRESSIONS PRIMAIRES ET SECONDAIRES – TEMPÉRATURES LIQUIDE PRIMAIRE	110
FIG–15.2.4F1.45 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – NIVEAU GONFLÉ DANS LA CUVE – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR.....	111
FIG–15.2.4F1.46 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – INVENTAIRE EN EAU DU PRIMAIRE ET DU SECONDAIRE – DÉBIT MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+ACCUMULATEURS	112
FIG–15.2.4F1.47 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – DÉBIT MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+ACCUMULATEURS (ZOOM) – DÉBIT ACCUMULATEURS EN BRANCHE FROIDE.....	113
FIG–15.2.4F1.48 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – DÉBIT ISMP/ISBP EN BRANCHE FROIDE – DÉBIT ISBP EN BRANCHE CHAUDE	114
FIG–15.2.4F1.49 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – MARGE A LA SATURATION DPSAT – MARGE A LA SATURATION DTSAT.....	115
FIG–15.2.4F1.50 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE	

DE [] – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – INTÉGRALE DU DÉBIT LIQUIDE ENTRANT DANS LA CUVE – INTÉGRALE DU DÉBIT LIQUIDE SORTANT DE LA CUVE..... 116

FIG–15.2.4F1.51 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – INTÉGRALE DU DÉBIT VAPEUR ENTRANT DANS LA CUVE – INTÉGRALE DU DÉBIT VAPEUR SORTANT DE LA CUVE..... 117

FIG–15.2.4F1.52 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DÉBIT DE CIRCULATION DU FLUIDE DANS LA CUVE..... 118

FIG–15.2.4F1.53 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – MASSE LIQUIDE DANS LE CŒUR – MASSE LIQUIDE DANS LE PLÉNUM INFÉRIEUR 119

FIG–15.2.4F1.54 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – TEMPERATURE ENVELOPPE DE GAINÉ DU CRAYON MOYEN..... 120

FIG–15.2.4F1.55 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – NIVEAU GV GAMME LARGE – DÉBIT ASG 121

FIG–15.2.4F1.56 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – DÉBITS LIQUIDE/VAPEUR ET LIQUIDE SORTANT DE LA CUVE 122

FIG–15.2.4F1.57 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – ÉVACUATION DE LA PUISSANCE (%PN – MW)..... 123

FIG–15.2.4F1.58 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] – EVACUATION DE LA PUISSANCE (%PN – MW) - ZOOM..... 124

FIG-15.2.4F1.59 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRET SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – MASSES TOTALES PRIMAIRE ET SECONDAIRE	125
FIG-15.2.4F1.60 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRET SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – DEBIT MASSIQUE A LA BRECHE – DEBIT MASSIQUE TOTAL IS + ACCUMULATEURS + BRECHE.....	126
FIG-15.2.4F1.61 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRET SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – DEBITS MASSIQUES ISMP – DEBITS MASSIQUES ISBP	127
FIG-15.2.4F1.62 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRET SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – TEMPERATURE DE L'ISMP – TEMPERATURE DE L'ISBP	128
FIG-15.2.4F1.63 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRET SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – CONCENTRATION EN BORE DE L'IS – DÉBIT MASSIQUE DES ACCUMULATEURS.....	129
FIG-15.2.4F1.64 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRET SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – CONCENTRATION EN BORE BRÈCHE ET IRWST – TEMPÉRATURE LIQUIDE BRÈCHE ET IRWST	130
FIG-15.2.4F1.65 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRET SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – MASSE TOTALE IRWST – ENTHALPIE LIQUIDE BRECHE ET IRWST	131

.15.2.4F1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES (ÉTAT A)

Le présent chapitre traite des Accidents de Perte de Réfrigérant Primaire pour des brèches intermédiaires et des grosses brèches en état A vis-à-vis des aspects suivants :

- atteinte de l'état contrôlé – voir [§ 3.](#),
- atteinte de l'état d'arrêt sûr – voir [§ 4.](#).

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

Un Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) résulte d'une brèche sur les tuyauteries primaires ou sur les lignes connectées aux boucles primaires, en aval du premier organe d'isolement.

Un APRP est classé comme évènement PCC-3 ou PCC-4 en fonction de la taille de brèche et de l'état initial du réacteur. Cette section traite des APRP de brèches intermédiaires et de grosses brèches en état A, qui sont classés comme des événements PCC-4 (voir section 15.0.1).

Les brèches intermédiaires sont des brèches de diamètre équivalent supérieur ou égal à 50 mm (section équivalente supérieure à 20 cm²), et de taille inférieure à celle définie par la grosse brèche.

La grosse brèche correspond à la rupture guillotine de la plus grosse tuyauterie connectée aux boucles primaires : il s'agit de la rupture de la ligne d'expansion pour les branches chaudes, et de la rupture d'une ligne du circuit d'injection de sécurité pour les branches froides.

Les tuyauteries primaires de l'EPR FA3 répondant aux exigences d'exclusion de rupture, les ruptures de ces tuyauteries ne sont pas envisagées dans les analyses de dimensionnement, donc dans le chapitre 15 du Rapport de Sûreté ; seules les brèches ou ruptures sur les lignes connectées aux boucles primaires sont à considérer.

La rupture guillotine doublement débattue d'une tuyauterie primaire est néanmoins étudiée, en tant qu'étude spécifique dans le sous-chapitre 19.3, mais en considérant des hypothèses réalistes.

Un APRP a les conséquences suivantes :

- A court terme, il conduit à des chargements mécaniques sur les internes de la cuve du réacteur, sur les composants du circuit primaire, et sur les supports associés (aspects traités dans le sous-chapitre 3.6).
- Il induit une dépressurisation du circuit primaire et une perte d'inventaire en eau primaire, pouvant conduire à moyen terme à un dénoyage du cœur tant que l'apport d'eau par le système d'injection de sécurité est insuffisant et, en conséquence, à un endommagement des gaines des crayons combustible.
- Pendant la phase de refroidissement par le secondaire en conduite post-accidentelle, l'accident peut conduire à la formation et à l'accumulation de bouchons d'eau claire (bouchons à faible concentration en bore) liées à la condensation de vapeur sur les tubes des Générateurs de Vapeur (GV), puis à leur mise en circulation vers la cuve du réacteur, ce qui constitue un risque de retour en criticité du cœur (phénomène de dilution hétérogène inhérente en APRP traité dans la section 15.2.3e1 de l'étude APRP Petites Brèches (APRP PB)).
- La masse et l'énergie du fluide primaire déchargées dans l'enceinte conduit d'une part à une surpression et à un échauffement dans l'enceinte (aspects traités dans la section 6.2.1), et d'autre part à la dispersion de substances radioactives dans l'enceinte (conséquences radiologiques traitées dans le sous-chapitre 15.3).

2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis des études d'APRP sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La température maximale de gaine doit rester inférieure à 1200 °C.
 - L'oxydation maximale de la gaine doit rester inférieure à 17 % de l'épaisseur de gaine.
- La génération maximale d'hydrogène doit rester inférieure à 1 % de la quantité qui serait générée si la totalité du zirconium des gaines en regard de la hauteur active s'était oxydée.
- Le refroidissement à long terme du cœur doit être assuré en garantissant l'absence de cristallisation du bore dans le cœur et en tenant compte du phénomène de dilution hétérogène inhérente.
En pratique, pour ce type d'accident, le refroidissement à long terme du cœur est assuré lorsque :
 - Le refroidissement du cœur est garanti avant le temps de basculement de l'ISBP de la branche froide vers la branche chaude.
 - Le refroidissement du cœur est garanti après le temps de basculement de l'ISBP de la branche froide vers la branche chaude.
 - Un débit liquide traversant le cœur est présent, permettant de mettre fin aux phénomènes de concentration cœur / dilution IRWST.
 - La limite de dilution du bore dans l'IRWST n'est pas atteinte au moment du basculement.
 - La limite de cristallisation du bore dans le cœur n'est pas atteinte au moment du basculement.

L'absence de dilution hétérogène inhérente est quant à elle vérifiée dans la section 15.2.3e1 de l'étude APRP Petites Brèches (APRP PB).

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Ce paragraphe vise à démontrer le respect des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) relatifs au respect de dommages limités sur certains assemblages combustibles, au respect d'un seuil de génération maximale d'hydrogène ainsi qu'au respect des critères techniques d'acceptation liés à l'atteinte de l'état contrôlé.

3.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

La brèche provoque la perte d'une partie du réfrigérant primaire qui ne peut être compensée par le Circuit de Contrôle Volumétrique et Chimique (RCV). Cette perte de réfrigérant primaire conduit à une diminution de la pression du circuit primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur.

Dans le cœur, si le réacteur est en puissance, la baisse de pression primaire provoque une légère diminution de la densité du modérateur, donc de la réactivité ; la contre-réaction par effet Doppler et l'extraction des grappes de contrôle compensent l'effet du modérateur en insérant de la réactivité ; en conséquence, la puissance dans le cœur reste constante, alors que la pression primaire diminue ; la marge vis-à-vis de la crise d'ébullition diminue. La limitation « Bas Rapport de Flux Thermique Critique (RFTC) » peut donc être atteinte et provoquer un signal d'arrêt partiel du réacteur (Partial Trip) et une réduction de la charge à la turbine.

L'Arrêt Automatique du Réacteur (AAR) est activé :

- par le signal « Bas RFTC » si la limitation « Bas RFTC » n'est pas activée plus tôt ;
- ou par le signal « Basse Pression Pressuriseur » (seuil Min2p).

Côté secondaire, l'AAR provoque le déclenchement de la turbine, et concernant le système d'eau alimentaire normale des GV (ARE), la fermeture des vannes d'isolement des lignes à grand débit. La montée en pression dans les générateurs de vapeur après le déclenchement de la turbine conduit à l'ouverture des vannes du Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur (GCT), ou à l'ouverture des Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA) sur le signal « Haute Pression GV » (Max1p), si le GCT est indisponible. Si la régulation du niveau d'eau dans les GV par les vannes réglantes de petit débit ARE ne fonctionne pas normalement ou bien si la régulation de petit débit ARE n'assure pas un débit suffisant après la chute des grappes, le petit débit ARE peut être excessif et conduire à l'isolement de l'ARE, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p). Après cet isolement, le signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) peut être généré et démarrer, GV par GV, les pompes d'Alimentation de Secours des Générateurs de vapeur (ASG). Si l'ASG est en excès dans un GV (régulation inopérante), il est arrêté automatiquement par le signal « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p) avant intervention de l'opérateur.

La pression primaire continue à décroître, et le signal d'Injection de Sécurité (IS) « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) est activé, ainsi que le signal de démarrage automatique du système de boratation de secours (RBS) sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p). Le signal IS provoque en particulier le démarrage des 4 trains du Système d'Injection de Sécurité (RIS), c'est-à-dire le démarrage des pompes IS de Moyenne Pression (ISMP) et des pompes IS de Basse Pression (ISBP), l'isolement du circuit primaire principal et l'isolement « niveau 1 » de l'enceinte. En cas de Manque De Tension Externe (MDTE), le signal IS provoque également le démarrage temporisé des pompes ASG.

On notera que l'Arrêt Automatique du Réacteur et l'isolement « niveau 1 » de l'enceinte peuvent aussi être générés par le signal « Haute Pression Enceinte » (Max1p).

Sur compte-rendu de signal IS, un refroidissement partiel du fluide primaire par le secondaire est amorcé : les points de consigne des vannes de contrôle du VDA (et du GCT s'il est disponible) sont abaissés □ pour assurer un refroidissement à un gradient de -250 °C/h.

Si les pompes primaires sont toujours en fonctionnement (alimentation électrique externe disponible), elles peuvent être arrêtées sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p). Si le signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p) est atteint, il peut également provoquer l'isolement de la charge, de l'injection et du retour des joints des pompes primaires, et l'arrêt des pompes primaires.

La baisse de pression primaire pendant le refroidissement partiel permet d'atteindre les conditions d'injection des pompes ISMP dans les branches froides. Mais tant que le débit ISMP est insuffisant pour compenser le débit à la brèche, l'inventaire en eau du circuit primaire continue à diminuer.

La poursuite de la dépressurisation dépend de la position et de la taille de la brèche.

Pour les plus petites brèches intermédiaires en branche froide, tant que le débit à la brèche est encore monophasique liquide, il ne permet pas d'évacuer un débit volumique dépassant celui correspondant à la production de vapeur par la puissance résiduelle du cœur ; la pression se stabilise, à la fin du refroidissement, au dessus de la pression de saturation dans les générateurs de vapeur, qui participent à l'évacuation de la puissance résiduelle. À mesure que le taux de vide dans la branche rompue augmente, le débit à la brèche devient diphasique et diminue ; la pression primaire reste légèrement supérieure à la pression secondaire tant que la décharge à la brèche est insuffisante et qu'une condensation dans les tubes GV est encore nécessaire pour évacuer la production de vapeur dans le cœur ; ensuite la pression primaire se découple de la pression secondaire.

Dans le cas des plus grosses brèches, la décharge de vapeur devient rapidement suffisante pour évacuer la production de vapeur dans le cœur ; la condensation dans les tubes GV n'est pas nécessaire pour évacuer l'énergie primaire ; le circuit primaire se découple rapidement du secondaire et la pression diminue.

L'inventaire en eau du circuit primaire cesse de diminuer quand les débits injectés par les pompes ISMP, et éventuellement par les accumulateurs puis les pompes ISBP, permettent de compenser le débit à la brèche.

Avant que les débits injectés ne compensent le débit à la brèche, le cœur peut être partiellement dénoyé ; dans ce cas, les températures des gaines des crayons combustible augmentent dans la partie découverte du cœur, et cet échauffement peut provoquer une oxydation des gaines ; l'échauffement est d'autant plus important que la profondeur du dénoyage est importante et la durée du dénoyage est longue. Le renoyage complet du cœur permet de ramener les températures des gaines à la température de saturation du fluide.

L'état contrôlé est atteint lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

- Le cœur est sous critique (un retour en criticité de courte durée avant les actions de l'opérateur conduisant seulement à une puissance neutronique faible pourrait être accepté au cas par cas pour quelques événements).
- L'évacuation de la puissance résiduelle du cœur est assurée à court terme, par exemple par les générateurs de vapeur (et/ou par la brèche).
- L'inventaire en eau du cœur est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

3.2. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au [§ 3.1.](#), les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- arrêt automatique du réacteur sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p), ou sur signal « Bas RFTC », ou sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max1p),
- fermeture des vannes d'isolement des lignes à grand débit de l'eau alimentaire normale des GV sur compte-rendu d'AAR,
- ouverture automatique des vannes d'isolement du VDA sur signal « Haute Pression GV » (Max1p), GV par GV,
- signal IS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) qui provoque en particulier le démarrage des 4 trains RIS, isole la décharge et provoque un isolement « niveau 1 » de l'enceinte,
- signal de démarrage automatique du RBS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p) qui provoque le démarrage des deux pompes RBS,
- isolement enceinte « niveau 1 » sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max1p) et isolement enceinte « niveau 2 » sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p),
- refroidissement partiel du circuit primaire sur compte-rendu du signal IS, par ouverture des vannes d'isolement et régulation de l'ouverture des vannes de contrôle du VDA,

- alimentation de secours des GV :
 - démarrage sur « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) ou sur « Signal IS + MDTE » temporisé,
 - isolement sur « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p),
- déclenchement des Groupes MotoPompes Primaires (GMPP) sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p), ou sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p).

3.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Pour toutes les configurations de brèches envisagées ci-dessous, on suppose que :

- L'ouverture de la brèche se produit de façon instantanée.
- La contre-pression dans l'enceinte est constante pendant tout le calcul, égale à 1 bar abs.

3.3.1. Spectre de brèches intermédiaires

On étudie un spectre de brèches intermédiaires de tailles croissantes. L'objectif est de cerner la taille de brèche intermédiaire la plus pénalisante.

Compte tenu du principe d'exclusion de rupture des tuyauteries primaires, les brèches à envisager sont localisées sur une ligne connectée aux boucles primaires.

De façon pénalisante, on suppose que la brèche est localisée en branche froide, verticale en fond de tuyauterie primaire. Pour limiter l'inventaire en eau dans la cuve, la brèche est située entre le point d'injection de sécurité (ISMP, accumulateur et ISBP) dans la branche froide rompue (boucle 4) et l'ajutage d'entrée de la cuve du réacteur.

□

3.3.2. Ruptures guillotines des plus grosses tuyauteries connectées au circuit primaire

Les grosses brèches correspondent aux ruptures guillotines des plus grosses tuyauteries connectées aux boucles primaires ; il s'agit de la rupture d'une ligne du circuit d'injection de sécurité pour les branches froides, de la rupture de la ligne d'expansion pour les branches chaudes :

- La rupture guillotine doublement débattue d'une ligne d'injection de sécurité piquée en branche froide est supposée se produire au ras de l'ajutage de la branche froide. De façon pénalisante, on suppose la brèche verticale en fond de branche froide □.
- La rupture guillotine doublement débattue de la ligne d'expansion du pressuriseur est supposée se produire au ras de l'ajutage de la branche chaude ; cette rupture correspond à une brèche verticale en haut de la branche chaude connectée au pressuriseur (boucle 3) □.

3.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS

□

Chaque simulation est poursuivie jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé.

3.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

3.5.1. État initial

On suppose le réacteur initialement en puissance. Le tableau [TAB-15.2.4f1.1](#) présente les conditions initiales retenues. Les incertitudes sont choisies dans le but de minimiser l'inventaire en eau primaire

au cours du calcul. Pour atteindre cet objectif, on retient les conditions qui favorisent l'échauffement du fluide primaire et qui retardent l'atteinte des signaux d'AAR et IS.

Du point de vue état initial, le fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par l'état initial à pleine puissance en cycle naturel car il est :

- soit initié à un même niveau de puissance, mais à une température primaire inférieure pour une pression primaire identique,
- soit initié à plus faible puissance, pour une température primaire et une pression primaire inférieures (l'évolution des seuils de protection, sur mesures de pression dans le pressuriseur, qui accompagne la baisse de la pression primaire est telle qu'elle assure l'obtention des signaux d'AAR et IS dans des délais plus courts).

3.5.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Deux scénarios sont envisagés, l'un cumulant le MDTE à l'AAR et l'autre sans cumul du MDTE.

Pour ces deux scénarios, les études de sensibilités présentées au [§ 3.3.1.](#) sont réalisées.

cas avec MDTE

Dans ce cas, les pompes primaires sont arrêtées à l'AAR et l'ASG démarre soit sur « Signal IS + MDTE » temporisé dans tous les GV, soit sur signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) dans le GV concerné.

Afin de minimiser l'inventaire en eau dans le circuit primaire :

- Au titre de l'aggravant, on considère la défaillance d'un diesel de secours qui conduit à l'indisponibilité d'un train RIS (ISMP +ISBP) correspondant à une boucle saine, ainsi qu'à l'indisponibilité de la pompe ASG sur cette boucle.
- On suppose par ailleurs qu'un autre diesel de secours est en maintenance préventive, ce qui conduit à l'indisponibilité d'un autre train RIS (ISMP +ISBP) correspondant à une boucle saine différente de celle concernée par l'aggravant, ainsi qu'à l'indisponibilité de la pompe ASG sur cette boucle.

cas sans MDTE

Dans ce cas, les pompes primaires restent en fonctionnement jusqu'à leur arrêt sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » et l'ASG démarre sur signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) dans le GV concerné.

Afin de minimiser l'inventaire en eau dans le circuit primaire :

- Au titre de l'aggravant, on considère qu'un des 2 trains du Système de Réfrigération Intermédiaire de l'îlot nucléaire (RRI) initialement en stand-by ne démarre pas, ce qui conduit à l'indisponibilité d'un train RIS (ISMP+ISBP) sur une boucle saine.
- On suppose par ailleurs qu'un autre train RRI est en maintenance préventive, ce qui conduit à l'indisponibilité d'un autre train RIS (ISMP +ISBP) sur une boucle saine différente de celle concernée par l'aggravant.

3.5.3. Hypothèses cœur

□

3.5.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Le débit vapeur à la turbine est maintenu constant jusqu'à l'isolement de la turbine.

Le débit d'eau alimentaire des générateurs de vapeur est maintenu constant jusqu'à l'isolement des lignes à grand débit sur compte-rendu d'AAR. De façon conservative, il est annulé après cet isolement. L'ensemble motopompe Alimentaire de Démarrage et d'Arrêt (AAD) n'est pas pris en compte.

Après démarrage de l'ASG (voir [§ 3.5.5.](#)), la régulation du niveau d'eau dans les GV par l'ASG n'est pas considérée. □.

Le GCT est supposé indisponible. Après le déclenchement de la turbine, la vapeur est alors évacuée par les VDA. À l'ouverture des vannes d'isolement, on suppose que les vannes de contrôle sont suffisamment fermées pour maintenir instantanément la pression de consigne, si le signal de refroidissement partiel n'est pas encore atteint. Cette hypothèse minimise l'extraction de chaleur du circuit primaire. □.

Pour retarder les temps d'arrivée des signaux d'AAR et IS, les chaufferettes sont prises en compte. □.

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur n'est pas considérée : la décharge serait isolée rapidement sur fonction d'aide à l'opérateur « Bas Niveau Pressuriseur » (Min2) (non classé F1), sur signal « Bas Niveau Pressuriseur » (Min1) plus compte-rendu d'AAR (classé F1A), ou sur signal IS (classé F1A), et la charge serait également isolée sur signal IS ; globalement la non prise en compte de cette régulation limite l'inventaire en eau du circuit primaire. D'autre part, la continuité de fonctionnement du RCV n'étant pas assurée (non classé F1), l'injection aux joints doit être considérée comme inopérante et une fuite aux joints des GMPP doit être considérée □. Ce débit de fuite n'est cependant pas considéré dans les calculs thermohydrauliques du fait :

- de la réalisation d'un spectre de brèche qui permet de s'affranchir de ce débit de fuite,
- de son impact négligeable pour les ruptures guillotines des plus grosses tuyauteries connectées au circuit primaire □.

Après démarrage de l'injection de sécurité sur signal IS (voir [§ 3.5.5.](#)), chaque ISMP disponible injecte effectivement en branche froide dès que la pression dans le circuit primaire le permet. □.

Le démarrage automatique des pompes RBS sur signal « Basse Pression Pressuriseur » Min4p n'est pas pris en compte dans les calculs thermohydrauliques de manière conservative. L'absence de démarrage automatique du RBS permet en effet de limiter l'appoint en eau du circuit primaire durant le scénario.

Les hypothèses spécifiques relatives aux accumulateurs sont définies en vue de ralentir l'injection des accumulateurs :

□

Aucune action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur et aucune limitation n'est prise en compte.

3.5.5. Hypothèses protections

□

3.6. RÉSULTATS DES CALCULS SYSTÈME

□

3.6.1. Comparaison des résultats pour les différents cas étudiés

Les résultats de l'étude pour les brèches intermédiaires et les grosses brèches (tenant compte des sensibilités présentées au paragraphe 3.3), sont synthétisés et présentés respectivement dans les tableaux [TAB-15.2.4f1.4](#) et [TAB-15.2.4f1.5](#) pour le cas sans MDTE et dans les tableaux [TAB-15.2.4f1.6](#) et [TAB-15.2.4f1.7](#) pour les cas avec MDTE.

3.6.1.1. Résultats des cas sans MDTE

Le tableau [TAB-15.2.4f1.4](#) montre que la taille de brèche pénalisante pour le cas sans MDTE correspond à une configuration avec BTGV et avec prise en compte de l'IS et de l'accumulateur en boucle rompue.

Le tableau [TAB-15.2.4f1.5](#) concerne les résultats des grosses brèches pour le cas sans MDTE, c'est-à-dire de la rupture guillotine d'une ligne RIS en branche froide et de la rupture guillotine de la ligne d'expansion du pressuriseur.

Pour la rupture du piquage RIS en branche froide, le PTG maximal du crayon chaud pour le cas sans MDTE correspond à une configuration avec BTGV. Cette grosse brèche conduit donc à des résultats plus favorables que ceux obtenus pour les brèches intermédiaires les plus pénalisantes.

Le tableau [TAB-15.2.4f1.5](#) montre enfin que le cas pénalisant pour la rupture guillotine de la ligne d'expansion du pressuriseur (située en haut de la branche chaude) est obtenu pour une configuration avec BTGV. .

3.6.1.2. Résultats des cas avec MDTE

Le tableau [TAB-15.2.4f1.6](#) montre que la taille de brèche pénalisante pour le cas avec MDTE à une configuration sans BTGV et sans prise en compte de l'IS et de l'accumulateur en boucle rompue. .

Le tableau [TAB-15.2.4f1.7](#) concerne les résultats des grosses brèches pour le cas avec MDTE.

Pour la rupture du piquage RIS en branche froide, le PTG maximal du crayon chaud pour le cas avec MDTE correspond à une configuration sans BTGV. Cette grosse brèche conduit donc à des résultats plus favorables que ceux obtenus pour les brèches intermédiaires les plus pénalisantes.

Le tableau [TAB-15.2.4f1.7](#) montre enfin que le cas pénalisant pour la rupture guillotine de la ligne d'expansion du pressuriseur (située en haut de la branche chaude) est obtenu pour une configuration sans BTGV (impact faible du BTGV).

3.6.1.3. Conclusions

Les résultats pour les brèches intermédiaires mettent en évidence deux cas pénalisants pour l'étude APRP BI :

- cas n°1 : brèche en configuration sans MDTE et avec BTGV .
- cas n°2 : brèche en configuration avec MDTE et sans BTGV .

D'autre part, les résultats des grosses brèches (rupture du piquage RIS en branche froide et rupture guillotine de la ligne d'expansion du pressuriseur) conduisent à des PTG plus favorables que ceux obtenus pour les brèches pénalisantes présentées ci-dessus.

3.6.2. Séquences d'évènements et évolutions des paramètres les plus représentatifs

Pour le cas pénalisant n° 1 (voir [§ 3.6.1.3.](#)), les séquences des événements et les évolutions des paramètres les plus représentatifs sont présentées dans les tableaux [TAB-15.2.4f1.10](#) à [TAB-15.2.4f1.16](#) et les figures [FIG-15.2.4f1.2](#) à [FIG-15.2.4f1.22](#) .

Pour le cas pénalisant n° 2 (voir [§ 3.6.1.3.](#)), les tableaux [TAB-15.2.4f1.17](#) à [TAB-15.2.4f1.19](#) et les figures [FIG-15.2.4f1.23](#) à [FIG-15.2.4f1.31](#) représentent les séquences des événements et les évolutions des paramètres les plus représentatifs .

À titre illustratif, les séquences des événements et les évolutions des paramètres les plus représentatifs sont aussi présentées dans les tableaux [TAB-15.2.4f1.20](#) à [TAB-15.2.4f1.21](#) et les figures [FIG-15.2.4f1.32](#) à [FIG-15.2.4f1.37](#) pour les configurations pénalisantes relatives à :

- la rupture de la ligne d'injection de sécurité en branche froide, qui correspond à la plus grosse brèche en branche froide \square . Compte tenu des résultats obtenus, la configuration pénalisante est la configuration avec MDTE et sans BTGV.
- la rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur, qui correspond à la plus grosse brèche en branche chaude \square . Compte tenu des résultats obtenus, la configuration pénalisante est la configuration sans MDTE et avec BTGV.

Les séquences des événements respectives sont données dans les tableaux suivants :

- tableau [TAB-15.2.4f1.10](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.11](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.12](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.13](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.14](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.15](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.16](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.17](#) : brèche de \square cm² avec MDTE sans BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.18](#) : brèche de \square cm² avec MDTE sans BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.19](#) : brèche de \square cm² avec MDTE sans BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.20](#) : rupture de la ligne RIS \square en branche froide, avec MDTE et sans BTGV,
- tableau [TAB-15.2.4f1.21](#) : rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur \square , sans MDTE et avec BTGV.

Les paramètres les plus représentatifs sont présentés de la façon suivante :

- figures [FIG-15.2.4f1.2](#) à [FIG-15.2.4f1.4](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.5](#) à [FIG-15.2.4f1.7](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.8](#) à [FIG-15.2.4f1.10](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.11](#) à [FIG-15.2.4f1.13](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.14](#) à [FIG-15.2.4f1.16](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.17](#) à [FIG-15.2.4f1.19](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.20](#) à [FIG-15.2.4f1.22](#) : brèche de \square cm² sans MDTE avec BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.23](#) à [FIG-15.2.4f1.25](#) : brèche de \square cm² avec MDTE sans BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.26](#) à [FIG-15.2.4f1.28](#) : brèche de \square cm² avec MDTE sans BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.29](#) à [FIG-15.2.4f1.31](#) : brèche de \square cm² avec MDTE sans BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.32](#) à [FIG-15.2.4f1.34](#) : rupture de la ligne RIS \square en branche froide, avec MDTE et sans BTGV,
- figures [FIG-15.2.4f1.35](#) à [FIG-15.2.4f1.37](#) : rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur \square , sans MDTE et avec BTGV.

3.6.3. Analyse détaillée du cas le plus pénalisant

3.6.3.1. Cas n°1 : brèche de \square cm² en configuration sans MDTE et avec BTGV

Le cas présenté dans ce paragraphe est celui qui conduit au PTG maximal du crayon chaud pour le cas sans MDTE. Il s'agit de la brèche de \square cm² avec BTGV : le PTG maximal atteint pour le crayon chaud est de \square °C.

Après l'ouverture de la brèche, la vidange du circuit primaire conduit à la baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une baisse rapide de la pression primaire. L'atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p) conduit à l'émission du signal d'AAR à 13,1 s. De façon découplée, l'ARE est isolé complètement au même instant.

La chute des grappes débute à [] s et conduit à la baisse de la puissance dans le cœur.

Après le déclenchement de la turbine à [] s, la pression secondaire augmente mais le signal « Haute Pression GV » (Max1p) n'est pas atteint avant l'émission du signal IS à 24,4 s sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p).

Le compte-rendu du signal IS conduit à l'ouverture des vannes d'isolement de la décharge à l'atmosphère et le refroidissement partiel débute à [] s. Celui-ci se termine lorsque la pression secondaire atteint 61,5 bar.

Le signal IS démarre automatiquement les pompes ISMP et ISBP. Compte tenu du choix de l'aggravant et de la maintenance préventive, seules une boucle saine et la boucle rompue sont alimentées par l'IS.

Le refroidissement partiel assuré par le secondaire permet à la pression primaire de rejoindre la pression de refoulement des pompes ISMP. Celles-ci commencent à injecter dans le circuit primaire à 206 s.

Sous l'effet du passage en vapeur à la brèche, celle-ci devient suffisante pour évacuer la puissance résiduelle et la pression primaire se découple de la pression secondaire avant la fin du refroidissement partiel. La dépressurisation du primaire se poursuit ; les débits ISMP augmentent mais ne permettent pas de compenser le débit à la brèche.

La diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire se poursuit et le cœur finit par se dénoyer à 372 s. Le dénoyage du cœur conduit inévitablement à l'échauffement des crayons combustible. Lorsque la pression primaire atteint [] bar à 451 s, les accumulateurs commencent à injecter dans les 4 branches froides, ce qui contribue à faire remonter le niveau d'eau dans le cœur.

Il faut attendre 578 s pour mettre un terme à l'échauffement de la gaine du crayon chaud. À cet instant, la température de gaine est maximale en haut du crayon chaud et vaut [] °C.

Les accumulateurs continuant à injecter et le débit d'ISMP augmentant au fur et à mesure de la dépressurisation du primaire, le dénoyage du cœur prend fin à 626 s.

L'inventaire en eau du circuit primaire augmente, puis se stabilise lorsque le débit d'IS compense le débit relâché à la brèche.

Lorsque la pression primaire atteint leur pression maximale de refoulement, les pompes ISBP injectent en branche froide à 1062 s.

La puissance résiduelle est évacuée par la brèche et éventuellement par les GV si l'échange avec le secondaire n'est pas trop dégradé.

L'opérateur intervient 30 minutes après l'AAR et isole les accumulateurs à 1813 s constatant que la pression primaire est inférieure à [] bar abs.

Pour le crayon chaud en début de vie, la température de gaine reste inférieure à 800 °C sur la totalité du calcul et l'éclatement de la gaine n'a pas lieu. En conséquence, l'oxydation créée au cours du scénario est faible. Elle est de [] % de l'épaisseur initiale de la gaine.

Pour les brèches de taille inférieure à [] cm², le débit à la brèche plus faible conduit à une dégradation plus lente de l'inventaire en eau du primaire et à une dépressurisation du primaire plus lente. Une fois la saturation atteinte, la pression primaire reste légèrement supérieure à la pression secondaire, les GV étant encore nécessaires pour évacuer la puissance résiduelle. Le refroidissement partiel commence et la pression primaire suit la pression secondaire pendant toute la durée de ce

refroidissement ; la dépressurisation du primaire s'effectue alors à la même vitesse quelle que soit la taille de la brèche. Comme le débit à la brèche est plus faible (brèches plus petites) et les moyens d'injection (pompes ISMP) sont identiques, à la fin du refroidissement partiel, l'inventaire en eau du circuit primaire est moins dégradé. La dépressurisation du primaire se poursuit, plus lentement que pour la brèche de 10 cm^2 , ce qui tend à minimiser les débits injectés par le RIS et à retarder l'injection des accumulateurs, alors que la dégradation de l'inventaire en eau du primaire est plus lente. La résultante de ces effets se traduit par des dénoyages du cœur moins profonds pour des tailles de brèches plus petites. Les brèches de taille inférieure à 10 cm^2 sont donc couvertes par l'étude de la brèche de 10 cm^2 (voir tableau [TAB-15.2.4f1.4](#)).

Pour les brèches de taille supérieure à 10 cm^2 , le débit à la brèche plus élevé conduit à une dégradation plus rapide de l'inventaire en eau du primaire et à une dépressurisation du primaire plus rapide. Une fois la saturation atteinte, comme dans le cas précédent, le primaire reste ensuite couplé au secondaire au début du refroidissement partiel. Pendant cette période, la dépressurisation du primaire s'effectuant à la même vitesse, les moyens d'injection, en l'occurrence les débits des pompes ISMP, sont identiques alors que le débit à la brèche est plus important. L'inventaire en eau du primaire étant plus dégradé, le passage en vapeur à la brèche se produit plus tôt, avant la fin du refroidissement partiel. Le découplage du primaire plus précoce et la dépressurisation du primaire plus rapide que pour la brèche de 10 cm^2 permettent une injection plus précoce des accumulateurs, avant que l'échauffement des crayons combustible ne soit trop important. Les débits injectés par les accumulateurs accompagnés par les plus forts débits des pompes ISMP mettent fin au dénoyage du cœur. Les brèches de taille supérieure à 10 cm^2 sont donc couvertes par l'étude de la brèche de 10 cm^2 (voir tableau [TAB-15.2.4f1.4](#)).

3.6.3.2. Cas n°2 : brèche de 10 cm^2 en configuration avec MDTE et sans BTGV

Le cas présenté dans ce paragraphe est celui qui conduit au PTG maximal du crayon chaud pour le cas avec MDTE. Il s'agit de la brèche de 10 cm^2 sans BTGV : le PTG maximal atteint pour le crayon chaud est de $16,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Après l'ouverture de la brèche, la vidange du circuit primaire conduit à la baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une baisse rapide de la pression primaire. L'atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min2p) conduit à l'émission du signal d'AAR à 16,4 s.

Par hypothèse, le MDTE a lieu au même instant, ce qui conduit à l'arrêt des GMPP et à la baisse du débit primaire dans les boucles et dans le cœur.

De façon découplée, l'ARE est isolé complètement au même instant.

La chute des grappes débute à $16,4 \text{ s}$ et conduit à la baisse de la puissance dans le cœur.

Après le déclenchement de la turbine à $16,4 \text{ s}$, la pression secondaire augmente mais le signal « Haute Pression GV » (Max1p) n'est pas atteint avant l'atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p). Le signal IS est alors émis sur ce seuil.

Le compte-rendu du signal IS conduit à l'ouverture des vannes d'isolement de la décharge à l'atmosphère et le refroidissement partiel débute à $16,4 \text{ s}$. Celui-ci se termine lorsque la pression secondaire atteint $16,4 \text{ bar}$.

Le signal IS démarre automatiquement les pompes ISMP et ISBP.

Le refroidissement partiel assuré par le secondaire permet à la pression primaire de rejoindre la pression de refoulement des pompes ISMP. Celles-ci commencent à injecter dans le circuit primaire à 226 s. Compte tenu du choix de l'aggravant et de la maintenance préventive et du résultat de la sensibilité à l'injection de l'IS et de l'accumulateur en boucle rompue, seule une boucle saine est alimentée par l'IS.

Sous l'effet du passage en vapeur à la brèche, celle-ci devient suffisante pour évacuer la puissance résiduelle et la pression primaire se découple de la pression secondaire juste avant la fin du

refroidissement partiel. La dépressurisation du primaire se poursuit ; les débits ISMP augmentent mais ne permettent pas de compenser le débit à la brèche.

La diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire se poursuit et le cœur finit par se dénoyer à 522 s. Le dénoyage du cœur conduit inévitablement à l'échauffement des crayons combustible. Lorsque la pression primaire atteint \square bar à 651 s, les accumulateurs commencent à injecter dans trois branches froides (compte-tenu de l'injection de l'IS et de l'accumulateur en boucle rompue), ce qui contribue à faire remonter le niveau d'eau dans le cœur.

Il faut attendre 766 s pour mettre un terme à l'échauffement de la gaine du crayon chaud. À cet instant, la température de gaine est maximale en haut du crayon chaud et vaut \square °C.

Les accumulateurs continuant à injecter et le débit d'ISMP augmentant au fur et à mesure de la dépressurisation du primaire, le dénoyage du cœur prend fin à 913 s.

Du fait de la temporisation \square après « Signal IS + MDTE », les pompes ASG démarrent à \square s. Compte tenu du choix de l'aggravant et de la maintenance préventive, seuls les GV correspondants sont alimentés par l'ASG.

Les pompes ISBP injectent ensuite dans une branche froide saine à 1406 s, lorsque la pression primaire atteint leur pression maximale de refoulement.

L'ASG est alors isolée à 1705s dans les 2 GV alimentés, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p). La puissance résiduelle est évacuée par la brèche et éventuellement par les GV si l'échange avec le secondaire n'est pas trop dégradé.

L'opérateur intervient 30 minutes après l'AAR et isole les accumulateurs à 1817 s constatant que la pression primaire est inférieure à \square bar abs.

L'inventaire en eau du circuit primaire augmente, puis se stabilise lorsque le débit d'IS compense le débit relâché à la brèche.

Pour le crayon chaud en début de vie, la température de gaine reste inférieure à 800 °C sur la totalité du calcul et l'éclatement de la gaine n'a pas lieu. En conséquence, l'oxydation créée au cours du scénario est faible. Elle est de \square % de l'épaisseur initiale de la gaine.

3.7. ÉTUDE D'ÉPUISEMENT

L'étude d'épuisement consiste à effectuer des calculs assemblage chaud / crayon chaud en prenant en compte, de façon enveloppe, l'évolution des caractéristiques de ces crayons au cours des différents cycles : en particulier, au fur et à mesure que l'épuisement de ces crayons augmente, la pression interne dans les crayons augmente, l'oxydation initiale des gaines croît, et les facteurs de points chauds décroissent.

Les hypothèses retenues, décrites au [§ 3.5.3](#), permettent de couvrir tous les crayons de la première gestion FA3.

Les calculs assemblage chaud / crayon chaud sont réalisés avec les deux hydrauliques système pénalisantes identifiées au [§ 3.6.1](#), et correspondant aux brèches \square en configuration sans MDTE avec BTGV et \square en configuration avec MDTE sans BTGV.

Les résultats sont présentés dans le tableau [TAB-15.2.4f1.8](#) et [TAB-15.2.4f1.9](#) et les évolutions des paramètres importants sont présentées sur les figures [FIG-15.2.4f1.38](#) à [FIG-15.2.4f1.41](#) pour les deux cas présentés ci-dessus.

Le pic de température de gaine maximal du crayon chaud est obtenu pour le cas pénalisant n° 1 (configuration sans MDTE et avec BTGV) en début de vie et vaut \square °C. Le critère technique d'acceptation de 1200 °C est donc respecté.

D'autre part, compte tenu des températures maximales de gaine peu élevées, aucun éclatement de la gaine du crayon chaud n'est observé dans cette étude, et l'oxydation de la gaine en transitoire reste en conséquence très faible. L'oxydation locale maximale finale de la gaine du crayon chaud est obtenue pour le cas pénalisant n°2 (configuration avec MDTE et sans BTGV) [] avec une valeur de [] % de l'épaisseur initiale d'une gaine non oxydée. Le critère technique d'acceptation de 17 % est donc respecté.

Enfin, l'oxydation locale maximale créée au cours du calcul sur la gaine du crayon chaud étant inférieure à 1 % de l'épaisseur initiale de la gaine, pour l'ensemble des calculs réalisés, le taux d'oxydation créée sur la hauteur de la gaine du crayon chaud est donc lui aussi inférieur à 1 %. Ce résultat s'applique nécessairement aux autres crayons du cœur. Par conséquent, la production d'hydrogène sur l'ensemble du cœur est nécessairement inférieure à 1 % de la production qui résulterait de l'oxydation de la totalité des gaines du combustible.

3.8. CONCLUSION

L'analyse du spectre de brèches intermédiaires a été effectuée [].

Les deux scénarios conduisant aux conséquences les plus sévères sur les températures de gaine et l'oxydation des crayons combustible correspondent à ceux des :

- brèche de [] cm² en configuration sans MDTE et avec BTGV : la température maximale de gaine du crayon chaud est obtenue en début de vie ([] °C) et l'oxydation locale maximale de la gaine du crayon chaud est obtenue [] pour la brèche de pénalisante de la configuration avec MDTE ([] % de l'épaisseur initiale d'une gaine non oxydée).
- brèche de [] cm² en configuration avec MDTE et sans BTGV : la température maximale de gaine du crayon chaud est obtenue en début de vie ([] °C) et l'oxydation locale maximale de la gaine du crayon chaud est obtenue [] pour la brèche de pénalisante de la configuration avec MDTE [].

Enfin, la production d'hydrogène sur l'ensemble du cœur est inférieure à 1 % de la production qui résulterait de l'oxydation de la totalité des gaines du combustible.

Ainsi, les critères techniques d'acceptation liés aux dommages limités sur certains assemblages (température et oxydation maximale des gaines de combustible) et à la génération maximale d'hydrogène présentés dans le paragraphe 2 sont respectés.

Par ailleurs, le cœur, entièrement renoyé à terme, est sous-critique du fait de la chute des grappes et de l'apport de bore par l'injection de sécurité ; la puissance résiduelle est évacuée par les GV et par la brèche ; l'inventaire en eau du primaire est stabilisé. Enfin le respect des critères techniques d'acceptation liés aux dommages limités sur certains assemblages de combustible garantissent des rejets radiologiques tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé est respecté. L'état contrôlé est donc atteint.

4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

Ce paragraphe vise à démontrer le respect des critères techniques d'acceptation présentés au § 2. relatifs au refroidissement à long terme du cœur, ainsi qu'au respect des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.

Il est traité selon deux axes :

- D'une part une analyse thermohydraulique est réalisée afin de vérifier que le refroidissement du cœur est bien garanti avant et après le basculement de l'injection ISBP de la branche froide vers la branche chaude et afin de vérifier qu'un débit liquide traversant le cœur est présent à cet instant.

- D'autre part une analyse de contrôle de la réactivité est réalisée afin de vérifier que les limites de dilution de l'IRWST et de cristallisation de bore dans le cœur ne sont pas atteintes au moment du basculement de l'injection ISBP de la branche froide vers la branche chaude.

4.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

L'état contrôlé est atteint lorsque le cœur est sous-critique, l'inventaire en eau du circuit primaire est stable ou augmente, et la puissance résiduelle est évacuée essentiellement par le débit vapeur à la brèche, et par les GV si nécessaire.

La vapeur ne transportant pas le bore, si uniquement de la vapeur s'échappe du cœur, la concentration du bore dans le cœur augmente, et l'eau borée de l'IRWST est diluée par les condensats. De plus, la taille de brèche importante entraîne une augmentation de la pression et de la température dans l'enceinte, conduisant également à un échauffement de l'IRWST.

Afin de garantir l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme, d'éviter le risque de retour en criticité, et de limiter l'augmentation de pression et température dans l'enceinte, le repli de la tranche vers l'état d'arrêt sûr est requis.

Le passage aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA est généralement impossible, car en raison de la taille de la brèche le débit de fuite ne peut pas être compensé sous la forme liquide par le débit IS injecté. Les boucles du circuit primaire ne peuvent pas être renvoyées afin de permettre le fonctionnement du RIS-RA, les conditions nécessaires permettant l'aspiration dans les branches chaudes (basées sur les informations ΔT_{sat} et niveau boucle) ne pouvant être respectées.

Dans ce cas, l'état d'arrêt sûr correspond aux conditions suivantes :

- Le cœur est sous-critique, même après la décroissance du xénon.
- L'inventaire en eau du primaire est stable : le débit brèche est compensé par le débit RIS.
- La puissance résiduelle est évacuée.
- Le débit brèche est à une température inférieure à la température de saturation limite de l'enceinte, définie par la limite de qualification des équipements (voir sous-chapitre 3.7).
- La chaleur est évacuée de l'enceinte par la chaîne de refroidissement ISBP/RR/SEC conformément aux conditions de conception de l'enceinte, de l'IRWST et du RIS.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour rallier l'état d'arrêt sûr, le basculement de l'injection ISBP en branche froide vers l'injection ISBP en branche chaude doit être réalisé par l'opérateur, au plus tôt 1 h 30 min après le signal IS.

Cette action opérateur consiste à ouvrir les vannes situées sur les lignes d'injection ISBP branche chaude. L'ISMP continue à injecter dans les branches froides.

Cette nouvelle répartition des débits ISMP en branche froide et ISBP en branche chaude permet d'évacuer la puissance résiduelle du cœur, que la brèche soit en branche chaude ou en branche froide. De plus, le basculement de l'injection ISBP vers la branche chaude permet d'annuler la production de vapeur dans le cœur, et de mettre fin au processus de concentration du bore dans le cœur et de dilution de l'IRWST.

Cette action limite également l'augmentation de la pression de l'enceinte à long terme. Après basculement, l'injection ISBP fournie dans les branches chaudes annule le débit de vapeur à la sortie du cœur, et par conséquent, au niveau de la brèche (voir section 6.2.1).

Pour les APRP PCC-4, l'état d'arrêt sûr est atteint après le basculement de l'ISBP en branche chaude.

4.2. MOYENS DE PROTECTION

Les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les mêmes que ceux décrits au § 3.2. relatif à l'atteinte de l'état contrôlé.

Aux moyens de protection automatiques F1A, s'ajoutent les actions F1B suivantes, réalisées à partir de 30 minutes après l'AAR :

- contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés, après remise en service, le cas échéant, de la régulation automatique des niveaux GV par l'ASG,
- isolement des accumulateurs,
- mise en service du RBS,
- mise en œuvre d'un refroidissement contrôlé du circuit primaire par ouverture des VDA des GV utilisables, avec un gradient de -50 °C/h si au moins deux trains ISMP sont en service et utilisables,
- basculement de l'ISBP de l'injection en branche froide vers l'injection en branche chaude, en ouvrant les vannes d'injection branche chaude ISBP au plus tôt 1 h 30 min après le signal IS, si le permissif P16 a été validé,
- maintien de l'injection ISMP dans les branches froides.

4.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

4.3.1. Analyse thermohydraulique

Le transfert à l'état d'arrêt sûr est assuré en atteignant les conditions d'injection ISBP, avec toutes les ISBP disponibles fonctionnant en mode IS. La dégradation des indications niveau boucle ou marge à la saturation en température ΔT_{sat} ne permet pas de connecter le RIS-RA en mode RA.

Pour les brèches inférieures du spectre de brèches PCC-4, le permissif P16 n'est pas validé et le basculement de l'ISBP en branche chaude n'a pas lieu (la récupération d'une marge à la saturation permettant d'exclure les problèmes de concentration cœur / dilution IRWST). Pour ces tailles de brèches, la consommation de l'eau ASG est inférieure à celle obtenue pour les PCC-3, puisqu'une taille de brèche supérieure permet d'évacuer davantage de puissance par la brèche, ce qui diminue la puissance transférée aux GV. L'inventaire en eau des bâches ASG est donc amplement suffisant pour refroidir le cœur à long terme, puisque c'est déjà le cas pour l'APRP petite brèche (voir section 15.2.3e1).

Pour les brèches supérieures du spectre de brèche PCC-4, le basculement de l'ISBP en branche chaude est nécessaire en cas de brèche en branche froide :

- Relativement à l'enceinte, pour arrêter la production de vapeur et éviter une augmentation excessive de pression et de température à l'intérieur de l'enceinte. En effet, en cas de brèche en branche froide, seule une partie du débit RIS injecté dans les branches froides entre dans le cœur (vaporisation dans le cœur), l'autre partie se déverse directement à la brèche. Pour arrêter la production de vapeur dans le cœur, l'injection RIS en sortie du cœur est nécessaire. Le débit ISBP injecté dans les branches chaudes doit être capable d'entrer dans le plenum supérieur.
- Relativement au cœur, afin d'arrêter l'augmentation de la concentration en bore du cœur avant d'atteindre la limite de cristallisation. En effet, en cas de brèche en branche froide, si de la vapeur seule (dont la concentration en bore est presque nulle) s'échappe du cœur, la concentration en bore dans le cœur augmente continuellement du fait de l'injection de bore par l'IS dans les branches froides. Afin d'arrêter l'augmentation de la concentration en bore, il est nécessaire de permettre une évacuation liquide hors du cœur. Le débit d'ISBP injecté dans les branches chaudes devra pouvoir initier un débit de liquide hors du cœur.

Le temps de basculement doit être :

- suffisamment court pour arrêter la formation de vapeur avant de dépasser les limites de pression ou température à l'intérieur de l'enceinte,
- suffisamment long pour s'assurer que le débit injecté en branche chaude soit capable d'entrer dans le plenum supérieur de la cuve du réacteur, puis le cœur (limite de contre-courant), sans altération du refroidissement du cœur (pas de dénoyage du cœur inacceptable), ceci afin d'assurer l'évacuation de la puissance résiduelle et l'arrêt des phénomènes de concentration de bore dans le cœur et de dilution dans l'IRWST.

Un temps de basculement minimal de 1 h 30 min, décompté depuis le signal IS, est actuellement prévu. Après basculement, la configuration RIS est la suivante :

- au moins 2 ISBP fonctionnent en mode IS, avec une injection en branche chaude,
- au moins une pompe ISMP injecte dans le RCP, avec une injection en branche froide.

L'étude de sûreté suivante est destinée à démontrer que la conception RIS est capable d'assurer que tous les critères techniques d'acceptation sont respectés avant le basculement (depuis l'état contrôlé jusqu'à l'état d'arrêt sûr) et après basculement (état d'arrêt sûr à long terme stable), en utilisant uniquement les systèmes F1A et F1B.

Les brèches du circuit primaire limitatives pour les phénomènes ci-dessus sont donc les brèches en branche froide. Pour les brèches en branche chaude, l'injection en branche froide étant le mode d'injection le plus efficace (cœur traversé par le débit RIS avant de rejoindre la brèche), l'ensemble du débit RIS entre dans le cœur, le basculement de l'ISBP n'est pas indispensable, même si l'opérateur le réalise.

L'APRP BI-GB le plus pénalisant est la brèche en branche froide la plus grande, qui correspond à la section de la ligne RIS \square . Seul le calcul système d'une brèche verticale basse de \square cm², avec perte du RIS dans la boucle rompue, est traité jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Comme pour l'atteinte de l'état contrôlé, le cas pénalisant est avec MDTE et sans BTGV.

Les conséquences de l'APRP BI-GB relativement à l'enceinte sont traitées dans le sous chapitre nommé « Systèmes d'enceinte » (voir sous-chapitre 6.2).

4.3.2. Contrôle de la réactivité

Le calcul thermohydraulique est complété par l'évaluation de la concentration en bore dans le cœur et dans l'IRWST.

Le temps de basculement doit être :

- suffisamment court pour éviter une dilution inacceptable de l'IRWST, qui pourrait provoquer le retour en criticité du cœur au début de l'injection en branche chaude (de l'eau insuffisamment borée entrant dans le cœur après évacuation du bore par le liquide sortant du cœur),
- suffisamment court pour éviter une augmentation de la concentration en bore dans le cœur au-delà de la limite de cristallisation.

Cette analyse consiste donc en une estimation conservatrice des temps de basculement qui conduiraient soit à la limite de cristallisation du bore dans le cœur (risque de précipitation du bore), soit à la limite de dilution du bore dans l'IRWST (risque de retour en criticité dans le cœur).

4.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS

4.4.1. Analyse thermohydraulique

\square

L'objectif de ce calcul consiste à montrer l'efficacité du basculement de l'ISBP au moment où il s'effectue (signal IS + 1 h 30 min au plus tôt), à savoir la capacité à maintenir le cœur noyé et à initier un débit liquide injecté en branche chaude capable d'entrer dans la cuve.

4.4.2. Contrôle de la réactivité

La seconde partie de l'étude traite des deux derniers critères techniques d'acceptation relatifs au refroidissement à long terme et énumérés au § 2., liés à l'évaluation de la concentration en bore. Elle consiste en une estimation conservatrice des temps de basculement qui conduiraient, soit à la limite de cristallisation du bore dans le cœur (risque de précipitation du bore), soit à la limite de dilution du bore dans l'IRWST (risque de retour en criticité du cœur).

□

Cette partie de l'étude sert à calculer le temps de basculement maximal auquel doit s'effectuer le basculement de l'ISBP en branche chaude, vis-à-vis de la limite de dilution de bore dans l'IRWST. En effet, suite à l'injection de sécurité, de l'eau en provenance de l'IRWST est envoyée dans le cœur. Si celle-ci a une concentration en bore inférieure à la concentration limite, un retour en criticité du cœur pourrait être observé.

Pour l'aspect dilution de l'IRWST, un calcul explicite est réalisé □.

Dans ce calcul, les circuits primaire et secondaire sont explicitement modélisés et un bilan sur l'IRWST est intégré sous forme d'équations. Le « modèle IRWST » est défini de manière à pénaliser le calcul de la Cb et de la température de l'IRWST. En particulier, par conservation du bore dans le système « Circuit primaire et IRWST », la masse de bore contenue dans la phase liquide perdue à la brèche tombe instantanément dans l'IRWST, et la concentration en bore de la vapeur générée dans le cœur est nulle. Le mélange est supposé instantané dans l'IRWST, prenant en compte la masse d'eau initialement présente dans l'IRWST, le débit brèche qui lui parvient et les débits d'IS qui lui sont prélevés.

L'enceinte n'est pas modélisée, mais les hypothèses retenues considèrent de façon conservatrice soit la pression de fonctionnement normal (1 bar abs) pour le calcul de la densité, soit la pression de dimensionnement □ pour le calcul de l'enthalpie.

□

4.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

4.5.1. Analyse thermohydraulique

4.5.1.1. État initial

Cette étude est réalisée avec les mêmes hypothèses conservatrices que celles pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.1.), dans le but de minimiser l'inventaire en eau primaire au cours du calcul en favorisant l'échauffement du fluide primaire.

Comme pour l'atteinte de l'état contrôlé, le fonctionnement en prolongation de cycle est couvert par l'état initial à pleine puissance en cycle naturel.

4.5.1.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

La prise en compte du MDTE est pénalisante à cause de l'application du principe de maintenance préventive et de défaillance unique. Le MDTE est postulé à l'AAR.

Au titre de la maintenance préventive, la configuration la plus pénalisante est de considérer un diesel de secours indisponible. Cela conduit à l'indisponibilité d'un train RIS (ISMP+ISBP) correspondant à une boucle saine, et à l'indisponibilité de la pompe ASG sur cette boucle.

Au titre de l'aggravant, la défaillance unique la plus pénalisante est la perte d'un autre diesel de secours, dans une division correspondant à une boucle saine et interconnectée avec celle en maintenance. Les conséquences de l'aggravant sont l'indisponibilité d'un autre train RIS (ISMP+ISBP) correspondant à une boucle saine et à l'indisponibilité de la pompe ASG de cette boucle. Par ailleurs, le choix de l'aggravant sur un diesel de secours interconnecté au diesel de secours en maintenance préventive entraîne la perte d'un train RBS, rendu de ce fait indisponible.

Ce scénario vise ainsi à pénaliser à la fois l'inventaire en eau dans le circuit primaire et le refroidissement à long terme du cœur.

4.5.1.3. Hypothèses cœur

Les hypothèses relatives au cœur sont les mêmes que celles considérées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.3.).

4.5.1.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Les hypothèses relatives aux systèmes fluides et régulations sont les mêmes que celles considérées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.4.), excepté les modifications suivantes :

hypothèses concernant le secondaire

A cause de l'application de la maintenance préventive et de la défaillance unique, seules deux pompes ASG sont disponibles. Le débit par pompe est le même que dans l'étude jusqu'à l'arrêt contrôlé. Dès que l'opérateur entre dans la procédure de conduite, le niveau GV est contrôlé afin d'éviter une alimentation excessive des GV.

hypothèses concernant le système RIS

A cause de l'application de la maintenance préventive et de la défaillance unique, seuls deux trains RIS sont disponibles. Sur ces deux trains RIS, l'injection d'un train est supposée totalement perdue à la brèche du fait de la taille de brèche équivalente à celle du piquage RIS. De ce fait, seul un train RIS (ISMP+ISBP) injecte dans une branche froide du circuit primaire.

Les caractéristiques des pompes ISMP et ISBP sont minimisées avec la ligne ISMP à grand débit minimum fermée, et considérées pour les études long terme (durée supérieure à 7 h) : débit ISMP injectant seul en branche froide jusqu'à la pression de refoulement de l'ISBP, puis débit ISMP et ISBP injectant ensemble (voir sous-chapitre 15.1). Après basculement de l'ISBP en branche chaude, il subsiste un débit résiduel en branche froide.



4.5.1.5. Hypothèses protections

Les hypothèses relatives aux protections sont les mêmes que celles considérées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.5.).

4.5.1.6. Conduite opérateur

L'opérateur est supposé réaliser la première action 30 minutes après l'AAR.

diagnostic primaire fermé

L'opérateur doit rejoindre l'état d'arrêt sûr en suivant les règles de Conduite Incidentelle/Accidentelle (CIA) afférentes au Moyen de Conduite Principal (MCP) ou de Secours (MCS) et définies par l'Approche Par États (APE).

Pour une brèche intermédiaire, lorsque l'opérateur parcourt la règle d'orientation initiale en CIA au MCS, les GMPP sont hors service et la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est inférieure à ϵ . Si le permissif P16 n'est pas validé et que l'inventaire en eau n'est pas trop dégradé (niveau cuve supérieur au bas des branches chaudes (BBC) et primaire saturé ou sous-saturé), l'opérateur est conduit dans un premier temps vers la procédure de conduite « Passage en Arrêt à Froid (PAF) avec IS ».

Si l'inventaire en eau est dégradé (marge à la saturation ΔT_{sat} inférieure à $-\epsilon$ (surchauffe du primaire), ou niveau cuve en dessous du seuil BBC), ou que le permissif P16 est présent avec un primaire à saturation, l'opérateur est conduit vers la procédure de conduite « Restauration de l'Inventaire en Eau » (RIE).

contrôle de l'inventaire en eau des GV

Afin d'éviter une alimentation excessive des GV, l'opérateur réalise le contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés par régulation du débit ASG autour du niveau GV nominal \square .

- Si le niveau GV est supérieur au seuil Max1p de \square % GL \square , l'opérateur ferme la vanne réglante ASG.
- Si le niveau GV est compris entre \square % GE et \square % GL, le niveau GV est ramené à la consigne de niveau à charge nulle, le cas échéant après remise en service de la régulation automatique du niveau GV par l'ASG.
- Si le niveau GV est compris entre le seuil Min3p de \square % GL \square et \square % GE, le débit ASG doit être réglé au maximum pour rétablir le niveau GV.
- Si le niveau GV est inférieur à \square % GL \square en cas d'indisponibilité de l'ASG sur une boucle, le GV est considéré « inutilisable » et l'indisponibilité de la pompe ASG sur ce GV est confirmée.

conduite de l'IS

Dans la stratégie « RIE », l'inventaire en eau est prioritaire. Pour garantir cet objectif, l'ensemble des moyens du circuit RIS disponibles (ISMP, ISBP et accumulateurs) est mis en service.

Lorsque la pression primaire devient inférieure à \square bar \square , il y a un risque de décharge en azote des accumulateurs, et il convient de les isoler pour éviter la présence d'incondensables dans le circuit primaire.

refroidissement manuel

Le refroidissement partiel automatique s'étant correctement déroulé, la pression dans les GV est égale à \square bar \square , ce qui permet à l'ISMP d'injecter dans le circuit primaire.

Si l'opérateur est dans la procédure « PAF avec IS », il met en service les trains RBS disponibles, et effectue un refroidissement du cœur via les GV utilisables.

Le gradient de refroidissement requis dépend de la marge à la saturation en température, de la concentration en bore du circuit primaire et des moyens de borication en service, l'injection de bore devant compenser l'apport de réactivité introduite par le refroidissement :

- Un gradient de refroidissement de -50 °C/h est demandé si les deux files RBS sont en service.
- Un gradient de refroidissement de -50 °C/h est demandé si la marge à la saturation en température est inférieure à ϵ (un refroidissement accéléré est nécessaire afin de récupérer la marge à la saturation pour pouvoir arrêter les pompes ISMP et connecter le RIS-RA en mode RA), ou si la concentration en bore du RCP est supérieure à la concentration en bore requise à l'arrêt à froid.

- Un gradient de refroidissement limité à -25 °C/h est demandé si la marge à la saturation est supérieure à ε , si la concentration en bore du circuit primaire est inférieure à la concentration en bore requise à l'arrêt à froid et si seulement une file RBS est en service.

Si l'opérateur est orienté vers la stratégie « RIE », il met à l'arrêt le RBS s'il était en service, et effectue un refroidissement du cœur via les GV utilisables, avec un gradient de -50 °C/h si au moins deux trains ISMP sont en service et utilisables.

activation du permissif P16

La présence du permissif P16 est nécessaire pour basculer l'ISBP en branche chaude. L'opérateur valide ce permissif lorsque la totalité des critères suivants est respectée :

- pression en branche chaude inférieure à \square bar depuis 1 heure,
- bas ΔP aux bornes des 4 pompes primaires,
- marge à la saturation en pression ΔP_{sat} inférieure à \square bar,
- délai après le signal IS supérieur à 1 h 30 min.

basculement de l'ISBP en branche chaude

Le basculement de l'ISBP n'est réalisé qu'après validation du permissif P16 par l'opérateur, et sous réserve que la marge à la saturation en température ΔT_{sat} soit inférieure à ε .

P16 validé, l'opérateur effectue le basculement de toutes les pompes ISBP des branches froides vers les branches chaudes. La pompe ISBP déjà efficace injecte maintenant dans la branche chaude correspondante du circuit primaire. Par conservatisme, le débit du train ISBP de la branche rompue est supposé totalement perdu à la brèche, du fait de la contre-pression via la ligne d'injection de l'ISBP en branche froide rompue.

4.5.2. Contrôle de la réactivité

La limite de la solubilité du bore dans l'eau à 100 °C est de 27,5 % sans solution d'acide borique. En tenant compte d'une marge \square pour les incertitudes, elle \square correspond à une limite maximale de 41130 ppm de bore enrichi pour la concentration en bore dans le cœur.

La concentration en bore minimale d'état d'arrêt sûr à froid TGI-1 afin d'éviter le retour en criticité du cœur \square couvre tous les cycles de gestions de combustible UO₂, en tenant compte des incertitudes, pénalités et provisions, et en considérant toutes les grappes insérées, excepté celle ayant la réactivité négative la plus élevée qui est supposée bloquée dans sa position totalement extraite.

Les limites de concentration en bore sont par conséquent :

- concentration en bore dans le cœur $< 41130\text{ ppm}$ (bore enrichi), pour éviter le risque de cristallisation,
- concentration en bore de l'IRWST $> 1675\text{ ppm}$ (bore naturel), pour respecter la C_b d'état d'arrêt sûr à froid TGI-1.

4.5.2.1. Limite de cristallisation

En ce qui concerne l'estimation du temps de basculement maximal pour lequel la limite de cristallisation du cœur de 41130 ppm serait atteinte, les hypothèses sont choisies de façon à maximiser la concentration en bore du cœur :

\square

Remarque : dans ce calcul, les concentrations en bore se réfèrent à du bore enrichi.

4.5.2.2. Limite de dilution

4.5.2.2.1. Hypothèses d'étude

4.5.2.2.1.1. État initial et configurations étudiées

1) Taille de brèche étudiée :

La brèche étudiée est une brèche de 100 cm^2 en branche froide. Cette taille de brèche permet de couvrir l'ensemble du spectre des brèches intermédiaires. Ces calculs ont en effet pour but de vérifier que, lorsque le permissif P16 est validé, il reste une marge de temps suffisante avant atteinte de la Cb limite en arrêt à froid dans l'IRWST pour que l'opérateur puisse procéder au basculement de l'ISBP en branche chaude, sans risque de dilution dans le cœur. Une brèche de taille importante, caractérisée par un débit brèche conséquent, a en effet tendance à accélérer la dilution de l'IRWST.

La brèche 100 cm^2 en branche chaude, correspondant à la rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur, est écartée de l'analyse car en l'absence de perte d'une part de l'IS à la brèche, l'évacuation de puissance par l'IS est plus efficace et conduit à un débit vapeur à la brèche moindre, et par conséquent à une dilution moins importante de l'IRWST. De plus, en cas de brèche en branche chaude, tout le débit IS injecté initialement en branches froides traverse le cœur. Le débit de mélange liquide-vapeur sortant du circuit primaire par la brèche emporte donc du bore dans la partie liquide, évitant ainsi l'accumulation de bore dans le cœur et par conséquent la dilution de l'IRWST.

2) État initial :

Cette étude est réalisée avec les mêmes hypothèses conservatives que celles utilisées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.1.). En effet, les hypothèses conservatives choisies pour favoriser l'échauffement du primaire permettent également de pénaliser la dilution de l'IRWST, en maximisant le débit brèche vapeur.

4.5.2.2.1.2. Hypothèses spécifiques relatives aux concentrations en bore

Les hypothèses relatives à la concentration en bore initiale dans le circuit primaire et à la concentration en bore limite dans l'IRWST sont prises cohérentes pour le même Burn-up. La Cb limite correspond à un état d'arrêt sûr à froid toutes grappes insérées, excepté celle ayant la réactivité négative la plus élevée qui est supposée bloquée hors du cœur, et prend en compte les incertitudes, pénalités et provisions.

Les valeurs de Cb retenues correspondent à la configuration Début de vie équilibre xénon (DVX) et sont les suivantes :

- Cb primaire initiale 100 ppm ,
- Cb d'état d'arrêt sûr à froid TGI-1 100 ppm .

Remarque : les concentrations en bore sont exprimées en bore naturel.

4.5.2.2.1.3. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

La prise en compte du MDTE est pénalisante car elle conduit, compte-tenu de l'aggravant et de la MP appliqués sur des diesels, à une disponibilité réduite des moyens d'évacuation de puissance (deux pompes ISMP/ISBP et deux pompes ASG disponibles). Le MDTE est postulé à l'émission du signal IS, et a pour conséquences l'arrêt des GMPP puis le démarrage des pompes ASG disponibles sur signal « IS + MDTE » temporisé.

Au titre de la maintenance préventive, la configuration la plus pénalisante est de considérer un diesel de secours indisponible. Cela conduit à l'indisponibilité d'un train RIS (ISMP + ISBP), et à l'indisponibilité de la pompe ASG associée à cette boucle.

Au titre de l'aggravant, la défaillance unique la plus pénalisante est la perte d'un autre diesel de secours, dans une division interconnectée avec celle en maintenance. Les conséquences de l'aggravant sont l'indisponibilité d'un autre train RIS (ISMP+ISBP) et l'indisponibilité de la pompe ASG

correspondante. Par ailleurs, le choix de l'aggravant sur un diesel de secours interconnecté au diesel de secours en maintenance préventive entraîne la perte d'un train RBS, rendu de ce fait indisponible.

La maintenance préventive et l'aggravant sont pris sur deux boucles intactes, de manière à valoriser l'injection de sécurité sur la boucle rompue et une boucle intacte et ainsi diminuer la capacité d'évacuation de puissance par l'IS.

Cette configuration vise ainsi à pénaliser à la fois l'inventaire en eau dans le circuit primaire et le refroidissement à long terme du cœur, de manière à maximiser la production de vapeur à la brèche.

4.5.2.2.1.4. Hypothèses cœur

Les hypothèses relatives au cœur sont les mêmes que celles considérées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.3.).

4.5.2.2.1.5. Hypothèses systèmes fluides et régulations

Les hypothèses relatives aux systèmes fluides et régulations sont les mêmes que celles considérées pour le calcul thermohydraulique long terme (voir § 4.5.1.4.), excepté les modifications détaillées dans les paragraphes suivants.

1) Hypothèses concernant l'IRWST :

Dans le but de minimiser la concentration en bore de l'IRWST, la concentration en bore initiale de l'IRWST est prise minimale [], et le volume liquide initial de l'IRWST est pris minimal [].

La dilution de l'IRWST étant pénalisée par la non-valorisation de la plus grande masse de bore possible, le remplissage des volumes de rétention [] dans l'enceinte est également pris en compte. De manière pénalisante, ces volumes sont remplis par le débit des pompes ISMP et ISBP injectant dans la boucle rompue et directement perdu à la brèche, à une Cb proche de la Cb initiale de l'IRWST (et donc à une Cb plus élevée que la Cb à la brèche, proche de la Cb primaire initiale). Une fois les [] m³ atteints, le débit IS retourne intégralement à l'IRWST.

2) Hypothèses concernant le système RIS :

Du fait de l'application de la maintenance préventive et de la défaillance unique, seuls deux trains RIS sont disponibles. Sur ces deux trains RIS, l'injection d'un train est supposée totalement perdue à la brèche suite à l'injection en boucle rompue, du fait de la taille de brèche équivalente à celle du piquage RIS. De ce fait, un seul train RIS (ISMP+ISBP) injecte dans une branche froide du circuit primaire.

Les caractéristiques des pompes ISMP et ISBP sont prises avec la ligne ISMP à grand débit minimum fermée. Le but de ces calculs étant de déterminer l'instant au-delà duquel le basculement de l'ISBP ne devrait plus être mis en œuvre, tous les débits ISMP et ISBP sont donnés en branche froide et avant basculement.

débit ISMP/ISBP

Des débits IS minimisés pénalisent le refroidissement du circuit primaire et maximisent le débit vapeur. De plus, la diminution de l'efficacité de l'évacuation de puissance par l'IS est prépondérante par rapport à la diminution de la masse d'eau et de bore contenue dans l'IRWST, conséquence de l'utilisation de débits IS maximisés. Les débits IS sont donc pris minimaux et sont considérés pour les études long terme (durée supérieure à 7 h) et avec les injections ISMP et ISBP simultanées.

température ISMP/ISBP

Les températures de l'ISMP et de l'ISBP sont prises en cohérence avec l'évolution de température observée dans l'IRWST. Pour les pompes ISMP, la température reste celle de l'IRWST tant que les pompes n'ont pas démarré, puis elle prend en compte un échauffement enveloppe [] dû au fonctionnement des pompes. Pour les pompes ISBP, la température reste celle de l'IRWST tant que les pompes n'ont pas démarré, puis le refroidissement consécutif au passage dans l'échangeur RIS/RRI/SEC est pris en compte, celui-ci étant plus important lorsque la pompe fonctionne en circuit fermé sur la ligne à débit nul que lorsque la pompe injecte de manière effective dans le circuit primaire.

accumulateurs

De manière à pénaliser le remplissage des volumes de rétention dans l'enceinte par l'IS perdue à la brèche, l'accumulateur associé à la boucle rompue est par conservatisme considéré indisponible, permettant ainsi de maximiser le volume issu de l'IRWST perdu dans les rétentions.

4.5.2.2.1.6. Hypothèses concernant le système RBS

Par conservatisme, le bore apporté par le RBS n'est pas pris en compte dans cette étude. Ainsi, de manière analogue à ce qui est fait pour le scénario thermohydraulique long terme, le RBS n'est pas valorisé, ni suite au signal de démarrage automatique sur basse pression pressuriseur (Min4p), [].

4.5.2.2.2. Hypothèses protections

Les hypothèses relatives aux protections sont les mêmes que celles considérées pour l'atteinte de l'état contrôlé (voir § 3.5.5.).

4.5.2.2.3. Conduite opérateur

Les actions mises en œuvre par l'opérateur lors de la phase d'atteinte de l'état d'arrêt sûr sont les mêmes que pour l'analyse thermohydraulique long terme (voir § 4.5.1.6.), excepté les modifications suivantes :

activation du permissif P16

La présence du permissif P16 est nécessaire pour basculer l'ISBP en branche chaude. L'opérateur valide ce permissif lorsque la totalité des critères suivants est respectée :

- pression en branche chaude inférieure à [] bar depuis 1 h,
- bas ΔP aux bornes des 4 pompes primaires,
- marge à la saturation en pression ΔP_{sat} inférieure à [] bar,
- délai après le signal IS supérieur à 1 h 30 min.

Contrairement à l'analyse thermohydraulique long terme, l'étude de dilution de l'IRWST cherche à retarder la validation de P16, de manière à minimiser la plage de temps disponible pour la mise en œuvre du basculement de l'ISBP en branche chaude par l'opérateur avant l'atteinte des conditions critiques. Les incertitudes [] pour la mesure de la pression en branche chaude et [] pour le calcul du ΔP_{sat} sont donc prises dans le sens négatif.

basculement de l'ISBP en branche chaude

Cette partie de l'étude consiste à vérifier que, lors de la validation du permissif P16 pour le basculement de l'ISBP en branche chaude, la C_b dans l'IRWST est supérieure à la C_b limite, et à s'assurer qu'il existe une marge de temps suffisante pour permettre les actions opérateur. Le basculement n'est donc pas réalisé ici.

4.6. RÉSULTATS**4.6.1. ÉVALUATION THERMOHYDRAULIQUE**

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4f1.22.](#)

Les figures [FIG-15.2.4f1.42](#) à [FIG-15.2.4f1.58](#) représentent l'évolution des principaux paramètres.

Après ouverture de la brèche (dans la boucle 4), la pression primaire décroît très rapidement, et le signal d'AAR est émis à 10 s, après atteinte du seuil « Basse Pression Pressuriseur » (figure [FIG-15.2.4f1.44](#)).

Le MDTE intervient au même instant, ce qui conduit à l'arrêt des GMPP et à la baisse du débit primaire dans les boucles et dans le cœur. Par hypothèse de découplage, l'ARE est isolée complètement au même instant.

Le déclenchement turbine qui suit, a pour effet d'augmenter brusquement la pression secondaire, mais le signal « Haute Pression GV » n'est pas atteint avant l'émission du signal d'IS à 21 s sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p). Ce dernier provoque le début du refroidissement partiel à -250 °C/h à l'aide des VDA des 4 GV, et le démarrage temporisé de l'ASG sur « Signal IS + MDTE ».

Sous l'effet du passage en vapeur à la brèche, celle-ci devient suffisante pour évacuer la puissance résiduelle (figure [FIG-15.2.4f1.58](#)), et la pression primaire se découple de la pression secondaire à 140 s.

Le refroidissement partiel permet à la pression primaire de baisser et d'être compatible avec la pression de refoulement de la pompe ISMP en boucle 3 (IS non disponible dans les boucles 1 et 2, du fait de la maintenance préventive et de l'aggravant, et IS perdue à la brèche dans la boucle 4). Celle-ci commence à injecter dans le circuit primaire à 170 s (figures [FIG-15.2.4f1.46](#) à [FIG-15.2.4f1.48](#)).

La dépressurisation du primaire se poursuit malgré la stabilisation de la pression secondaire. Le débit ISMP augmente mais ne permet pas de compenser le débit brèche. La diminution de l'inventaire en eau du circuit primaire se poursuit et le cœur finit par se dénoyer à 223 s (figures [FIG-15.2.4f1.45](#) et [FIG-15.2.4f1.57](#)). Les accumulateurs commencent à injecter dans trois branches froides (celui dans la boucle 4 étant directement perdu à la brèche) lorsque la pression primaire atteint \square bar (pression minimale de refoulement) à 258 s (figure [FIG-15.2.4f1.47](#)). Les accumulateurs continuant à injecter et le débit d'ISMP augmentant au fur et à mesure de la dépressurisation du primaire, le dénoyage du cœur prend fin à 304 s.

La seule pompe ISBP disponible finit par injecter dans une des branches froides intactes à 380 s.

L'ASG est démarrée après temporisation dans les GV 3 et 4 (ASG non disponible dans les GV 1 et 2 du fait de la maintenance préventive et de l'aggravant) à 977 s (figure [FIG-15.2.4f1.55](#)).

L'ASG est automatiquement isolée à 1198 s et 1283 s, successivement dans les deux GV alimentés, sur atteinte du signal « Haut Niveau GV Gamme Large » \square .

Les premières actions opérateur interviennent 30 minutes après l'AAR (1810 s). L'Orientation Initiale en Conduite Incidentelle/Accidentelle au MCS conduirait l'opérateur dans la procédure de conduite « Passage en Arrêt à Froid avec IS » du fait de l'inventaire en eau du primaire supérieur au BBC et à la marge à la saturation en température ΔT_{sat} supérieure à $-\varepsilon$. Néanmoins, comme il serait conduit 1 heure plus tard dans la procédure « Restauration de l'Inventaire en Eau » sur permissif P16 présent et marge à la saturation en température ΔT_{sat} inférieure à ε , il est pénalisant vis-à-vis du basculement de l'ISBP en branche chaude, de considérer une orientation directe vers cette stratégie qui ne demande pas la mise en service du RBS (à température plus basse que le fluide primaire). L'opérateur est donc supposé réorienté vers la stratégie « Restauration de l'Inventaire en Eau ».

L'opérateur régule le niveau des GV par l'ASG au niveau de consigne de \square % GL \square , et entame un refroidissement manuel à -50 °C/h à l'aide des VDA des GV sains, car au moins deux trains ISMP sont en service et utilisables.

A 5421 s, la pression en branche chaude étant inférieure à \square bar depuis plus d'une heure le permissif P16 est validé, et le basculement de l'ISBP de la branche froide vers la branche chaude est effectué par l'opérateur (figure [FIG-15.2.4f1.48](#)).

Comme le montrent les figures [FIG-15.2.4f1.50](#), [FIG-15.2.4f1.51](#) et [FIG-15.2.4f1.52](#), avant le basculement de l'ISBP en branche chaude, l'IS de la boucle 3 apporte environ \square kg/s de liquide à l'entrée de la cuve, tandis qu'environ \square kg/s sont perdus à la brèche : \square kg/s d'eau traversent donc le cœur. Au moment du basculement, le débit ISBP injecté dans la branche chaude non rompue, environ \square kg/s, est suffisant pour circuler à contre-courant de la vapeur provenant du cœur, environ \square kg/s : \square kg/s de liquide traversent donc le cœur. Cela permet de diluer le bore du cœur et d'évacuer la puissance résiduelle du cœur, pour la plus grande brèche en branche froide.

Le cœur reste toujours noyé après l'état contrôlé, et le basculement ISBP met fin à l'accumulation de bore dans le cœur et à la dilution de bore dans l'IRWST.

En cas de brèche située en branche chaude, en considérant le choix de défaillance unique et de maintenance préventive le plus pénalisant, au moins deux pompes ISMP injectent dans les branches froides au temps minimal du basculement. A ce moment, la puissance résiduelle à évacuer est maximisée et égale à \square MW \square .

Par définition du permissif P16, la pression primaire au moment du basculement de l'ISBP en branches chaudes est au maximum de \square bar \square . Le débit minimal d'eau apportée dans le cœur par deux trains ISMP à \square °C (température maximisée) et \square bar étant d'environ \square m³/h, la puissance qui pourrait être évacuée par deux trains ISMP est de l'ordre de \square MW, soit plus de 3 fois la puissance résiduelle \square .

Ainsi, dans la situation la plus défavorable, sans valorisation de l'ISBP, le cœur est balayé par un débit liquide suffisant pour évacuer la puissance résiduelle et limiter la concentration en bore dans le cœur.

Ces résultats montrent que le débit d'injection RIS et les capacités d'évacuation de la puissance sont suffisants pour évacuer la puissance résiduelle du cœur avant et après le temps de basculement. En cas de brèche en branche froide, après basculement, les concentrations en bore s'équilibrent entre le cœur et l'IRWST. En cas de brèche en branche chaude, cette égalisation a lieu avant le basculement de l'ISBP en branche chaude.

Pour s'assurer que l'évacuation de puissance est effective, il reste à vérifier que la géométrie du cœur reste refroidissable (pas de cristallisation de bore), et que le retour en criticité du cœur est évité (aucune dilution IRWST inacceptable).

4.6.2. Évaluation de la concentration en bore

4.6.2.1. Limite de cristallisation

En maximisant la concentration en bore dans le cœur et en minimisant la masse dans laquelle le bore se concentre \square , le temps de basculement pour lequel la limite de cristallisation du cœur de 41130 ppm serait atteinte est de \square min, décomptées à partir de l'AAR.

4.6.2.2. Limite de dilution

La séquence des évènements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4f1.23](#). Les évolutions des principaux paramètres sont données en figure [FIG-15.2.4f1.59](#) à figure [FIG-15.2.4f1.62](#).

Avant intervention de l'opérateur, les caractéristiques des circuits primaire et secondaire sont les mêmes que celles décrites au [§ 4.6.1.](#)

Compte tenu de la taille de brèche considérée, la marge à la saturation se dégrade rapidement, et suite au contrôle de la température, l'opérateur est orienté vers les actions de restauration du ΔT_{sat} , avec refroidissement manuel à -50 °C/h.

Les conditions de validation du permissif P16 sont atteintes à 5872 s ; la concentration en bore dans l'IRWST est alors \square supérieure à la Cb d'état d'arrêt sûr à froid TGI-1 \square . Le temps de basculement pour lequel la limite de dilution IRWST serait atteinte est de \square s \square , décomptées à partir de l'AAR.

4.6.2.3. Conclusion sur le contrôle de la réactivité

Les résultats des analyses long terme concernant l'aspect concentration en bore en cas d'APRP BI montrent que, aussi bien vis-à-vis du risque de cristallisation du bore dans le cœur que du risque de dilution de l'IRWST, les délais de grâce disponibles pour effectuer le basculement de l'ISBP en branche chaude sont supérieurs à \square .

4.7. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLEMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION

Modification des débits RIS

Les résultats présentés au paragraphe précédent sont affectés par une modification, concernant la valeur des débits RIS, introduite entre l'état intermédiaire et celui en cohérence avec l'état final de conception.

Une analyse d'impact a été menée sur les études d'APRP BI et GB en état A et a démontré l'absence d'impact sûreté de cette modification. Les conclusions présentées au paragraphe suivant ne sont donc pas remises en cause.

4.8. CONCLUSION

Les résultats présentés aux [§ 4.6.1.](#) et [§ 4.6.2.](#) démontrent que, moyennant les actions de conduite appropriées, la conception RIS :

- garantit une évacuation de la puissance du cœur,
- évite tout risque de cristallisation du bore dans le cœur et tout risque de dilution inacceptable de l'IRWST.

La conduite appropriée consiste à basculer l'ISBP de l'injection en branche froide vers l'injection en branche chaude, au plus tôt 1h30 min après le signal IS². Cette conduite est nécessaire en cas de brèches en branche froide suffisamment grandes pour provoquer une saturation du RCP. Elle garantit un refroidissement sûr du cœur à long terme avant et après basculement de l'ISBP en branche chaude, le maintien d'un débit liquide traversant le cœur et l'absence de dilution de l'IRWST ou de cristallisation de bore dans le cœur.

L'étude de dilution hétérogène inhérente en cas de brèche primaire est présentée dans la section 15.2.3e1 relative à l'accident APRP Petites Brèches (APRP PB), car les tailles de brèche pénalisantes de cette étude font partie de la catégorie des petites brèches.

L'injection de bore par l'IS ainsi que la chute des grappes garantissent le maintien de la sous-criticité.

Par ailleurs, le cœur est renoyé, et le pic température de gaine atteint lors de l'excursion de température reste limité. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Enfin l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par la brèche ainsi que par les chaînes RIS/RRI/SEC des pompes ISBP en service.

Ainsi, la présente étude montre que, malgré la défaillance unique la plus pénalisante et la maintenance préventive la plus pénalisante, l'état d'arrêt sûr peut être atteint et les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) sont respectés, en utilisant uniquement des moyens F1.

5. CONCLUSION

La présente analyse démontre que, en cas de brèche intermédiaire ou de grosse brèche primaire, l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) est respecté.

L'analyse du spectre de brèches intermédiaires a conduit à l'identification de deux scénarios pénalisants ([§ 3.6.3.](#)). Ces deux scénarios présentent des pics de température de gaine ainsi qu'une oxydation maximale de la gaine limitée. La production d'hydrogène sur l'ensemble du cœur est inférieure à 1 % de la production qui résulterait de l'oxydation de la totalité des gaines du combustible. Les critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages limités sur les assemblages combustibles ainsi que celui sur la quantité maximale d'hydrogène générée sont ainsi respectés ([§ 3.6.3.](#) et [§ 3.7.](#)).

2. Pour les besoins de l'étude APRP, l'injection en branche chaude est requise au plus tard min après l'AAR, afin que la limite de dilution de l'IRWST soit respectée. Toutefois, ce délai au plus tard peut être inférieur pour le besoin d'autres études (P & T enceinte).

Par ailleurs, vis-à-vis de l'atteinte de l'état contrôlé (§ 3.8.), le cœur, entièrement renoyé, est sous-critique du fait de la chute des grappes et de l'apport de bore par l'injection de sécurité, la puissance résiduelle est évacuée par la brèche et par les GV, l'inventaire en eau du primaire est stabilisé du fait de l'injection de sécurité et les rejets radiologiques restent tolérables du fait des dommages limités sur les assemblages combustibles L'état contrôlé est par conséquent atteint.

A plus long terme (§ 4.6.), le basculement de l'injection ISBP de la branche froide vers la branche chaude permet de maintenir un refroidissement à long terme du cœur tout en garantissant l'absence de risques de cristallisation du bore et de dilution de l'IRWST.

L'absence de dilution hétérogène inhérente pour les cas de brèches primaires est vérifiée dans la section 15.2.3e1.

Par ailleurs, la sous-criticité du cœur est garantie à long terme du fait du bore contenu dans l'injection de sécurité, et l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par la brèche ainsi que les par les chaînes RIS/RRI/SEC des pompes ISBP en service.

Enfin, le cœur est renoyé, et le pic température de gaine atteint lors de l'excursion de température reste limité. Les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Ainsi, l'état d'arrêt sûr est atteint.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 42/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 43/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4F1.1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – CONDITIONS INITIALES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 44/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F1.2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT -
DISTRIBUTION DE PUISSANCE POUR LES CRAYONS
COMBUSTIBLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 45/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F1.3 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – PUISSANCE
RÉSIDUELLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 46/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F1.4 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – SPECTRE DE BRÈCHES
INTERMÉDIAIRES EN BRANCHE FROIDE SANS MDTE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 47/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4F1.5 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE DES GROSSES BRÈCHES (RUPTURES GUILLOTINES DOUBLEMENT DÉBATTUES DES LIGNES RIS ET DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR) – CAS SANS MDTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 48/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F1.6 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – SPECTRE DE BRÈCHES
INTERMÉDIAIRES EN BRANCHE FROIDE AVEC MDTE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 49/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4F1.7 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE DES GROSSES BRÈCHES (RUPTURES GUILLOTINES DOUBLEMENT DÉBATTUES DES LIGNES RIS ET DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR) – CAS AVEC MDTE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 50/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F1.8 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT
– RÉSULTATS DU CAS PENALISANT N°1 (SANS MDTE –
AVEC BTGV)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 51/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F1.9 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT
– RÉSULTATS DU CAS PENALISANT N°2 (AVEC MDTE –
SANS BTGV)**

□

TAB-15.2.4F1.10 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
20,4	Signal AAR - Isolement ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
33,5	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
35,8	Début effectif du refroidissement partiel
125	Arrêt des GMPP
218	Début injection ISMP en branches froides 2 et 4
316	Minimum de masse liquide cœur □
489	Fin du refroidissement partiel
869	Début du dénoyage du cœur
956	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2, 3 et 4
1122	Minimum de masse totale primaire □
1127	Pic de température de gaine du crayon chaud □
1292	Fin du dénoyage du cœur
1820	Isolement des accumulateurs
3000	Fin du calcul

TAB-15.2.4F1.11 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ SANS MDTE
AVEC BTGV

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
17,9	Signal AAR – Isolement ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
30,6	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
32,9	Début effectif du refroidissement partiel
104	Arrêt des GMPP
215	Début injection ISMP en branches froides 2 et 4
369	Début du premier dénoyage du cœur
376	Minimum de masse liquide cœur □
386	Fin du premier dénoyage du cœur
486	Fin du refroidissement partiel
697	Début du second dénoyage du cœur
790	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2, 3 et 4
931	Minimum de masse totale primaire □
952	Pic de température de gaine du crayon chaud □
1080	Fin du second dénoyage du cœur
1818	Isolement des accumulateurs
2665	Début injection ISBP en branche froide 4
2666	Début injection ISBP en branche froide 2
3000	Fin du calcul

TAB-15.2.4F1.12 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
16,2	Signal AAR – Isolement ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
28,3	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
30,6	Début effectif du refroidissement partiel
91,2	Arrêt des GMPP
221	Début injection ISMP en branches froides 2 et 4
316	Début du premier dénoyage du cœur
321	Minimum de masse liquide cœur □
338	Fin du premier dénoyage du cœur
484	Fin du refroidissement partiel
579	Début du second dénoyage du cœur
662	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2, 3 et 4 - Minimum de masse totale primaire □
814	Pic de température de gaine du crayon chaud □
942	Fin du second dénoyage du cœur
1626	Début injection ISBP en branches froides 2 et 4
1816	Isolement des accumulateurs
3000	3000

**TAB-15.2.4F1.13 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ SANS MDTE
AVEC BTGV**

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
14,8	Signal AAR – Isolement ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
26,5	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
28,8	Début effectif du refroidissement partiel
80,5	Arrêt des GMPP
217	Début injection ISMP en branches froides 2 et 4
279	Minimum de masse liquide cœur □
280	Début du premier dénoyage du cœur
299	Fin du premier dénoyage du cœur
482	Fin du refroidissement partiel
497	Début du second dénoyage du cœur
569	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2, 3 et 4 – Minimum de masse totale primaire □
693	Pic de température de gaine du crayon chaud □
759	Fin du second dénoyage du cœur
1441	Début injection ISBP en branches froides 2 et 4
1815	Isolement des accumulateurs
3000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4F1.14 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ SANS MDTE
AVEC BTGV**

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
13,6	Signal AAR - Isolement ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
25,1	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
27,4	Début effectif du refroidissement partiel
75,7	Arrêt des GMPP
210	Début injection ISMP en branches froides 2 et 4
240	Minimum de masse liquide cœur □
424	Début du dénoyage du cœur
481	Fin du refroidissement partiel
503	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2, 3 et 4 – Minimum de masse totale primaire □
617	Pic de température de gaine du crayon chaud □
667	Fin du dénoyage du cœur
1127	Début injection ISBP en branches froides 2 et 4
1814	Isolement des accumulateurs
3000	Fin du calcul

TAB-15.2.4F1.15 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
13,1	Signal AAR – Isolement ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
24,4	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
26,7	Début effectif du refroidissement partiel
66,5	Arrêt des GMPP
206	Début injection ISMP en branches froides 2 et 4
217	Minimum de masse liquide cœur □
372	Début du dénoyage du cœur
451	Début injection accumulateur en branches froides 1, 2, 3 et 4
454	Minimum de masse totale primaire □
480	Fin du refroidissement partiel
578	Pic de température de gaine du crayon chaud □
626	Fin du dénoyage du cœur
1062	Début injection ISBP en branches froides 2 et 4
1813	Isolement des accumulateurs
3000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4F1.16 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE [] SANS MDTE
AVEC BTGV**

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
12,3	Signal AAR – Isolement ARE
[]	Début de chute des grappes
[]	Déclenchement turbine
23,5	Signal IS
[]	Démarrage du refroidissement partiel
25,8	Début effectif du refroidissement partiel
62,9	Arrêt des GMPP
199	Début injection ISMP en branches froides 2 et 4
194	Minimum de masse liquide cœur []
337	Début du dénoyage du cœur
410	Début injection accumulateur en branches froides 1, 2, 3 et 4
413	Minimum de masse totale primaire []
479	Fin du refroidissement partiel
515	Pic de température de gaine du crayon chaud []
541	Fin du dénoyage du cœur
808	Début injection ISBP en branches froides 2 et 4
1812	Isolement des accumulateurs
3000	Fin du calcul

TAB-15.2.4F1.17 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
18,5	Signal AAR – Isolement ARE – Arrêt des GMPP consécutivement au MDTE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
33,1	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
35,4	Début effectif du refroidissement partiel
231	Début injection ISMP en branche froide 2
284	Minimum de masse liquide cœur □
489	Fin du refroidissement partiel
703	Début du dénoyage du cœur
771	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2 et 3
797	Minimum de masse totale primaire □
924	Pic de température de gaine du crayon chaud □
974	Fin du dénoyage du cœur
989	Démarrage ASG (plein débit) sur GV 2 et 4
1777	Arrêt ASG sur GV2
1779	Début injection ISBP en branche froide 2
1791	Arrêt ASG sur GV4
1819	Isolement des accumulateurs
3000	Fin du calcul

TAB-15.2.4F1.18 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
16,4	Signal AAR – Isolement ARE – Arrêt des GMPP consécutivement au MDTE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
30,6	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
32,9	Début effectif du refroidissement partiel
226	Début injection ISMP en branche froide 2
486	Fin du refroidissement partiel
522	Début du dénoyage du cœur
651	Minimum de masse totale primaire □ Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2 et 3
656	Minimum de masse liquide cœur □
766	Pic de température de gaine du crayon chaud □
913	Fin du dénoyage du cœur
986	Démarrage ASG (plein débit) sur GV 2 et 4
1406	Début injection ISBP en branche froide 2
1705	Arrêt ASG sur GV2 et GV4
1817	Isolement des accumulateurs
3000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4F1.19 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS POUR UNE BRÈCHE DE □ AVEC MDTE
SANS BTGV**

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
15,2	Signal AAR – Isolement ARE – Arrêt des GMPP consécutivement au MDTE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
29,1	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
31,4	Début effectif du refroidissement partiel
207	Minimum de masse liquide cœur □
219	Début injection ISMP en branche froide 2
225	Pic de température de gaine du crayon chaud □
485	Fin du refroidissement partiel
565	Minimum de masse totale primaire □
565	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2, et 3
985	Démarrage ASG (plein débit) sur GV 2 et 4
1228	Début injection ISBP en branche froide 2
1616 / 1637	Arrêt ASG sur GV2 / GV4
1815	Isolement des accumulateurs
3000	Fin du calcul

TAB-15.2.4F1.20 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE AVEC MDTE SANS BTGV

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
10,2	Signal AAR – Isolement ARE – Arrêt des GMPP consécutivement au MDTE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
21,0	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
23,3	Début effectif du refroidissement partiel
116	Minimum de masse liquide cœur □
120	Début du premier dénoyage du cœur
132	Fin du premier dénoyage du cœur
140	Premier pic de température de gaine du crayon chaud □
149	Début injection ISMP en branche froide 2 et 4
226	Début du second dénoyage du cœur
262	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2, 3 et 4
263	Minimum de masse totale primaire □
292	Second pic de température de gaine du crayon chaud □
299	Fin du second dénoyage du cœur
358	Début injection ISBP en branche froide 2 et 4
477	Fin du refroidissement partiel
976	Démarrage ASG (plein débit) sur GV 2 et 4
1192 / 1203	Arrêt ASG sur GV 2 / GV 4



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 63/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Temps (s)	Évènements
1810	Isolement des accumulateurs
2000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4F1.21 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT
INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES
ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE
D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □ SANS MDTE AVEC
BTGV**

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
5,4	Signal AAR - Isolement ARE
□	Début de chute des grappes
□	Déclenchement turbine
8,9	Signal IS
□	Démarrage du refroidissement partiel
11,2	Début effectif du refroidissement partiel
25,1	Arrêt des GMPP
57,4	Début injection ISMP en branches froides 2 et 4
113	Début du dénoyage du cœur
114	Début injection accumulateurs en branches froides 1, 2, 3 et 4
114	Minimum de masse totale primaire □
121	Minimum de masse liquide cœur □
130	Début injection ISBP en branches froides 2 et 4
131	Pic de température de gaine du crayon chaud □
134	Fin du dénoyage du cœur
465	Fin du refroidissement partiel
1805	Isolement des accumulateurs
2000	Fin du calcul

TAB-15.2.4F1.22 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – SÉQUENCE D'ÉVÈNEMENTS

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
10,2	Signal AAR : - isolement ARE - MDTE (arrêt des pompes primaires)
□	Chute des grappes
□	Déclenchement turbine
21,0	Signal IS – Début du refroidissement partiel
169,6	Début d'injection de l'ISMP
257,8	Début d'injection des accumulateurs
380,2	Début d'injection de l'ISBP
476,9	Fin du refroidissement partiel
976,5	Démarrage de l'ASG dans les GV 3 et 4
1197,8	Isolement automatique de l'ASG dans le GV 4 (sur haut niveau GV)
1282,8	Isolement automatique de l'ASG dans le GV 3 (sur haut niveau GV)
1810	Entrée dans la procédure post-accidentelle RIE : - régulation manuelle des niveaux GV par l'ASG - démarrage du refroidissement manuel contrôlé à -50 °C/h par les 4 GV - isolement manuel des accumulateurs
5421	Validation du permis P16 : - basculement de l'ISBP de la branche froide vers la branche chaude - atteinte de l'état d'arrêt sûr (fin du calcul)

TAB-15.2.4F1.23 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE [] – SÉQUENCE D'ÉVÈNEMENTS

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
11,0	Signal AAR – Isolement ARE
[]	Chute des grappes
[]	Déclenchement turbine
20,7	Signal IS – MDTE (arrêt des GMPP)
22,1	Déclenchement des chaufferettes pressuriseur
[]	Début du refroidissement partiel
169,2	Début d'injection de l'ISMP en branche froide 3
259,3	Début d'injection des accumulateurs en branches froides 1, 2 et 3
371,4	Début d'injection de l'ISBP en branche froide 3
476,5	Fin du refroidissement partiel
976,2	Démarrage de l'ASG dans les GV 3 et 4
1256,6	Isolement automatique de l'ASG dans le GV 4 (sur haut niveau GV)
1262,5	Isolement automatique de l'ASG dans le GV 3 (sur haut niveau GV)
1811,0	Début des actions opérateur – Isolement des accumulateurs – Refroidissement manuel à -50°C/h
3476,2	Remplissage des []m ³ de rétentions par l'IS perdue à la brèche
5872,3	Validation du permissif P16
15133	Atteinte de la Cb limite dans l'IRWST
20000	Fin du calcul

FIG-15.2.4F1.1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – DISTRIBUTIONS AXIALES DE PUISSANCE DU CRAYON MOYEN DU CŒUR, DU CRAYON MOYEN DE L'ASSEMBLAGE CHAUD ET DU CRAYON CHAUD POUR LA DÉTERMINATION DU TRANSITOIRE SYSTÈME PÉNALISANT - DISTRIBUTIONS AXIALES DE PUISSANCE DU CRAYON CHAUD POUR L'ÉTUDE D'ÉPUISEMENT

□

**FIG-15.2.4F1.2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ - BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV - PRESSIONS
DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE - INVENTAIRE EN EAU
DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.3 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.4 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ EN SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.5 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.6 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS
MASSIFS LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.7 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.8 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTEAVEC BTGV – PRESSIONS
DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU
DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.9 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE- DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.10 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.11 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.12 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.13 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.14 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.15 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.16 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.17 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.18 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE- DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□

FIG-15.2.4F1.19 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD

□

**FIG-15.2.4F1.20 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.21 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE- DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 88/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.22 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.23 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.24 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE- DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.25 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.26 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.27 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE- DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 94/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.28 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.29 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.30 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE- DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS + ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.31 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – NIVEAU
GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE
MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD**

□

**FIG-15.2.4F1.32 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE
AVEC MDTE SANS BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE
ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE
ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.33 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE
AVEC MDTE SANS BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET
VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS +
ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.34 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE
AVEC MDTE SANS BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE
CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU
CRAYON CHAUD**

□

FIG-15.2.4F1.35 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □ SANS MDTE AVEC BTGV – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE– INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□

**FIG-15.2.4F1.36 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ- RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU
PRESSURISEUR □ SANS BTGV – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET
VAPEUR À LA BRÈCHE- DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS +
ACCUMULATEURS**

□

FIG-15.2.4F1.37 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □ SANS MDTE AVEC BTGV – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR VU PAR LE CRAYON CHAUD – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD

□

**FIG-15.2.4F1.38 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ SANS MDTE AVEC BTGV – ÉTUDE
D'ÉPUISEMENT – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU
CRAYON CHAUD – OXYDATION MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON
CHAUD CRÉÉE DURANT LE TRANSITOIRE**

□

FIG-15.2.4F1.39 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE SANS MDTE AVEC BTGV – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT – DÉFORMATION DE LA GAINÉ À LA COTE DE LA TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD

FIG-15.2.4F1.40 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD – OXYDATION MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD CRÉÉE DURANT LE TRANSITOIRE

□

FIG-15.2.4F1.41 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT A – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – BRÈCHE DE □ AVEC MDTE SANS BTGV – ÉTUDE D'ÉPUISEMENT – DÉFORMATION DE LA GAINÉ À LA COTE DE LA TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON CHAUD

□

**FIG-15.2.4F1.42 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] –
PUISSANCE CŒUR – ÉCHANGE PRIMAIRE SECONDAIRE**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 109/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.43 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ –
PUISSANCE CŒUR – ÉCHANGE PRIMAIRE SECONDAIRE – ZOOM**

□

**FIG-15.2.4F1.44 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE [] –
PRESSIONS PRIMAIRES ET SECONDAIRES – TEMPÉRATURES
LIQUIDE PRIMAIRE**

[]

**FIG-15.2.4F1.45 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ –
NIVEAU GONFLÉ DANS LA CUVE – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR**

□

**FIG-15.2.4F1.46 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ –
INVENTAIRE EN EAU DU PRIMAIRE ET DU SECONDAIRE – DÉBIT
MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+ACCUMULATEURS**

□

**FIG-15.2.4F1.47 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – DÉBIT
MASSIQUE À LA BRÈCHE ET DÉBIT IS+ACCUMULATEURS (ZOOM)
– DÉBIT ACCUMULATEURS EN BRANCHE FROIDE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 114/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.48 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ – DÉBIT
ISMP/ISBP EN BRANCHE FROIDE – DÉBIT ISBP EN BRANCHE
CHAUDE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 115/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.49 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – BRÈCHE DE □ –
MARGE A LA SATURATION DPSAT – MARGE A LA SATURATION
DTSAT**

□

**FIG-15.2.4F1.50 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE □ – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
INTÉGRALE DU DÉBIT LIQUIDE ENTRANT DANS LA CUVE –
INTÉGRALE DU DÉBIT LIQUIDE SORTANT DE LA CUVE**

□

**FIG-15.2.4F1.51 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE [] – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR –
INTÉGRALE DU DÉBIT VAPEUR ENTRANT DANS LA CUVE –
INTÉGRALE DU DÉBIT VAPEUR SORTANT DE LA CUVE**

[]

**FIG-15.2.4F1.52 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE □ – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – DÉBIT
DE CIRCULATION DU FLUIDE DANS LA CUVE**

□

**FIG-15.2.4F1.53 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE □ – MASSE LIQUIDE DANS LE CŒUR – MASSE
LIQUIDE DANS LE PLÉNUM INFÉRIEUR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 120/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.54 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE [] – TEMPERATURE ENVELOPPE DE GAINÉ DU
CRAYON MOYEN**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 121/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.55 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE [] – NIVEAU GV GAMME LARGE – DÉBIT ASG**

[]



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 122/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.56 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE □ – DÉBITS LIQUIDE/VAPEUR ET LIQUIDE
SORTANT DE LA CUVE**

□

**FIG-15.2.4F1.57 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE □ – ÉVACUATION DE LA PUISSANCE (%PN –
MW)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 124/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.58 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR – BRÈCHE DE □ – EVACUATION DE LA PUISSANCE (%PN –
MW) - ZOOM**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 125/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.59 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET
DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE □ – PRESSIONS PRIMAIRE ET
SECONDAIRE – MASSES TOTALES PRIMAIRE ET SECONDAIRE**

□

**FIG-15.2.4F1.60 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET
DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE □ – DÉBIT MASSIQUE A LA
BRÈCHE – DÉBIT MASSIQUE TOTAL IS + ACCUMULATEURS +
BRÈCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 127/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.61 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRET SÛR ET
DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE □ – DEBITS MASSIQUES ISMP
– DEBITS MASSIQUES ISBP**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F1

PAGE 128/131

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F1.62 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET
DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE □ – TEMPERATURE DE
L'ISMP – TEMPERATURE DE L'ISBP**

□

**FIG-15.2.4F1.63 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET
DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE – CONCENTRATION EN
BORE DE L'IS – DÉBIT MASSIQUE DES ACCUMULATEURS**


**FIG-15.2.4F1.64 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET
DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE □ – CONCENTRATION EN
BORE BRÈCHE ET IRWST – TEMPÉRATURE LIQUIDE BRÈCHE ET
IRWST**

□

**FIG-15.2.4F1.65 APRP BRÈCHE INTERMÉDIAIRE ET GROSSE
BRÈCHE EN ÉTAT A – ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR ET
DILUTION DE L'IRWST – BRÈCHE DE – MASSE TOTALE IRWST –
ENTHALPIE LIQUIDE BRECHE ET IRWST**

SOMMAIRE

.15.2.4F2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES

(ÉTAT B)	7
1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT	7
2. CRITÈRES D'ÉTUDE	8
3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	9
3.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	9
3.2. MOYENS DE PROTECTION	10
3.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	11
3.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS	11
3.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	11
3.5.1. ÉTAT INITIAL	11
3.5.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	12
3.5.3. HYPOTHÈSES CŒUR	12
3.5.4. HYPOTHÈSES SYSTÈMES FLUIDES ET RÉGULATIONS	12
3.5.5. HYPOTHÈSES PROTECTIONS	13
3.6. RÉSULTATS	13
3.6.1. ÉTAT B1 : ACCUMULATEURS DISPONIBLES (NON ISOLÉS)	13
3.6.2. ÉTAT B2 : ACCUMULATEURS INDISPONIBLES (ISOLÉS)	14
3.7. CONCLUSION	18
4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	19
4.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	19
4.2. MOYENS DE PROTECTION 	20
4.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	20
4.4. DÉMARCHE ET HYPOTHÈSES POUR LE CALCUL DE LA LIMITE DE DILUTION DE L'IRWST	20
4.4.1. DÉMARCHE	20
4.4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDE	20
4.5. RÉSULTATS	21
4.5.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE	21
4.5.2. CONTRÔLE DE LA RÉACTIVITÉ	21



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F2

PAGE 2/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

4.6. CONCLUSION	22
5. CONCLUSION	22
LISTE DES RÉFÉRENCES.	24

TABLEAUX :

TAB-15.2.4F2.1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B1 – CONDITIONS INITIALES	25
TAB-15.2.4F2.2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN SOUS-ÉTAT B2-1 – CONDITIONS INITIALES	26
TAB-15.2.4F2.3 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN SOUS-ÉTAT B2-2 – CONDITIONS INITIALES	27
TAB-15.2.4F2.4 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B2 – MASSE TOTALE PRIMAIRE MINIMALE DANS LES CAS AVEC ET SANS MDTE	28
TAB-15.2.4F2.5 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – CONFIGURATION DE L'INJECTION DE SÉCURITÉ SELON LES SOUS-ÉTATS CONSIDÉRÉS	29
TAB-15.2.4F2.6 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1	30
TAB-15.2.4F2.7 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1	31
TAB-15.2.4F2.8 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2	32
TAB-15.2.4F2.9 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2	33

FIGURES :**FIG-15.2.4F2.1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES**


**BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS  EN BRANCHE FROIDE,
SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1 – PRESSIONS DES
CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES
CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE 34**

FIG-15.2.4F2.2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES


**BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS  EN BRANCHE FROIDE,
SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1 – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET
DÉBIT TOTAL IS 35**

FIG-15.2.4F2.3 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES


**BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS  EN BRANCHE FROIDE,
SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1 – NIVEAU GONFLÉ
DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON
MOYEN DU CŒUR 36**

FIG-15.2.4F2.4 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES


**BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU
PRESSURISEUR , SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS ÉTAT B2-1 –
PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE –
INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET
SECONDAIRE 37**

FIG-15.2.4F2.5 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES


**BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU
PRESSURISEUR , SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1
– DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT
BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS 38**

FIG-15.2.4F2.6 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES

BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT

CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D’EXPANSION DU PRESSURISEUR [1], SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1 – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON MOYEN DU CŒUR..... 39

FIG–15.2.4F2.7 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES

BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS [1] EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2 – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE 40

FIG–15.2.4F2.8 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES

BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS [1] EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2 – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS..... 41

FIG–15.2.4F2.9 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES

BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS [1] EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2 – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON MOYEN DU CŒUR 42

FIG–15.2.4F2.10 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES

BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D’EXPANSION DU PRESSURISEUR [1], SANS MDTE ET AVEC BTGV EN SOUS-ÉTAT B2-2 – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE 43

FIG–15.2.4F2.11 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES

BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L’ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L’ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D’EXPANSION DU PRESSURISEUR [1], SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15


SECTION 2.4F2

PAGE 6/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**– DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT
BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS 44**

**FIG–15.2.4F2.12 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU
PRESSURISEUR , SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2
– NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ
DU CRAYON MOYEN DU CŒUR..... 45**

.15.2.4F2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES (ÉTAT B)

1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

Un Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) résulte d'une brèche sur les tuyauteries primaires ou sur les lignes connectées aux boucles primaires, en aval du premier organe d'isolement.

Un APRP est classé comme évènement PCC-3 ou PCC-4 en fonction de la taille de brèche et de l'état initial du réacteur. Cette section traite des APRP de brèches intermédiaires et de grosses brèches en état B (voir tableau 1 du sous-chapitre 15.0), qui sont classés comme des accidents PCC-4 (voir section 15.0.1).

Les brèches intermédiaires sont des brèches de diamètre équivalent supérieur ou égal à 50 mm (section équivalente supérieure à 20 cm²), et de taille inférieure à celle définie par la grosse brèche.

La grosse brèche correspond à la rupture guillotine de la plus grosse tuyauterie connectée aux boucles primaires : il s'agit de la rupture de la ligne d'expansion pour les branches chaudes, et de la rupture d'une ligne du circuit d'injection de sécurité pour les branches froides.

Les tuyauteries primaires de l'EPR FA3 répondant aux exigences d'exclusion de rupture, les ruptures de ces tuyauteries ne sont pas envisagées dans les analyses de dimensionnement, donc dans le chapitre 15 du Rapport de Sûreté ; seules les brèches ou ruptures sur les lignes connectées aux boucles primaires sont à considérer.

La rupture guillotine doublement débattue d'une tuyauterie primaire est néanmoins étudiée, en tant qu'étude spécifique dans le sous-chapitre 19.3, mais en considérant des hypothèses réalistes.

Un APRP a les conséquences suivantes :

- A court terme, il conduit à des chargements mécaniques sur les internes de la cuve du réacteur, sur les composants du circuit primaire, et sur les supports associés (aspects traités dans le sous-chapitre 3.6).
- Il induit une dépressurisation du circuit primaire et une perte d'inventaire en eau primaire, pouvant conduire à moyen terme à un dénoyage du cœur tant que l'apport d'eau par le système d'injection de sécurité est insuffisant et, en conséquence, à un endommagement des gaines des crayons combustible.
- Pendant la phase de refroidissement par le secondaire en conduite post-accidentelle, l'accident peut conduire à la formation et à l'accumulation de bouchons d'eau claire (bouchons à faible concentration en bore) liées à la condensation de vapeur sur les tubes des Générateurs de Vapeur (GV), puis à leur mise en circulation vers la cuve du réacteur, ce qui constitue un risque de retour en criticité du cœur (phénomène de dilution hétérogène inhérente en APRP traité dans les sections 15.2.3e1 et 15.2.3e2 du RDS - APRP Petites Brèches (APRP PB) en état A et B).
- La masse et l'énergie du fluide primaire déchargées dans l'enceinte conduisent d'une part à une surpression et à un échauffement dans l'enceinte (aspects traités dans la section 6.2.1), et d'autre part à la dispersion de substances radioactives dans l'enceinte (conséquences radiologiques traitées dans le sous-chapitre 15.3).

Par rapport à l'état A, l'état initial du réacteur en état B correspond à une plage de puissance, pression et température primaires plus faibles (voir § 3.5.1.). En outre, l'état B introduit les différences suivantes concernant les fonctions de mitigation classées F1 :

- modification du signal d'Injection de Sécurité (IS) à l'activation du permissif P12,
- Lorsque le permissif P12 est activé, le signal automatique F1A de démarrage du Système de Borication de Secours du réacteur (RBS) sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p) est inhibé. En conséquence, le système RBS n'est pas disponible automatiquement en état B.
- isolement \square des accumulateurs en dessous d'une pression du circuit primaire (RCP) de \square bar abs,

- Lorsque le permissif P14 est activé, les trains d'Injection de Sécurité à Basse Pression (ISBP) ne sont plus requis pour la fonction « injection de sécurité ». Ils sont toutefois mis en service manuellement dès que l'opérateur est orienté dans la procédure de conduite post-accidentelle « Restauration de l'Inventaire en Eau ».

2. CRITÈRES D'ÉTUDE

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2. Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis des études d'APRP sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La température maximale de gaine doit rester inférieure à 1200 °C.
 - L'oxydation maximale de la gaine doit rester inférieure à 17 % de l'épaisseur de gaine.
- La génération maximale d'hydrogène doit rester inférieure à 1 % de la quantité qui serait générée si la totalité du zirconium des gaines en regard de la hauteur active s'était oxydée.
En pratique, et dans un objectif de simplification, en état B2, le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux assemblages combustible et à la génération maximale d'hydrogène est démontré dans cette section par la vérification du non découverture du cœur.
- Le refroidissement à long terme du cœur doit être assuré en garantissant l'absence de cristallisation du bore dans le cœur et en tenant compte du phénomène de dilution hétérogène inhérente.
- En pratique, pour les plus grosses brèches, le refroidissement à long terme du cœur est assuré lorsque :
 - Le refroidissement du cœur est garanti avant le temps de basculement de l'ISBP de la branche froide vers la branche chaude.
 - Le refroidissement du cœur est garanti après le temps de basculement de l'ISBP de la branche froide vers la branche chaude.
 - Un débit liquide traversant le cœur est présent, permettant de mettre fin aux phénomènes de concentration cœur / dilution IRWST.
 - La limite de dilution du bore dans l'IRWST n'est pas atteinte au moment du basculement.
 - La limite de cristallisation du bore dans le cœur n'est pas atteinte au moment du basculement.

L'absence de retour en criticité suite à un phénomène de dilution hétérogène inhérente en cas de brèche primaire en état B est vérifiée dans la section 15.2.3e2 car les tailles de brèche pénalisantes pour ce phénomène font partie de la catégorie des petites brèches.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).

- L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement. La réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

3. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

3.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

La brèche provoque la perte d'une partie du réfrigérant primaire qui ne peut être compensée par le Circuit de Contrôle Volumétrique et Chimique (RCV). Cette perte de réfrigérant primaire conduit à une diminution de la pression du circuit primaire et du niveau d'eau dans le pressuriseur.

Côté secondaire, la turbine étant déclenchée, le débit vapeur est évacué par le Groupe de Contournement de la Turbine au condenseur (GCT), ou par les Vannes de Décharge à l'Atmosphère (VDA) si le GCT est indisponible.

Si le compte-rendu d'arrêt automatique du réacteur (AAR) n'est pas présent à l'instant initial, le signal d'AAR peut être émis par le dépassement du seuil « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max1p) dans au moins l'un des 4 GV, si la régulation du niveau d'eau dans les GV par les vannes réglantes de très petit débit ARE conduit à un débit ARE excessif. L'isolement complet de l'ARE peut ensuite avoir lieu, GV par GV, par le signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p), après temporisation du compte-rendu d'AAR.

Après cet isolement, ou bien si la régulation de très petit débit ARE n'assure pas un débit suffisant, le signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) peut être généré et démarrer, GV par GV, les pompes d'Alimentation de Secours des Générateurs de vapeur (ASG). Si l'ASG est en excès dans un GV (régulation inopérante), il est arrêté automatiquement par le signal « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p) avant intervention de l'opérateur.

La pression primaire continue à décroître ainsi que la marge à la saturation en pression en branches chaudes. Lorsque le permissif P12 est activé, le signal IS « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) est inhibé, ainsi que le signal de démarrage automatique du RBS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p). En état B, le signal IS est émis sur « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p). La mesure de ΔP_{sat} (classée F1A) utilisée par ce signal est élaborée à partir de la mesure de température de la branche chaude (pour définir la pression de saturation correspondante) et de la mesure de la pression en branche chaude. Le signal IS provoque en particulier le démarrage des 4 trains du Système d'Injection de Sécurité (RIS), c'est-à-dire le démarrage des pompes IS de Moyenne Pression (ISMP) et éventuellement des pompes IS de Basse Pression (ISBP), si celles-ci sont en mode « injection de sécurité » et l'isolement du circuit primaire principal et l'isolement « niveau 1 » de l'enceinte. En cas de Manque De Tension Externe (MDTE), le signal IS provoque également le démarrage temporisé des pompes ASG.

Sur compte-rendu de signal IS, un refroidissement partiel du fluide primaire par le secondaire est amorcé : les points de consigne des vannes de contrôle des VDA, et du GCT s'il est disponible, sont abaissés □ pour assurer un refroidissement à un gradient de 250 °C/h. Le refroidissement n'est effectif que dans le domaine des hautes pressions de l'état B □.

Si les pompes primaires sont toujours en fonctionnement (alimentation électrique externe disponible), elles peuvent être arrêtées sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p). Si le signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p) est atteint, il peut également provoquer l'isolement de la charge, de l'injection et du retour des joints des pompes primaires, et l'arrêt des pompes primaires.

Pour un état initial dans le domaine des hautes pressions de l'état B, la baisse de pression primaire pendant le refroidissement partiel permet d'atteindre les conditions d'injection des pompes ISMP dans les branches froides. Mais tant que le débit ISMP est insuffisant pour compenser le débit à la brèche, l'inventaire en eau du circuit primaire continue à diminuer.

La poursuite de la dépressurisation dépend de la position et de la taille de la brèche.

Pour les plus petites brèches intermédiaires en branche froide, tant que le débit à la brèche est encore monophasique liquide, il ne permet pas d'évacuer un débit volumique dépassant celui correspondant à la production de vapeur par la puissance résiduelle du cœur ; la pression primaire se stabilise au-dessus de la pression de saturation dans les générateurs de vapeur, qui participent à l'évacuation de la puissance résiduelle. À mesure que le taux de vide dans la branche rompue augmente, le débit à la brèche devient diphasique et diminue ; la pression primaire reste légèrement supérieure à la pression secondaire tant que la décharge à la brèche est insuffisante et qu'une condensation dans les tubes GV est encore nécessaire pour évacuer la production de vapeur dans le cœur ; ensuite la pression primaire se découple de la pression secondaire.

Dans le cas des plus grosses brèches, la décharge de vapeur devient rapidement suffisante pour évacuer la production de vapeur dans le cœur ; la condensation dans les tubes GV n'est pas nécessaire pour évacuer l'énergie primaire ; le circuit primaire se découple rapidement du secondaire et la pression diminue.

L'inventaire en eau du circuit primaire cesse de diminuer quand les débits injectés par les pompes ISMP, et éventuellement par les accumulateurs puis les pompes ISBP, selon leur disponibilité, permettent de compenser le débit à la brèche.

Avant que les débits injectés ne compensent le débit à la brèche, le cœur peut être partiellement dénoyé ; dans ce cas, les températures des gaines des crayons combustible augmentent dans la partie dénoyée du cœur, et cet échauffement peut provoquer une oxydation des gaines ; l'échauffement est d'autant plus important que la profondeur du dénoyage est importante et la durée du dénoyage est longue. Le renoyage complet du cœur permet de ramener les températures des gaines à la température de saturation du fluide.

L'état contrôlé est atteint lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

- Le cœur est sous critique (un retour en criticité de courte durée avant les actions de l'opérateur conduisant seulement à une puissance neutronique faible pourrait être accepté au cas par cas pour quelques événements).
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme, par exemple par les générateurs de vapeur (et/ou par la brèche).
- L'inventaire en eau du cœur est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

3.2. MOYENS DE PROTECTION

Comme décrit au § 3.1., les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les suivants :

- signal IS sur « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p) qui provoque en particulier le démarrage des 4 trains RIS, isole la décharge et provoque un isolement « niveau 1 » de l'enceinte,
- refroidissement partiel du circuit primaire sur compte-rendu du signal IS, par régulation de l'ouverture des vannes de contrôle du VDA,
- signal d'arrêt automatique du réacteur sur « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max1p), ou sur « Haute Pression Enceinte » (Max1p),
- isolement des lignes à très petit débit de l'ARE sur « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) et compte-rendu d'AAR,
- alimentation de secours des GV :
 - démarrage sur « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) ou sur « Signal IS + MDTE » temporisé,

- isolement sur « Haut Niveau GV Gamme Large » (Max1p),
- déclenchement des Groupes MotoPompes Primaires (GMPP) sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p), ou sur signal « Haute Pression Enceinte » (Max2p).

3.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

Les grosses brèches correspondant aux ruptures guillotines des plus grosses tuyauteries connectées aux boucles primaires sont étudiées ; il s'agit de :

- la rupture guillotine doublement débattue d'une ligne du circuit d'injection de sécurité pour les branches froides : La rupture, supposée se produire au ras de l'ajutage de la branche froide, est modélisée par une brèche verticale basse en fond de tuyauterie □; le débit d'injection (ISMP, accumulateur, ISBP) vers la branche froide rompue est alors supposé entièrement perdu à la brèche.
- la rupture guillotine doublement débattue de la ligne d'expansion du pressuriseur pour les branches chaudes : La rupture, supposée se produire au ras de l'ajutage de la branche chaude, correspond à une brèche verticale en haut de la branche chaude connectée au pressuriseur □.

Pour les deux configurations de brèches envisagées ci-dessus, on suppose que :

- L'ouverture de la brèche se produit de façon instantanée.
- La contre-pression dans l'enceinte est supposée constante pendant tout le calcul, égale à 1 bar abs.

3.4. MÉTHODES ET CODES DE CALCULS

La démonstration du respect des critères techniques d'acceptation en état B1 est réalisée par argumentaire.

□

Chaque simulation est poursuivie jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé.

3.5. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

3.5.1. État initial

On suppose le réacteur initialement en état B. L'état B « Arrêt intermédiaire sur GV - Pprimaire < 130 bar abs » commence au plus tôt 4 heures après l'arrêt du réacteur. Il couvre les états d'arrêt lors du fonctionnement normal de l'installation pour lesquels la puissance résiduelle primaire est évacuée par les GV (différence avec l'état C). La plage de fonctionnement (pression / température) du RCP en état B s'étend de 130 bar abs / 303,3 °C □.

Les incertitudes sont choisies dans le but de minimiser l'inventaire en eau primaire au cours du calcul. Pour atteindre cet objectif, on retient les conditions qui favorisent l'échauffement du fluide primaire.

□

En fonction de la disponibilité des accumulateurs, deux états appelés B1 et B2 sont envisagés.

En fonction de la disponibilité de l'ISBP en mode « injection de sécurité », deux sous-états appelés B2 sous-état 1 (noté B2-1) et B2 sous-état 2 (noté B2-2) sont envisagés.

Les tableaux [TAB-15.2.4f2.1](#), [TAB-15.2.4f2.2](#) et [TAB-15.2.4f2.3](#) présentent les conditions initiales retenues.

3.5.2. Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

En application des règles d'études pour les conditions de fonctionnement de référence (PCC), pour les événements PCC intervenant dans les états d'arrêt, le MDTE est postulé à l'événement initiateur s'il est pénalisant (voir section 15.0.2).

Comme le montre le tableau [TAB-15.2.4f2.4](#), la prise en compte du MDTE à l'instant initial a un impact favorable sur les cas les plus limitatifs en terme de masse minimale primaire atteinte au cours du calcul. Par conséquent, seule l'étude sans MDTE est présentée ci-dessous.

Dans ce cas, les pompes primaires restent en fonctionnement jusqu'à leur arrêt sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p), et l'ASG démarre sur signal « Bas Niveau GV Gamme Large » (Min2p) dans chaque GV concerné.

Afin de minimiser l'inventaire en eau dans le circuit primaire :

- Au titre de l'aggravant, on considère qu'un des 2 trains du Système de Réfrigération Intermédiaire de l'îlot nucléaire (RRI) initialement en stand-by ne démarre pas, ce qui conduit à l'indisponibilité d'un train RIS (ISMP+ISBP) sur une boucle saine.
- On suppose par ailleurs qu'un autre train RRI est en maintenance préventive, ce qui conduit à l'indisponibilité d'un autre train RIS (ISMP +ISBP) sur une boucle saine différente de celle concernée par l'aggravant.

3.5.3. Hypothèses cœur

□

3.5.4. Hypothèses systèmes fluides et régulations

La turbine étant déclenchée et le GCT étant supposé indisponible, le débit vapeur est évacué par les VDA.

Le très petit débit d'eau alimentaire des générateurs de vapeur est maintenu constant jusqu'à son éventuel isolement sur signal « Haut niveau GV Gamme Étroite » (Max0p).

Pour retarder le temps d'arrivée du signal IS, les chaufferettes sont prises en compte. □.

La régulation du niveau d'eau dans le pressuriseur n'est pas considérée : la décharge serait isolée rapidement sur fonction d'aide à l'opérateur « Bas Niveau Pressuriseur » (min2) (non classé F1) ou sur signal IS (classé F1A) et la charge serait également isolée sur signal IS ; globalement la non prise en compte de cette régulation limite l'inventaire en eau du circuit primaire. D'autre part, la continuité de fonctionnement du RCV n'étant pas assurée (non classé F1), l'injection aux joints doit être considérée comme inopérante et une fuite aux joints des GMPP doit être considérée □. Ce débit de fuite n'est cependant pas considéré dans les calculs du fait de son impact négligeable pour les tailles de brèches considérées.

Après démarrage de l'injection de sécurité sur signal IS (voir [§ 3.5.5.](#)), chaque ISMP disponible injecte effectivement en branche froide dès que la pression dans le circuit primaire le permet. □.

Le tableau [TAB-15.2.4f2.5](#) présente la configuration des moyens d'injection IS et des accumulateurs en fonction des sous-états considérés.

Aucune action résultant des fonctions d'aide à l'opérateur et aucune limitation n'est prise en compte.

3.5.5. Hypothèses protections

□

autres hypothèses

La simulation jusqu'à l'atteinte de l'état contrôlé est réalisée avec les seules fonctions F1A, sans intervention de l'opérateur, même si l'état contrôlé est atteint au-delà des 30 minutes qui suivent l'AAR.

3.6. RÉSULTATS

La vérification des critères techniques d'acceptation repose sur une analyse qualitative pour l'état B1 qui est couvert par l'état A. Pour les sous-états B2-1 et B2-2, pour lesquels les accumulateurs sont isolés, des calculs explicites □ sont effectués.

3.6.1. État B1 : accumulateurs disponibles (non isolés)

L'état B1 correspond à une pression primaire comprise entre 70 et 130 bar □ et une température moyenne primaire entre 245 et 303,3 °C □.

□

Pour une taille de brèche donnée, que ce soit une grosse brèche ou une brèche intermédiaire, les conséquences sur l'inventaire en eau du circuit primaire et le refroidissement du cœur sont moins pénalisantes en état B1 qu'en état A, car :

- La puissance du cœur inférieure en état B1 favorise la dépressurisation du circuit primaire.
- La pression primaire initiale plus faible en état B1 conduit à un débit brèche plus faible au début du calcul.
- Tous les moyens de mitigation utilisés en état A sont disponibles en état B1, (ISMP, ISBP et accumulateurs pour l'injection IS, VDA et ASG pour l'évacuation de la puissance résiduelle), excepté le système RBS, dont le démarrage automatique sur signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p) est inhibé.
- Le signal IS est émis par le signal « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p) en état B1 alors qu'il est émis par le signal « Basse Pression Pressuriseur » (Min3p) en état A ; □ ; pour ces deux états, le signal IS est donc émis bien avant d'atteindre la pression de refoulement des pompes ISMP si bien qu'ils bénéficient tous deux des mêmes débits d'IS □ et que le délai de mise en service des pompes ISMP est écoulé.
- Pour l'état B1, la pression des générateurs de vapeur est plus faible au début du refroidissement partiel initié par le signal IS □ ; la pression de refoulement de l'ISMP est donc atteinte plus tôt, la vitesse de refroidissement partiel étant de 250 °C/h pour ces deux états.

Il en résulte un débit plus faible à la brèche et une meilleure efficacité de l'injection IS en état B1, ce qui est bénéfique en matière d'inventaire en eau du RCP.

L'inhibition du démarrage automatique du RBS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p), qui constitue une différence par rapport à l'état A, est sans impact car, de manière conservative, le démarrage automatique du RBS n'est pas pris en compte dans les calculs thermohydrauliques de l'APRP brèches intermédiaires et grosses brèches PCC-4 en état A (traité à la section 15.2.4.f1 du Rapport de Sureté).

Par conséquent, les résultats des analyses □ réalisées pour l'APRP brèches intermédiaires et grosses brèches PCC-4 à l'état A (voir section 15.2.4.f1 du Rapport de Sureté) sont donc enveloppes de l'état B1 : les critères techniques d'acceptation APRP présentés au § 2. (relatifs aux dommages limités sur les assemblages combustibles et à la quantité maximale d'hydrogène générée) étant respectés dans la section 15.2.4f1, ils sont donc également respectés pour cet accident. L'état contrôlé est atteint

(sous-criticité du cœur, évacuation de la puissance résiduelle, stabilité de l'inventaire en eau primaire et rejets radiologiques tolérables), en ne valorisant que les fonctions F1A.

3.6.2. État B2 : accumulateurs indisponibles (isolés)

3.6.2.1. État B2, sous-état n°1 : ISBP disponible en mode automatique

Dans cet état, les accumulateurs sont isolés et l'ISBP est en mode automatique.

rupture d'une ligne RIS en branche froide

La séquence des événements est donnée dans le tableau [TAB-15.2.4f2.6](#).

Les paramètres les plus représentatifs sont présentés dans les figures suivantes :

- figure [FIG-15.2.4f2.1](#) : pressions et inventaire en eau des circuits primaire et secondaire,
- figure [FIG-15.2.4f2.2](#) : débits massiques liquide et vapeur à la brèche et débits totaux à la brèche et injectés par le RIS,
- figure [FIG-15.2.4f2.3](#) : niveau gonflé du cœur et température maximale de gaine du crayon moyen du cœur.

Après l'ouverture de la brèche, la vidange du circuit primaire conduit à la baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une baisse rapide de la pression primaire.

Compte-tenu du niveau d'eau initial dans les GV, les caractéristiques du signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) conduisent à l'isolement de la ligne à très petit débit ARE dès l'instant initial du calcul dans tous les GV.

Le signal IS sur « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p) est émis à 35,3 s et démarre automatiquement les pompes ISMP et ISBP. Compte tenu du choix de l'aggravant, de la maintenance préventive et de la brèche considérée, seule une boucle saine est alimentée par l'IS, l'eau injectée par le train IS de la boucle rompue (boucle 4) étant supposée perdue à la brèche.

Les GMPP sont alors arrêtés sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p) à 36,7 s, le seuil « Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p) étant atteint avant le signal IS.

L'injection de l'ISMP en branches froides commence à \square s.

Le refroidissement partiel n'est pas assuré par le secondaire car la pression secondaire est initialement inférieure à \square bar abs.

La production de vapeur dans le cœur étant rapidement évacuée par la brèche, la pression primaire est découplée de la pression secondaire. Le débit injecté par les pompes ISMP augmente au fur et à mesure de la dépressurisation du primaire, mais ne permet pas de compenser le débit brèche dans un premier temps.

La diminution de l'inventaire en eau se poursuit. Lorsque la pression primaire atteint la pression de refoulement des pompes ISBP à 337 s, l'ISBP commence à injecter en branche froide, ce qui contribue à faire augmenter l'inventaire en eau primaire.

L'inventaire en eau du primaire se stabilise vers 1000 s, lorsque le débit IS devient égal au débit en liquide relâché à la brèche. Aucun découvrement du cœur n'est observé.

La puissance résiduelle est alors évacuée par la brèche et par les 4 GV.

rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur

La séquence des événements est donnée dans le tableau [TAB-15.2.4f2.7](#).

Les paramètres les plus représentatifs sont présentés dans les figures suivantes :

- figure [FIG-15.2.4f2.4](#) : pressions et inventaire en eau des circuits primaire et secondaire,
- figure [FIG-15.2.4f2.5](#) : débits massiques liquide et vapeur à la brèche et débits totaux à la brèche et injectés par le RIS,
- figure [FIG-15.2.4f2.6](#) : niveau gonflé du cœur et température maximale de gaine du crayon moyen du cœur.

Après l'ouverture de la brèche, la vidange du circuit primaire conduit à la baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une baisse rapide de la pression primaire.

Compte-tenu du niveau d'eau initial dans les GV, les caractéristiques du signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) conduisent à l'isolement de la ligne à très petit débit ARE dès l'instant initial du calcul dans tous les GV.

Le signal IS sur « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p) est émis à 15,4 s et démarre automatiquement les pompes ISMP et ISBP. Compte tenu du choix de l'aggravant et de la maintenance préventive, seules une boucle saine et la boucle rompue sont alimentées par l'IS.

Les GMPP sont alors arrêtés sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p) à 16,8 s, le seuil « Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p) étant atteint avant le signal IS.

L'injection de l'ISMP en branches froides commence à \square s.

Le refroidissement partiel n'est pas assuré par le secondaire car la pression secondaire est initialement inférieure à \square bar abs.

La production de vapeur dans le cœur étant rapidement évacuée par la brèche, la pression primaire est découplée de la pression secondaire. Le débit injecté par les pompes ISMP augmente au fur et à mesure de la dépressurisation du primaire, mais ne permet pas de compenser le débit brèche dans un premier temps.

La diminution de l'inventaire en eau se poursuit. Lorsque la pression primaire atteint la pression de refoulement des pompes ISBP à 172 s, l'ISBP commence à injecter en branches froides, ce qui contribue à faire augmenter l'inventaire en eau primaire.

Le débit IS est suffisant pour compenser le débit brèche dès 200 s. L'inventaire en eau du primaire est alors stable. Aucun découvrement du cœur n'est observé.

La puissance résiduelle est alors évacuée par la brèche et par les 4 GV.

étude des brèches intermédiaires

Les brèches intermédiaires sont des brèches dont la section varie entre 20 cm² et la rupture du piquage RIS (si la brèche intermédiaire est localisée en branche froide) ou la rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur (si la brèche intermédiaire est localisée en branche chaude).

L'analyse qui suit compare les brèches pour une localisation identique.

Le non découvrement du cœur est étroitement lié à l'inventaire en eau du primaire.

Lorsque le débit à la brèche est sous forme liquide, la taille de la brèche n'influe que sur la cinétique du transitoire. En effet, plus la taille de brèche est importante, plus l'inventaire en eau du primaire diminue rapidement. Cependant, à l'instant du passage de la brèche en vapeur, l'état du primaire est quasiment identique quelle que soit la taille de la brèche :

- La pression primaire est essentiellement liée à la pression de tarage des VDA au secondaire et dépend peu de la taille de la brèche.

- La masse primaire ρ est essentiellement liée à la géométrie du circuit primaire et plus particulièrement à l'altimétrie des boucles.

Lorsque le débit à la brèche est en phase vapeur, la taille de la brèche influe sur le comportement thermohydraulique de l'accident :

- Si la brèche est suffisamment petite, l'ISMP compense le débit à la brèche et la masse primaire se stabilise dès le passage en vapeur à la brèche.
- Pour les brèches de taille plus importante, la pression primaire diminue jusqu'à ce que le débit IS compense le débit à la brèche ; cette diminution de pression s'accompagne d'une diminution de masse primaire ; plus la taille de brèche est importante, plus la pression « d'équilibre » est basse, ce qui signifie que la masse primaire minimale est plus faible.

À la différence des états A et B1, le sous-état B2-1 bénéficie de la continuité des moyens d'injection de sécurité sur la totalité du spectre de brèches, les accumulateurs étant isolés. Par conséquent, en l'absence de dénoyage du cœur, la brèche conduisant à la perte maximale d'eau du circuit primaire est la plus grosse des brèches étudiées.

De plus, il a été vérifié, que pour la plus grosse des brèches en branche froide étudiée ρ , la prise en compte de l'IS dans la boucle rompue n'a pas d'impact significatif sur le minimum de masse primaire.

En conclusion, pour le sous-état B2-1, les brèches intermédiaires ne sont pas simulées puisqu'elles sont moins pénalisantes que la rupture du piquage RIS (si la brèche intermédiaire est localisée en branche froide) ou la rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur (si la brèche intermédiaire est localisée en branche chaude).

Par conséquent, pour l'ensemble des brèches intermédiaires et grosses brèches étudiées dans l'état B2-1, les critères techniques d'acceptation présentés au § 2. et relatifs aux dommages subis par les assemblages combustibles sont respectés dans le sous-état B2-1. En effet, l'absence de dénoyage du cœur garantit que ces dommages restent limités.

L'état contrôlé décrit au § 2. est atteint : le cœur est sous-critique du fait de la présence des grappes dans le cœur et de l'injection de bore par l'IS, l'inventaire en eau du circuit primaire est stabilisé ou augmente suite au démarrage de l'ISBP, la puissance résiduelle est évacuée (via la brèche et les GV si nécessaire) et enfin, les rejets radiologiques sont tolérables puisque les dommages subis par les assemblages combustibles restent limités.

3.6.2.2. État B2, sous-état n°2 : ISBP indisponible en mode automatique

Dans cet état, les accumulateurs sont isolés et l'activation du permissif P14 rend les trains ISBP indisponibles pour la fonction « injection de sécurité » jusqu'aux actions opérateur puisqu'ils sont en mode conditionnement chimique afin d'être connectés en mode RA.

rupture d'une ligne RIS en branche froide

La séquence des événements est donnée dans le tableau [TAB-15.2.4f2.8](#).

Les paramètres les plus représentatifs sont présentés dans les figures suivantes :

- figure [FIG-15.2.4f2.7](#) : pressions et inventaire en eau des circuits primaire et secondaire,
- figure [FIG-15.2.4f2.8](#) : débits massiques liquide et vapeur à la brèche et débits totaux à la brèche et injectés par le RIS,
- figure [FIG-15.2.4f2.9](#) : niveau gonflé du cœur et température maximale de gaine du crayon moyen du cœur.

Après l'ouverture de la brèche, la vidange du circuit primaire conduit à la baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une baisse rapide de la pression primaire.

Compte-tenu du niveau d'eau initial dans les GV, les caractéristiques du signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) conduisent à l'isolement de la ligne à très petit débit ARE dès l'instant initial du calcul dans tous les GV.

Le signal IS sur « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p) est émis à 152 s et démarre automatiquement les pompes ISMP. Compte tenu du choix de l'aggravant, de la maintenance préventive et de la brèche considérée, seule une boucle saine est alimentée par l'IS, l'eau injectée par le train IS de la boucle rompue étant supposée perdue à la brèche.

Les GMPP sont alors arrêtés sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p) à 153,4 s, le seuil « Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p) étant atteint bien avant le signal IS.

L'injection de l'ISMP en branches froides commence à \square s.

Le refroidissement partiel n'est pas assuré par le secondaire car la pression secondaire est initialement inférieure à \square bar abs

Sous l'effet du passage en vapeur à la brèche, la pression primaire se découple de la pression secondaire, la production de vapeur dans le cœur étant évacuée à la brèche. La dépressurisation du primaire se poursuit, le débit injecté par les pompes ISMP augmente mais ne permet pas de compenser le débit brèche dans un premier temps.

L'inventaire en eau du primaire se stabilise vers 850 s, lorsque le débit ISMP compense le débit relâché à la brèche.

Pour cet accident, l'ISBP n'est donc pas nécessaire pour atteindre l'état contrôlé.

Aucun découvrement du cœur n'est observé.

La puissance résiduelle est alors évacuée par la brèche et par les 4 GV.

rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur

La séquence des événements est donnée dans le tableau [TAB-15.2.4f2.9](#).

Les paramètres les plus représentatifs sont présentés dans les figures suivantes :

- figure [FIG-15.2.4f2.10](#) : pressions et inventaire en eau des circuits primaire et secondaire,
- figure [FIG-15.2.4f2.11](#) : débits massiques liquide et vapeur à la brèche et débits totaux à la brèche et injectés par le RIS,
- figure [FIG-15.2.4f2.12](#) : niveau gonflé du cœur et température maximale de gaine du crayon moyen du cœur.

Après l'ouverture de la brèche, la vidange du circuit primaire conduit à la baisse du niveau d'eau dans le pressuriseur et à une baisse rapide de la pression primaire.

Compte-tenu du niveau d'eau initial dans les GV, les caractéristiques du signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) conduisent à l'isolement de la ligne à très petit débit ARE dès l'instant initial du calcul dans tous les GV.

Le signal d'injection de sécurité (IS) sur « Faible marge à la saturation en branche chaude » (Min1p) est émis à 82,9 s et démarre automatiquement les pompes ISMP. Compte tenu du choix de l'aggravant et de la maintenance préventive, seules une boucle saine et la boucle rompue sont alimentées par l'ISMP.

Les GMPP sont alors arrêtés sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p) à 84,3 s, le seuil « Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p) étant atteint dès les premiers instants du calcul.

L'injection de l'ISMP en branches froides commence à [] s.

Le refroidissement partiel n'est pas assuré par le secondaire car la pression secondaire est initialement inférieure à [] bar abs.

Sous l'effet du passage en vapeur à la brèche, la pression primaire se découple de la pression secondaire, la production de vapeur dans le cœur étant évacuée à la brèche. La dépressurisation du primaire se poursuit, le débit injecté par les pompes ISMP augmente mais ne permet pas de compenser le débit brèche dans un premier temps.

L'inventaire en eau du primaire se stabilise vers 500 s, lorsque le débit ISMP compense le débit relâché à la brèche.

Pour cet accident, l'ISBP n'est donc pas nécessaire pour atteindre l'état contrôlé. Aucun découverture du cœur n'est observé.

La puissance résiduelle est alors évacuée par la brèche et par les 4 GV.

étude des brèches intermédiaires

L'analyse effectuée pour les brèches intermédiaires en sous-état B2-1 présentée au [§ 3.6.2.1](#), reste valable pour le sous-état B2-2.

À la différence des états A et B1, le sous-état B2-2 bénéficie comme pour le sous-état B2-1 de la continuité des moyens d'injection de sécurité sur la totalité du spectre de brèches, les accumulateurs étant isolés. Par conséquent, en l'absence de dénoyage du cœur, la brèche conduisant à la perte maximale d'eau du circuit primaire est la plus grosse des brèches étudiées.

En conclusion, pour le sous-état B2-2, les brèches intermédiaires ne sont pas simulées puisqu'elles sont moins pénalisantes que la rupture du piquage RIS (si la brèche intermédiaire est localisée en branche froide) ou la rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur (si la brèche intermédiaire est localisée en branche chaude).

Par conséquent, pour l'ensemble des brèches intermédiaires et grosses brèches étudiées dans l'état B2-2, les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2](#), et relatifs aux dommages subis par les assemblages combustibles sont respectés dans le sous-état B2-2. En effet, l'absence de dénoyage du cœur garantit que ces dommages restent limités.

L'état contrôlé décrit au [§ 2](#), est atteint : le cœur est sous-critique du fait de la présence des grappes dans le cœur et de l'injection de bore par l'IS, l'inventaire en eau du circuit primaire est stabilisé ou augmente suite au démarrage de l'ISMP, la puissance résiduelle est évacuée (via la brèche et les GV si nécessaire) et enfin, les rejets radiologiques sont tolérables puisque les dommages subis par les assemblages combustibles restent limités.

3.7. CONCLUSION

Vis-à-vis des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP :

- Cet accident est couvert, en état B1, par la section 15.2.4f1 du RDS pour laquelle le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles (température et oxydation maximale des gaines de combustible – voir [§ 2](#).) et celui sur la quantité maximale d'hydrogène générée est démontré.
- Dans les sous-états B2-1 et B2-2, les calculs explicites présentés aux [§ 3.6.2.1](#) et [§ 3.6.2.2](#), démontrent l'absence de découverture du cœur ce qui garantit le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP.

L'injection de sécurité assure le maintien d'un inventaire en eau stable et les rejets radiologiques restent tolérables puisque les dommages sur les assemblages combustibles restent limités.

Par ailleurs, les grappes dans le cœur et l'apport de bore par l'injection de sécurité permettent d'assurer la sous-criticité du cœur.

Enfin, la puissance résiduelle est évacuée par les GV et par la brèche.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation présenté au § 2. est donc respecté et l'état contrôlé est atteint.

4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

4.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

L'état d'arrêt sûr est défini comme en état A (voir section 15.2.4f1) :

- Pour les tailles de brèches inférieures du spectre de brèches PCC-4, le niveau boucle et la marge à la saturation en température ΔT_{sat} peuvent être compatibles avec l'aspiration en branche chaude de l'ISBP en mode RA. L'opérateur est orienté vers la procédure de conduite post-accidentelle « Passage en Arrêt à Froid avec IS », et l'état d'arrêt sûr est assuré lorsque les conditions de connexion de l'ISBP en mode RA sont atteintes, avec au moins 1 ISBP fonctionnant en mode RA.
- Pour les tailles de brèches supérieures du spectre de brèches PCC-4, le niveau boucle ou la marge à la saturation en température ΔT_{sat} ne sont pas compatibles avec l'aspiration en branche chaude de l'ISBP en mode RA. Suivant l'état du réacteur, l'opérateur est orienté vers la procédure de conduite post-accidentelle « Passage en Arrêt à Froid avec IS » ou « Restauration de l'Inventaire en Eau », et l'état d'arrêt sûr est assuré lorsque les conditions d'injection ISBP sont atteintes, avec toutes les ISBP disponibles fonctionnant en mode IS. En cas de brèche en branche froide susceptible d'orienter l'opérateur vers la stratégie « Restauration de l'Inventaire en Eau », l'ISBP est basculée de la branche froide vers la branche chaude, au plus tôt 1 h 30 min après le signal IS.

Le basculement des trains RIS-RA du mode IS au mode RA est possible, dès que les trois conditions suivantes sont réunies au RCP :

- pression dans au moins deux branches du RCP inférieure à 32 bar,
- température dans au moins deux branches chaudes du RCP inférieure à 180 °C,
- ΔT_{sat} et niveau boucle compatibles avec l'aspiration en branche chaude de l'ISBP en mode RA.

Le niveau boucle conforme à l'aspiration RIS-RA en mode RA depuis la branche chaude est défini comme un niveau boucle supérieur à 100%.

Le basculement des trains RIS-RA du mode IS au mode RA est progressif en fonction du sous-refroidissement du circuit primaire :

- Si trois ou quatre trains RIS-RA sont en service en mode IS, le basculement d'un train en mode RA n'est autorisé que si la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est supérieure à \square °C.
- Si deux trains RIS-RA sont en service en mode IS, le basculement d'un train en mode RA n'est autorisé que si la marge à la saturation en température ΔT_{sat} est supérieure à \square °C.

L'état d'arrêt sûr correspond aux conditions suivantes :

- Le cœur est sous-critique.
- L'inventaire en eau du primaire est stable : le débit brèche est compensé par le débit RIS.
- La puissance résiduelle est évacuée.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

4.2. MOYENS DE PROTECTION

Les moyens de protection automatiques F1A qui peuvent être sollicités sont les mêmes que ceux décrits au [§ 3.2.](#) relatif à l'atteinte de l'état contrôlé.

Aux moyens de protection automatiques F1A, s'ajoutent les actions F1B suivantes, réalisées 30 minutes après l'arrêt automatique du réacteur :

- contrôle de l'inventaire en eau des GV non isolés, après remise en service, le cas échéant, de la régulation automatique des niveaux GV par l'ASG,
- isolement des accumulateurs,
- mise en œuvre d'un refroidissement contrôlé du circuit primaire par ouverture manuelle des VDA des GV utilisables, avec un gradient de 50 °C/h si au moins un train ISMP est en service,
- basculement de l'ISBP de l'injection en branche froide vers l'injection en branche chaude, en ouvrant les vannes d'injection branche chaude ISBP au plus tôt 1 h 30 min après le signal IS, si le permissif P16 a été validé,
- maintien de l'injection ISMP avec, si nécessaire, ouverture des lignes à grand débit minimum,
- mise en service du RBS.

4.3. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

L'analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr se compose de deux parties :

- une analyse thermohydraulique : cette analyse vise à justifier l'applicabilité de la démonstration de sûreté relative à l'obtention de l'état d'arrêt sûr faite pour les APRP PCC-3 et PCC-4 en état A à l'APRP brèches intermédiaires et grosses brèches PCC-4 en état B.
- une analyse du contrôle de la réactivité :
 - L'analyse de la « limite de cristallisation du bore dans le cœur » vise à justifier l'applicabilité de la démonstration de sûreté faite pour les APRP brèches intermédiaires et grosses brèches PCC-4 en état A pour cet aspect.
 - L'analyse de la « limite de dilution IRWST » consiste en une estimation conservatrice du temps de basculement qui conduirait à la limite de dilution du bore dans l'IRWST. Cette estimation s'appuie sur un bilan de masse et d'énergie simplifié, sans utilisation d'un code de calcul, avec des conditions aux limites conservatives (voir [§ 4.4.](#)).

4.4. DÉMARCHE ET HYPOTHÈSES POUR LE CALCUL DE LA LIMITE DE DILUTION DE L'IRWST

4.4.1. Démarche

Cette partie de l'étude sert à calculer le temps de basculement maximal auquel doit s'effectuer au plus tard le basculement de l'ISBP en branche chaude, vis-à-vis de la limite de dilution de bore dans l'IRWST. En effet, suite à l'injection de sécurité, de l'eau en provenance de l'IRWST est envoyée dans le cœur. Si celle-ci a une concentration en bore inférieure à celle requise, un retour en criticité du cœur pourrait être observé.

4.4.2. Hypothèses d'étude

La concentration en bore minimale requise lors de l'arrêt à froid afin d'éviter le retour en criticité du cœur couvre tous les cycles de gestion de combustible UO₂, en tenant compte des incertitudes, pénalités et provisions, et en considérant toutes les grappes insérées.

La limite de concentration en bore de l'IRWST pour éviter le risque de retour en criticité du cœur correspond donc à la concentration en bore minimale requise lors de l'arrêt à froid de \square ppm.

Les hypothèses sont choisies de façon à minimiser la concentration en bore de l'IRWST :

\square

4.5. RÉSULTATS

4.5.1. ANALYSE THERMOHYDRAULIQUE

L'état de la tranche (niveau de puissance et inventaire en eau du circuit primaire) au moment de l'état contrôlé est plus favorable pour l'état B que pour l'état A.

Toutes les fonctions F1A, à l'exclusion de l'injection automatique des trains RBS, et toutes les fonctions F1B utilisées en état A pour le passage du réacteur de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, sont également disponibles en état B.

L'inhibition du démarrage automatique du RBS sur « Basse Pression Pressuriseur » (Min4p), qui constitue une différence par rapport à l'état A, est sans impact car de manière conservatrice, le démarrage automatique du RBS n'est pas pris en compte dans les calculs thermohydrauliques long terme de l'APRP brèches intermédiaires et grosses brèches PCC-4 en état A.

D'autre part, l'ISBP peut être remis en service manuellement par l'opérateur dans le cas où il n'est pas en mode « injection de sécurité » en dessous de P14.

Pour la partie supérieure du spectre de brèches PCC-4, le basculement de l'ISBP en injection branche chaude aura lieu. L'évaluation de sûreté relative à l'obtention de l'état d'arrêt sûr pour un APRP brèches intermédiaires et grosses brèches PCC-4 effectuée pour l'état A, s'applique à l'APRP brèches intermédiaires et grosses brèches PCC-4 en état B.

Pour la partie inférieure du spectre de brèches PCC-4, le basculement de l'ISBP en injection branche chaude n'aura pas lieu. Pour ces brèches PCC-4 plus petites, la consommation d'ASG est inférieure à celle des brèches PCC-3, puisqu'une taille de brèche supérieure permet d'évacuer plus de puissance par la brèche. L'évaluation de sûreté relative à l'obtention de l'état d'arrêt sûr pour un APRP petites brèches PCC-3 en état A s'applique à l'APRP brèches intermédiaires et grosses brèches PCC-4 en état B.

Cette analyse permet de démontrer que les critères techniques d'acceptation énumérés au [§ 2.](#) visant à démontrer, d'une part, que le refroidissement est garanti avant et après le basculement de l'ISBP en branche chaude, et d'autre part, que le maintien d'un débit liquide traversant le cœur est assuré, sont respectés.

4.5.2. Contrôle de la réactivité

4.5.2.1. Limite de cristallisation

L'estimation conservatrice du temps de basculement qui conduit à la limite de cristallisation du bore dans le cœur (risque de précipitation du bore) est la même que pour l'état A (voir section 15.2.4f1).

En effet, l'évaluation de la concentration en bore dans le cœur s'appuie sur des bilans de masse et d'énergie simplifiés, avec des conditions aux limites conservatrices et indépendantes de l'état initial de la tranche. De plus, toutes les fonctions F1A, à l'exclusion de l'injection automatique des trains RBS, sont également disponibles en état B. Or le démarrage automatique des trains RBS est pénalisant vis-à-vis du temps de basculement. Ainsi, l'analyse faite en état A s'applique pour l'état B.

En état B, l'AAR n'est toutefois pas sollicité. En postulant l'hypothèse que le temps de basculement de l'état A peut être appliqué à partir du premier signal significatif en salle de commande en état B (signal IS), il n'y a pas de risque de cristallisation du bore dans le cœur pour un temps de basculement maximum \square après le signal IS.

4.5.2.2. Limite de dilution

En minimisant la concentration en bore dans l'IRWST et en minimisant la masse dans laquelle le bore se dilue, le temps de basculement pour lequel la limite de dilution de l'IRWST \square serait atteinte est de \square min, décomptées à partir du signal IS.

4.6. CONCLUSION

Les résultats présentés au [§ 4.5.2.](#), démontrent que, moyennant les actions de conduite appropriées, la conception du RIS permet d'éviter tout risque de cristallisation du bore dans le cœur et tout risque de dilution inacceptable dans l'IRWST.

L'absence de retour en criticité suite à un phénomène de dilution hétérogène inhérente en cas de brèche primaire en état B est vérifiée dans la section 15.2.3e2 car les tailles de brèche pénalisantes pour ce phénomène font partie de la catégorie des petites brèches.

D'un point de vue thermohydraulique et comme démontré au [§ 4.5.1.](#), cet accident est couvert par les sections 15.2.3e1 et 15.2.4f1 du RDS pour lesquelles l'évacuation de la puissance résiduelle est garantie durablement.

Par ailleurs, les rejets radiologiques restent tolérables puisque les critères relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles présentés au 2 sont respectés.

Enfin, les grappes dans le cœur et l'injection de bore par l'IS et par le RBS permettent d'assurer la sous-criticité du cœur.

L'ensemble des critères présentés au [§ 2.](#) relatifs à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr est ainsi vérifié. L'état sûr est donc atteint.

5. CONCLUSION

La présente analyse démontre que, en cas de brèche intermédiaire ou de grosse brèche primaire en état B, l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au [§ 2.](#) est respecté.

Vis-à-vis des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP :

- Cet accident est couvert en état B1 (voir [§ 3.6.1.](#)) par la section 15.2.4f1 du RDS pour laquelle le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux dommages sur les assemblages combustibles (température et oxydation maximale des gaines de combustible – voir [§ 2.](#)) et celui sur la quantité maximale d'hydrogène générée est démontré.
- Dans les sous-états B2-1 et B2-2 (voir [§ 3.6.2.](#)), l'absence de dénoyage du cœur garantit le respect des critères techniques d'acceptation relatifs aux APRP.

L'injection de sécurité assure le maintien d'un inventaire en eau stable et les rejets radiologiques restent tolérables puisque les dommages sur les assemblages combustibles restent limités.

Par ailleurs, les grappes dans le cœur et l'apport de bore par l'injection de sécurité permettent d'assurer la sous-criticité du cœur. Dans le même temps, la puissance résiduelle est évacuée par les GV et par la brèche.

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation relatifs à l'atteinte de l'état contrôlé présenté au [§ 2.](#) est donc respecté.

A plus long terme, pour l'atteinte de l'état d'arrêt sûr, la capacité d'injection de bore par l'injection de sécurité et le RBS \square permet d'assurer la sous-criticité du cœur.

Pour les tailles de brèches supérieures du spectre de brèches PCC-4, le basculement de l'injection ISBP de la branche froide vers la branche chaude permet de maintenir un refroidissement à long

terme du cœur (via la chaîne de refroidissement ISBP/RRI/SEC) tout en garantissant l'absence de risques de cristallisation du bore et de dilution de l'IRWST.

Pour les tailles de brèches inférieures du spectre de brèches PCC-4, l'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée via la brèche et par les GV jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA.

L'absence de retour en criticité suite à un phénomène de dilution hétérogène inhérente en cas de brèche primaire en état B est vérifiée dans la section 15.2.3e2 car les tailles de brèche pénalisantes pour ce phénomène font partie de la catégorie des petites brèches.

Ainsi, la démonstration du respect de l'ensemble des critères techniques d'acceptation présentés au § [2.](#) est effectuée. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F2

PAGE 24/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F2

PAGE 25/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F2.1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B1 – CONDITIONS
INITIALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F2

PAGE 26/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F2.2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN SOUS-ÉTAT B2-1 – CONDITIONS
INITIALES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F2

PAGE 27/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4F2.3 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN SOUS-ÉTAT B2-2 – CONDITIONS
INITIALES**

□

**TAB-15.2.4F2.4 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET
GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B2 – MASSE TOTALE
PRIMAIRE MINIMALE DANS LES CAS AVEC ET SANS
MDTE**

□

TAB-15.2.4F2.5 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – CONFIGURATION DE L'INJECTION DE SÉCURITÉ SELON LES SOUS-ÉTATS CONSIDÉRÉS

Système IS		État B1	État B2	
			Sous-état B2-1	Sous-état B2-2
ISMP	Configuration de la grande ligne à débit minimum	fermée	fermée	ouverte
ISBP	Mode de fonctionnement	injection de sécurité en branche froide	injection de sécurité en branche froide	conditionnement thermique (passage en mode injection de sécurité en branche froide sur action opérateur)
Accumulateurs	Configuration	disponibles	isolés	isolés

TAB-15.2.4F2.6 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE RIS [] EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
0,0	Signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) sur GV 1 à 4 – Isolement ARE GV 1 à 4
35,3	Signal IS
36,7	Arrêt des GMPP sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p)
[]	Début injection ISMP en branche froide 3
337	Début injection ISBP en branche froide 3
367	Masse totale primaire minimale []
2000	Fin du calcul

TAB-15.2.4F2.7 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
0,0	Signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) sur GV 1 à 4 – Isolement ARE sur GV 1 à 4
15,4	Signal IS
16,8	Arrêt des GMPP sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p)
□	Début injection ISMP en branches froides 3 et 4
172	Début injection ISBP en branches froides 3 et 4
186	Masse totale primaire minimale □
1500	Fin du calcul

TAB-15.2.4F2.8 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE RIS [] EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
0,0	Signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) sur GV 1 à 4 – Isolement ARE sur GV 1 à 4
152	Signal IS
153	Arrêt des GMPP sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p)
[]	Début injection ISMP en branche froide 3
852	Masse totale primaire minimale []
1200	Fin du calcul

TAB-15.2.4F2.9 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS POUR LA RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2

Temps (s)	Évènements
0,0	Conditions initiales – Ouverture de la brèche
0,0	Signal « Haut Niveau GV Gamme Étroite » (Max0p) sur GV 1 à 4 – Isolement ARE sur GV 1 à 4
82,9	Signal IS
84,3	Arrêt des GMPP sur « Signal IS et Bas ΔP aux bornes des pompes » (Min1p)
□	Début injection ISMP en branches froides 3 et 4
500	Masse totale primaire minimale □
700	Fin du calcul

FIG-15.2.4F2.1 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1 – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□

**FIG-15.2.4F2.2 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE,
SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1 – DÉBITS
MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS**

□

FIG-15.2.4F2.3 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1 – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON MOYEN DU CŒUR

□

FIG-15.2.4F2.4 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS ÉTAT B2-1 – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□

**FIG-15.2.4F2.5 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU
PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT
B2-1 – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE –
DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS**

□

FIG-15.2.4F2.6 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-1 – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON MOYEN DU CŒUR

□

FIG-15.2.4F2.7 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2 – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4F2

PAGE 41/45

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4F2.8 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE,
SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2 – DÉBITS
MASSIFS LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE – DÉBIT BRÈCHE
ET DÉBIT TOTAL IS**

□

FIG-15.2.4F2.9 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE RIS □ EN BRANCHE FROIDE, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2 – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON MOYEN DU CŒUR

□

FIG-15.2.4F2.10 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR [1], SANS MDTE ET AVEC BTGV EN SOUS-ÉTAT B2-2 – PRESSIONS DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE – INVENTAIRE EN EAU DES CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

[1]

**FIG-15.2.4F2.11 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES
BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT
CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU
PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT
B2-2 – DÉBITS MASSIQUES LIQUIDE ET VAPEUR À LA BRÈCHE –
DÉBIT BRÈCHE ET DÉBIT TOTAL IS**

□

FIG-15.2.4F2.12 APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES EN ÉTAT B – DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – RUPTURE DE LA LIGNE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR □, SANS MDTE ET AVEC BTGV, EN SOUS-ÉTAT B2-2 – NIVEAU GONFLÉ DU CŒUR – TEMPÉRATURE MAXIMALE DE GAINÉ DU CRAYON MOYEN DU CŒUR

□

SOMMAIRE

.15.2.4G APRP PETITES BRÈCHES (≤DN 50) (ÉTATS C, D, E)	4
1. APRP PETITE BRÈCHE [ÉTAT C]	4
1.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	4
1.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE	5
1.2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ	5
1.2.2. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	7
1.2.3. CRITÈRES D'ÉTUDE	8
1.3. DÉFINITION ET DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS	9
1.3.1. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	9
1.3.2. DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS	10
1.4. RÉSULTATS ET ANALYSE – ETAT C1	14
1.4.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ	14
1.4.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	15
1.4.3. IMPACT D'UN BTGV DE 10%	16
1.5. ANALYSE – ÉTAT C2	16
1.6. ANALYSE – ÉTAT C3	17
1.7. CONCLUSION – ÉTATS C	18
1.8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	18
1.8.1. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION	18
2. APRP PETITE BRÈCHE [ÉTAT D]	19
2.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	19
2.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	19
2.2.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ	19
2.2.2. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	20
2.2.3. CRITÈRES D'ÉTUDE	20
2.3. DÉFINITION ET DESCRIPTION DU CAS ÉTUDIÉ	20
2.3.1. DÉFINITION DU CAS ÉTUDIÉ	20
2.3.2. DESCRIPTION DU CAS ÉTUDIÉ	21

2.4. ANALYSE – ÉTAT D	22
2.5. CONCLUSION – ÉTAT D	24
2.6. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	24
2.6.1. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLEMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION	24
3. APRP PETITE BRÈCHE [ÉTAT E]	24
3.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	24
3.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	25
3.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	25
3.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDE	26
3.3. MOYENS DE PROTECTIONS	26
3.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	27
3.4.1. ÉTAT INITIAL	27
3.4.2. CHOIX DE L'AGGRAVANT	27
3.4.3. CHOIX DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	27
3.4.4. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	27
3.5. ANALYSE – ÉTAT E	30
3.5.1. CAS « TUBE DE TRANSFERT FERMÉ INITIALEMENT (ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE) »	30
3.5.2. CAS « TUBE DE TRANSFERT OUVERT INITIALEMENT ET MAINTENU OUVERT PENDANT TOUTE LA SÉQUENCE ACCIDENTELLE (ÉTAT E POUR CHARGEMENT-DÉCHARGEMENT ET HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE COMMANDE GROUPEE ACTIVÉE) »	31
3.6. CONCLUSION – ÉTAT E	33
LISTE DES RÉFÉRENCES.	34
A- -15.2.4G.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS ÉVACUATION DE PUISSANCE PAR UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA À DÉBIT RÉDUIT	49
A- -15.2.4G.2 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS	50

TABLEAUX :

TAB-15.2.4G.1	CONDITIONS INITIALES BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C1).....	35
TAB-15.2.4G.2	CHRONOLOGIE DES ÉVÉNEMENTS BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C1) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR.....	36
TAB-15.2.4G.3	ÉTAT DU CIRCUIT PRIMAIRE A L'ÉTAT C	37
TAB-15.2.4G.4	MOMENT D'ENTRÉE DANS LES ÉTATS C1, C2 ET C3.....	39
TAB-15.2.4G.5	CAS « ETAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE EN CAS DE PERTE D'UN DIESEL DE SECOURS PRINCIPAL ».....	40
TAB-15.2.4G.6	CAS « ÉTAT E CHARGEMENT – DÉCHARGEMENT EN CAS DE PERTE D'UN DIESEL DE SECOURS PRINCIPAL »	41
TAB-15.2.4G.7	CAS « ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE EN CAS DE DEFAILLANCE A L'ARRET MANUEL D'UN TRAIN RIS-RA »	42
TAB-15.2.4G.8	CAS « ÉTAT E CHARGEMENT – DÉCHARGEMENT EN CAS DE DEFAILLANCE A L'ARRET MANUEL D'UN TRAIN RIS-RA »	43

FIGURES :

FIG-15.2.4G.1	INVENTAIRE EN EAU PRIMAIRE PRESSIONS PRIMAIRE ET SECONDAIRE BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C1) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR.....	44
FIG-15.2.4G.2	MARGE À LA SATURATION DU CIRCUIT PRIMAIRE ΔT_{SAT} TEMPÉRATURE MOYENNE BRANCHE CHAUDE BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	45
FIG-15.2.4G.3	NIVEAU DU PLENUM SUPÉRIEUR DÉBIT BRÈCHE TOTAL ET DÉBIT TOTAL RIS BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	46
FIG-15.2.4G.4	MARGE À LA SATURATION DU CIRCUIT PRIMAIRE ΔP_{SAT} PUISSANCE RÉSIDUELLE BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR	47
FIG-15.2.4G.5	ÉTAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES BR ET BK.....	48

.15.2.4G APRP PETITES BRÈCHES (≤DN 50) (ÉTATS C, D, E)

L'APRP petite brèche se définit comme une brèche équivalente à un diamètre inférieur ou égal à 50 mm (section équivalente inférieure ou égale à 20 cm²) située dans l'enveloppe sous pression du circuit primaire.

Dans les états C, D et E, l'APRP petite brèche est considéré comme un événement PCC 4.

1. APRP PETITE BRÈCHE [ÉTAT C]

1.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

L'événement initiateur est une rupture ou une fuite non isolable, située sur le circuit primaire ou sur une ligne de liaison de celui-ci (partie entre le circuit primaire et ses vannes d'isolement).

Ceci comprend les lignes RIS-RA situées à l'intérieur de l'enceinte, à savoir, entre le circuit primaire et la 2^{ème} vanne d'isolement dans la ligne d'aspiration branche chaude, et entre le circuit primaire et le clapet anti-retour dans la ligne d'injection branche froide. Les conséquences d'une rupture ou d'une fuite située sur un train RIS-RA à l'extérieur de l'enceinte, sont exposées dans la section relative à « Rupture du circuit de réfrigération du réacteur à l'arrêt à l'extérieur de l'enceinte » (voir section 15.2.4q).


L'état C comprend tous les états d'arrêt au cours du fonctionnement normal de la tranche, le refroidissement étant assuré par les trains RIS-RA en mode RA. Cet état s'étend de 32 bar/120 °C (connexion du RIS-RA au cours du passage de l'arrêt à chaud à l'arrêt à froid) à 0,2 bar/15 °C (primaire refermable ou partiellement ouvert). Le circuit primaire est rempli d'eau (T ≥ 15 °C) ou au niveau de la plage de travail basse du train RIS-RA (T = 55 °C).

Un APRP a les conséquences suivantes :

- perte de réfrigérant du réacteur, éventuellement accompagnée d'une élévation de température du cœur,
- chargement de l'enceinte par une surpression due à l'émission de masse et d'énergie,
- charges mécaniques sur les composants du RCP, les supports et structures associé,
- charges mécaniques sur les organes internes de la cuve du réacteur.

L'étude de l'APRP petite brèche en état C concerne le refroidissement du cœur. Le but est de démontrer que les critères techniques d'acceptation sont respectés, y compris la capacité des systèmes F1 d'assurer l'atteinte de l'état contrôlé ainsi que l'état d'arrêt sûr.

En comparaison avec l'état B (voir section 15.2.3e2), l'état C introduit les différences suivantes concernant les moyens de mitigation F1 :

- le non-démarrage F1 de l'ISBP en mode injection de sécurité au signal d'injection de sécurité (les trains RIS-RA sont soit en mode RA, soit en attente sans démarrage automatique),
- la capacité d'injection plus faible de l'ISMP (les grandes lignes à débit minimum s'ouvrent avant la connexion du RIS-RA, afin de diminuer la pression de refoulement de l'ISMP , et ce afin d'éviter la sollicitation des soupapes de sûreté du pressuriseur en cas de démarrage de l'ISMP),
- la modification du signal d'injection de sécurité dans la plage de travail basse du RIS-RA (lorsque tous les GMPP sont à l'arrêt) pour les états C3.

Les conséquences d'un APRP petite brèche à l'état A du réacteur sont exposées dans la section 15.2.3e1.

Les conséquences d'un APRP petite brèche à l'état B du réacteur sont exposées dans la section 15.2.3e2.

1.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDE**1.2.1. De l'événement initiateur à l'état contrôlé**

L'état C du réacteur correspond à une température du circuit primaire entre 120 °C et 15 °C. Trois sous-états appelés C1, C2 et C3 sont considérés en fonction de l'état de fonctionnement des pompes primaires et des pompes RIS (voir tableau [TAB-15.2.4g.3](#)).

Tant que la température du circuit primaire reste supérieure à 100 °C, seulement 2 trains RIS-RA sont utilisés en mode RA pour l'évacuation de la puissance résiduelle, avec aspiration depuis la branche chaude et injection dans la branche froide de la même boucle, les 2 autres pompes ISBP attendant un démarrage si nécessaire (soit en mode d'injection de sécurité, soit en mode RA). En dessous de 100°C, au moins 3 trains RIS-RA sont utilisés en mode RA jusqu'à la fin de l'état C2, puis 3 trains RIS-RA sont utilisés en mode RA pour les états C3.

A l'état C du réacteur, la rupture du circuit primaire implique une perte de l'inventaire en eau du circuit primaire. Différents niveaux de moyens de mitigation sont envisagés afin de compenser cette perte de l'inventaire en eau du circuit primaire :

- la régulation de l'inventaire en eau du circuit primaire (non classée F1) qui se basera sur le déséquilibre admissible entre le débit de charge et le débit de décharge du RCV. En fonction de l'état du réacteur, la régulation concernée est :
 - états C1, C2 :
la régulation du niveau du pressuriseur.
 - états C2 solide :
la régulation de la pression primaire.
 - état C3 :
la régulation du niveau de la boucle du circuit primaire (voir définition ci-après).
- L'isolement (classé F1A) de la ligne de décharge du RCV. Cette mesure a pour but de limiter la perte du réfrigérant. Elle est activée dans les conditions suivantes :
 - états C1, C2, C2 solide :
niveau bas du pressuriseur.
 - état C3 :
niveau bas des boucles du circuit primaire.
- Le signal d'injection de sécurité (classé F1A) qui actionne les pompes ISMP dans la configuration appropriée :
 - états C1, C2, C2 solide :
Tant qu'une pompe primaire au moins est en marche ($15\text{ °C} \leq T \leq 120\text{ °C}$), le signal d'injection de sécurité se base sur la mesure ΔP_{sat}^1 utilisée à l'état B et déjà décrite dans la section 15.2.3e2.
 - état C3 :
Lorsque tous les GMPP sont à l'arrêt ($15\text{ °C} \leq T \leq 55\text{ °C}$), le signal d'injection de sécurité se base sur le niveau des boucles du circuit primaire. Le niveau des boucles du circuit primaire consiste à mesurer le ΔP entre le bas et le haut de chaque branche chaude, avec une logique en 2 sur 4 (1 mesure par branche chaude).

En mode injection de sécurité, l'ISBP n'est pas actionnée par le signal d'injection de sécurité automatique . Ainsi, seules les pompes ISMP sont utilisées pour l'appoint automatique, permettant de compenser la fuite à l'état C du réacteur.

1. $\Delta P_{\text{sat}} = P_{\text{Branche Chaude}} - P_{\text{sat}} (T_{\text{Branche Chaude}})$

La continuité de fonctionnement du RCV (non classé F1) ne peut être valorisée suite à son isolement sur signal d'IS. L'injection aux joints doit être considérée comme inopérante et une fuite aux joints des GMPP doit être considérée.

La fuite aux joints des pompes primaires est considérée dès le début de l'accident étudié, à l'instant du MDTE.

Les 4 accumulateurs sont isolés.

L'étude de sûreté postule ici de façon conservatrice et enveloppe que l'APRP petite brèche se produit sur une boucle dont la pompe ISBP fonctionne initialement en mode RA, et que cette rupture entraîne la perte totale du train RIS-RA (indisponible pour l'évacuation de l'énergie).

Après l'apparition de la brèche et de la fuite aux joints des GMPP non compensée, la chronologie des événements est la suivante :

- perte d'un train RIS-RA pour le refroidissement du circuit primaire :
Comme indiqué précédemment, l'étude de sûreté suppose de façon conservatrice et enveloppe que l'APRP petite brèche entraîne la perte du train RIS-RA associé à la boucle rompue. Par conséquent, à l'apparition de l'APRP petite brèche, restent disponibles pour le refroidissement par les trains RIS-RA :
 - à l'état C1 ($100\text{ °C} \leq T \leq 120\text{ °C}$), ($23,5\text{ bar abs} \leq P \leq 32\text{ bar abs}$) : 1 des 2 trains RIS-RA initialement en fonctionnement avant l'apparition de l'événement.
 - aux états C2 ($15\text{ °C} \leq T \leq 100\text{ °C}$), ($23,5\text{ bar abs} \leq P \leq 32\text{ bar abs}$) : au moins 2 des trains RIS-RA initialement en fonctionnement avant l'apparition de l'événement.
 - à l'état C3 ($15\text{ °C} \leq T \leq 55\text{ °C}$), ($0,2\text{ bar abs} \leq P \leq 25\text{ bar abs}$) : 2 des 3 trains RIS-RA initialement en fonctionnement avant l'apparition de l'événement.
- évacuation d'énergie du circuit primaire complémentaire par les 2 GV, si nécessaire :
 - Si le (ou les) train (s) RIS-RA restant (s) n'est (en) t pas suffisant (s) pour refroidir complètement le circuit primaire, la température de ce dernier augmenterait. Avec cette augmentation de la température du circuit primaire, la capacité de refroidissement des trains RIS-RA restants augmente. Si la température du circuit primaire atteint la température de saturation correspondant à la consigne de pression des 2 GV déjà en attente, ces GV participeront à l'évacuation d'énergie du circuit primaire.
 - En fonctionnement normal, le refroidissement par les GV s'effectue en parallèle avec le refroidissement par le RIS-RA en dessous de 120 °C . Cependant, l'étude de sûreté postule que le refroidissement par les GV est arrêté lorsque la température de connexion du RIS-RA de 120 °C est atteinte. Par conséquent, 2 GV sont maintenus en attente, avec une température réelle de 120 °C et une consigne de pression de . « En attente » signifie que ces 2 GV sont prêts à fonctionner, que l'alimentation par l'ASG (classée F1A) démarre automatiquement sur "bas niveau GV MIN2", et que l'évacuation de la vapeur s'effectue par les VDA (classés F1A) suite à leur ouverture lorsque la pression des GV atteint la consigne de pression. Les 2 autres GV sont supposés indisponibles pour l'évacuation de la vapeur, ARE/AAD/ASG et VIV/VDA étant respectivement isolés.
- compensation du débit brèche :
En considérant l'aggravant appliqué à un diesel de secours principal, dans le cas du cumul du MDTE, il reste trois pompes ISMP pour l'injection de sécurité à l'apparition du signal d'injection de sécurité.
Le signal d'injection de sécurité actionne automatiquement l'injection ISMP. L'inventaire en eau du circuit primaire est rapidement équilibré par les pompes ISMP disponibles pour l'injection dans le circuit primaire. Pour la brèche la plus importante pour un APRP petite brèche (20 cm^2) associée à une fuite aux joints des pompes primaires, la fuite est compensée par l'injection de trois pompes ISMP.
- évacuation de la puissance résiduelle :

La vaporisation du débit brèche dans l'enceinte entraîne une augmentation de pression et température de cette dernière. Par ailleurs, le fluide rejeté par la brèche entraîne une élévation de la température de l'IRWST.

L'état contrôlé se définit comme un état dans lequel :

- Le cœur est sous-critique.
- La puissance résiduelle est évacuée par l'intermédiaire du RIS-RA en service, si nécessaire avec l'aide des GV qui étaient en attente avant l'accident.
- L'inventaire en eau primaire est stable ou augmente à nouveau, ce qui signifie que le débit d'injection de l'ISMP correspond à minima au débit brèche.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.2.2. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

□. En effet, les mesures du niveau de la cuve et de ΔT_{sat} utilisées aux états A et B pour déterminer l'état de la tranche ne sont plus accessibles en état C (notamment débranchement des câbles électriques avant d'enlever le couvercle de la cuve en C3) et sont alors remplacées par les autres mesures F1B de la liste suivante :

lorsque la température du circuit primaire se situe entre 120 °C et 100 °C (état C1) :

- régulation de l'inventaire en eau du circuit primaire : niveau cuve (tant qu'il est disponible), niveau boucle du circuit primaire,
- régulation de la pression et de la température du circuit primaire : pression et température de la branche chaude,
- régulation de la sous-criticité du cœur : chaînes intermédiaires.

lorsque la température du circuit primaire se situe entre 100 °C et 15 °C (états C2, C3) :

- régulation de l'inventaire en eau du circuit primaire : niveau cuve (tant qu'il est disponible), niveau boucle du circuit primaire,
- régulation de la pression et de la température du circuit primaire : pression et température de la branche chaude,
- régulation de la sous-criticité du cœur : chaînes sources.

De plus, les informations F1B suivantes des états A et B restent disponibles, si nécessaire, en état C :

- niveau du pressuriseur (étalonnage à froid),
- niveau GV,
- pression GV.

L'état d'arrêt sûr se définit comme un état dans lequel :

- Le cœur est sous-critique.
- L'inventaire du réfrigérant primaire est stable ou augmente à nouveau.
- La puissance résiduelle est évacuée durablement par la chaîne de refroidissement ISBP/RR/SEC (l'ISBP est utilisé en mode RA).
- Les rejets radioactifs restent tolérables.

Les actions principales à suivre pour atteindre l'état d'arrêt sûr sont les suivantes :

- contrôle de la sous-criticité du cœur :

La borication du circuit primaire n'est pas nécessaire. Cependant, le RBS (classé F1A) est disponible pour la borication, en supplément de celle de l'ISMP (non exigée dans l'étude de sûreté de l'événement PCC 4 « APRP petite brèche sur circuit primaire en état C »).

- contrôle de l'inventaire en eau du circuit primaire :
La (ou les) pompe(s) ISMP disponible(s) assure(nt) l'appoint pour compenser la fuite et pour assurer des conditions de fonctionnement correctes des trains RIS-RA.
Pour un APRP petite brèche se produisant à l'état C1 (au-dessus de 100 °C), les pompes ISBP qui étaient en attente avant l'accident peuvent être démarrées afin de fournir, si nécessaire, une alimentation en eau supplémentaire.
L'évacuation de la puissance résiduelle par le RIS-RA limite la température de l'IRWST en dessous de la limite de température garantissant un fonctionnement correct des pompes ISMP.
- contrôle du refroidissement du circuit primaire :
Si les GV participaient au refroidissement du circuit primaire lorsque l'état contrôlé a été atteint, transférer la fonction de refroidissement vers le (ou les) train(s) RIS-RA disponible(s) avant de vider les bâches ASG. Il faut également abaisser la pression de consigne des VDA afin de refroidir le primaire par les GV et pouvoir remettre en service un train RIS-RA.
Pour un APRP petite brèche se produisant à l'état C1 (au-dessus de 100 °C), les pompes ISBP qui étaient en attente avant l'accident peuvent être démarrées manuellement afin de fournir, si nécessaire, une capacité de refroidissement plus importante.
- contrôle du confinement :
 refermer l'enceinte (si celle-ci est ouverte) dès que possible, afin de limiter les rejets radiologiques dus aux dégagements de vapeur à l'intérieur de l'enceinte.

1.2.3. Critères d'étude

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis des études d'APRP sont les suivants :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La température maximale de gaine doit rester inférieure à 1200 °C.
 - L'oxydation maximale de la gaine doit rester inférieure à 17 % de l'épaisseur de gaine.
- La génération maximale d'hydrogène doit rester inférieure à 1 % de la quantité qui serait générée si la totalité du zirconium des gaines en regard de la hauteur active s'était oxydée.
- Le refroidissement à long terme du cœur doit être assuré en garantissant l'absence de cristallisation du bore dans le cœur et en tenant compte du phénomène de dilution hétérogène inhérente. La dilution hétérogène inhérente en cas de brèche primaire en état C, D et E est traitée dans la section 19.2.4.

En pratique, la vérification des critères techniques d'acceptation définis pour les APRP PCC-4 est déclinée, dans cette section, par la vérification des critères suivants :

- pas de découverture du cœur,
- La puissance est évacuée à long terme.
- La mise en place d'une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST doit être assurée lorsque le primaire est entre-ouvert ou ouvert.


L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.


- L'inventaire en eau est stable.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.3. DÉFINITION ET DESCRIPTION DES CAS ÉTUDIÉS

1.3.1. Définition des cas étudiés

La démonstration de sûreté se base sur un calcul d'APRP petite brèche, effectué à l'aide du code de calcul  (voir Annexe 15A pour la description du code et paragraphe 3.4 de la section 15.2.3e1 pour la validité du code et la méthodologie d'analyse).


Un calcul de l'accident est réalisé en état C1, couvrant les cas d'APRP petite brèche aux états C2 (C2 et C2 solide) et un argumentaire est réalisé en état C3. De même que pour les états A et B, la localisation la plus pénalisante de la brèche se situe sur la branche froide du circuit primaire, et la taille la plus importante pour un APRP petite brèche est prise en considération (diamètre équivalent de 50 mm, surface équivalente de 20 cm²). La brèche est supposée se produire au début de l'état C1 (32 bar et 120 °C dans le circuit primaire).

Afin d'obtenir une évaluation précise de la gestion de l'accident dans les différents états C1, C2, C3, les conditions initiales de la tranche et les moyens de gestion de l'accident sont indiqués ci-dessous pour ces trois états, et pas uniquement pour le calcul  enveloppe relatif à l'état C1.

La démonstration de sûreté concerne à la fois l'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr, et le respect des critères techniques d'acceptation associés.

Conformément aux règles définies à la section 15.0.2 pour les études de sûreté, l'état contrôlé est atteint uniquement à l'aide des systèmes classés F1A. L'état d'arrêt sûr est atteint à l'aide des systèmes classés F1A et F1B.

En ce qui concerne les règles d'étude des accidents :

- L'analyse est réalisée en tenant compte de l'aggravant le plus pénalisant.
- En état C, aucune maintenance préventive n'est assurée sur les systèmes F1, sauf sur 2 GV et sur les trains ASG et VDA associés.
- En état C, le MDTE est postulé dès l'événement initiateur conformément à la section 15.0.2. Si le choix de l'aggravant se porte sur un des diesels de secours, les conséquences possibles sont les suivantes :
 - perte d'un train ISMP et d'un train RIS-RA secourus par le même diesel,
 - perte d'une pompe ASG sur un GV.
- perte d'un VDA sur un GV après un délai de 2 heures, rendant caduque la capacité d'évacuation de puissance par ce GV (concerne les états C1 à C3). .
- Aucune action de l'opérateur n'intervient dans les 30 minutes qui suivent le déclenchement du signal d'injection de sécurité.

1.3.2. Description des cas étudiés

1.3.2.1. Choix de l'aggravant

L'aggravant le plus pénalisant est la perte d'un diesel de secours principal (boucle 1) compte tenu de la prise en compte du MDTE.

1.3.2.2. État initial

Les conditions initiales sont choisies de la façon suivante :

- La puissance initiale du réacteur est maximisée et correspond au niveau de puissance résiduelle maximal résultant du fonctionnement continu du réacteur avant l'accident, et à la durée minimale de la connexion de RIS-RA en mode RA pendant le passage de la tranche de l'arrêt à chaud à l'arrêt à froid (début de l'état C).
- La température et la pression initiale du circuit primaire sont maximisées.

De l'état C1 à l'état C2 solide, la concentration initiale en bore du circuit primaire est supérieure à la concentration en bore de l'arrêt à froid. En état C3, la concentration initiale en bore du circuit primaire est supérieure à la concentration de l'arrêt pour rechargement.

Les conditions initiales du calcul en état C1 sont enveloppes de l'état C2 (cf. [§ 1.3.1.](#)) et sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.4g.1.](#)

Ces conditions fournissent la pression initiale du circuit primaire et la pression de saturation les plus élevées, ce qui maximise le débit brèche et minimise le débit d'injection ISMP.

Les conditions initiales concernant le niveau d'eau du pressuriseur et des GV sont indiquées dans le tableau [TAB-15.2.4g.1.](#)

Dans le calcul , la brèche se situe sur une branche froide, englobant une brèche sur une ligne d'injection de sécurité avec les défaillances supposées qui en découlent (perte du train RIS-RA associé à la boucle rompue).

4 boucles sont explicitement modélisées dans le calcul , la rupture étant située sur la boucle 4 et le pressuriseur sur la boucle 3. Avant l'apparition de la rupture, la configuration du circuit primaire est la suivante :

état C1 :

	Pompes primaires	ISBP	ISMP
Boucle 1	En marche	En marche en mode RA	Disponible
Boucle 2	En marche	A l'arrêt en attente	Disponible
Boucle 3	En marche	A l'arrêt en attente	Disponible
Boucle 4	En marche	En marche en mode RA	Disponible

état C3 :

	Pompes primaires	ISBP	ISMP
Boucle 1	A l'arrêt	A l'arrêt en attente	Disponible
Boucle 2	A l'arrêt	En marche en mode RA	Disponible
Boucle 3	A l'arrêt	En marche en mode RA	Disponible
Boucle 4	A l'arrêt	En marche en mode RA	Disponible

Après l'apparition de la brèche, la configuration du circuit primaire devient la suivante :

état C1 :

	Pompes primaires	ISBP	ISMP
Boucle 1	Arrêtée sur bas ΔP GMPP (*)	A l'arrêt sur MDTE Ne redémarre pas à cause de l'aggravant	A l'arrêt dû à l'aggravant
Boucle 2	Arrêtée sur bas ΔP GMPP (*)	A l'arrêt en attente	En marche après le signal d'injection de sécurité
Boucle 3	Arrêtée sur bas ΔP GMPP (*)	A l'arrêt en attente	En marche après le signal d'injection de sécurité
Boucle 4 Brèche branche froide de 20 cm ²	Arrêtée sur bas ΔP GMPP (*)	Perte à la brèche Hypothèse conservative qui prend en compte le risque de cavitation de la pompe	En marche après le signal d'injection de sécurité Partiellement perdu à la brèche

(*) En cas de MDTE, les GMPP sont maintenus en fonctionnement de manière conservative. Ils sont arrêtés sur bas ΔP GMPP.

état C3 :

	Pompes primaires	ISBP	ISMP
Boucle 1	A l'arrêt	A l'arrêt en attente en mode IS (non utilisé dans l'étude PCC)	En marche après le signal d'injection de sécurité
Boucle 2	A l'arrêt	En marche en mode RA	En marche après le signal d'injection de sécurité
Boucle 3	A l'arrêt	A l'arrêt sur MDTE Ne redémarre pas à cause de l'aggravant	A l'arrêt dû à l'aggravant
Boucle 4 Brèche branche froide de 20 cm ²	A l'arrêt	Perte à la brèche Hypothèse conservative qui prend en compte le risque de cavitation de la pompe	En marche après le signal d'injection de sécurité Partiellement perdu à la brèche

1.3.2.3. Hypothèses spécifiques

1.3.2.3.1. Puissance résiduelle




1.3.2.3.2. Hypothèses liées aux systèmes F1



- trains RIS-RA (F1B) :

Pour l'état C1, les pompes ISBP associées aux boucles 1 et 4 fonctionnent initialement en mode RA. Pour l'état C3, les pompes ISBP associées aux boucles 2, 3 et 4 fonctionnent initialement en mode RA.

En état C1, après l'apparition de la brèche aucune pompe ISBP n'est fonctionnelle, le train RIS-RA de la boucle 1 s'arrête sur MDTE et ne redémarre pas à cause de l'aggravant, et le train 4 est perdu à la brèche. En état C3, après l'apparition de la brèche, seule une pompe ISBP reste en marche. Un train RIS-RA ne redémarre pas à cause de l'aggravant et un train est perdu à la brèche.

Pour l'état C1, les pompes ISBP associées aux boucles 2 et 3 sont en attente et peuvent, si nécessaire, être démarrées manuellement soit en mode d'injection de sécurité, soit en mode RA, au plus tôt 30 minutes après le signal d'injection de sécurité. Pour l'état C3, la pompe ISBP associée à la boucle 1 est en attente en mode IS. Elle peut démarrer sur signal IS après temporisation si le niveau boucle n'a pas été restauré par l'ISMP (signal F2 qui n'est pas valorisé dans les études PCC). Elle peut également être démarrée  soit en mode injection de sécurité, soit en mode RA, au plus tôt 30 minutes après le signal d'injection de sécurité.

Les caractéristiques de chaque chaîne de refroidissement RIS-RA/RR/SEC sont pénalisées afin de minimiser la capacité d'évacuation de puissance :

Paramètres (par échangeur)	Valeurs	
	Fluide chaud RRI	Fluide froid SEC
Température d'entrée (°C)		

Température de sortie (°C)	□	□
Débit (kg/s)	□	□
Puissance échangée (MW)	□	□

- *injection de sécurité (F1A) :*

En état C1, le signal d'injection de sécurité est émis automatiquement sur faible marge à la saturation du circuit primaire ΔP_{sat} □ En état C3, le signal d'injection de sécurité est émis sur bas niveau boucle.

Les hypothèses conservatives relatives aux actions consécutives sont les suivantes :

- délai maximal de 45,5 secondes pour le démarrage des pompes ISMP (y compris la temporisation du signal) en état C1. Ce délai est de 41,5 s en état C3.
- courbe d'injection ISMP minimale avec les grandes lignes à débit minimum ouvertes, de façon à limiter la pression de refoulement ISMP □ (voir caractéristiques ISMP minimales applicables aux états C et D au sous-chapitre 15.1),
- □ la température initiale maximale de l'IRWST. Cette température maximale permet de couvrir l'échauffement de l'IRWST lors de la phase opérateur et plus particulièrement lors de la réalisation des T.I.P (Test d'Intégrité Primaire). Ces T.I.P sont des actions □ qui ont pour but de déterminer si la brèche est isolable ou si le primaire doit être déclaré non-intègre (brèche non-isolable). Ces tests sont réalisés par fermeture successive des différentes vannes d'isolement présentes sur les lignes RIS-RA et sont décrits plus en détail au [§ 1.4.2.](#)

L'état des pompes ISMP est comme suit :

- Il est supposé, de façon conservative, que la pompe ISMP associée à la boucle 1 du circuit primaire ne fonctionne pas par application de l'aggravant.
- Il est supposé que les pompes ISMP associées aux boucles 2 et 3 du circuit primaire sont disponibles lors du fonctionnement normal de la tranche en état C.
- Il est supposé que la pompe ISMP associée à la boucle 4 du circuit primaire affectée par la brèche est disponible et contribue partiellement à l'injection dans le primaire.

Les accumulateurs, initialement isolés, ne sont pas pris en compte dans le calcul □.

- *VDA (F1A) :*

Initialement, 2 GV sont disponibles en attente.

Les VDA des 2 GV en attente s'ouvrent automatiquement lorsque la pression du GV devient supérieure au point de consigne. □ □ un refroidissement du primaire avec un gradient de 50°C/h via l'ouverture des VDA des GV disponibles.

Les caractéristiques conservatives (capacité minimale, temps d'ouverture maximal) sont identiques à celles utilisées en état A et sont définies au sous chapitre 15.1.

- *ASG (F1A) :*

Chacun des 2 GV en attente est alimenté automatiquement, si nécessaire, par sa pompe ASG (une pompe ASG étant potentiellement perdue en raison de l'aggravant sur un diesel en cas de MDTE). Les 2 autres GV sont totalement isolés (isolement de l'alimentation ARE/AAD/ASG, isolement de la vapeur VIV/VDA) n'offrant aucune possibilité d'évacuation de la vapeur.

L'ASG est actionnée automatiquement train par train sur le signal « bas niveau GV MIN2 ».

Les caractéristiques conservatives (débit minimal, température maximale) sont identiques à celles utilisées en états A et B (voir sous-chapitre 15.1).

- *arrêt des GMPP (F1A) :*

De manière pénalisante tous les GMPP sont initialement en fonctionnement dans les états C1 à C2 solide.

Bien que le MDTE soit pris en compte, les GMPP sont de façon pénalisante maintenus en service après l'initiateur ; ils sont ensuite déclenchés, sur faible ΔP amont/aval pompe ($\Delta P < MIN1$).

En effet, la puissance des pompes \square en comparaison avec la puissance du cœur \square s'avère importante. La puissance apportée par celles-ci au début du calcul est donc pénalisante. En état C3, tous les GMPP sont à l'arrêt.

1.3.2.3.3. Autres hypothèses

Les systèmes non classés F1 ne sont pas pris en considération, si leur action est positive (par exemple : injection RCV actionnée par la régulation/limitation du contrôle-commande) ou sans impact sur la mitigation de l'accident.

La continuité de fonctionnement du RCV (non classé F1) n'étant pas assurée, l'injection aux joints doit être considérée comme inopérante et une fuite aux joints des GMPP doit être considérée \square . La fuite aux joints des pompes primaires est considérée dès le début de l'accident étudié, à l'instant du MDTE.

1.4. RÉSULTATS ET ANALYSE – ETAT C1

1.4.1. Atteinte de l'état contrôlé

La chronologie des événements résultant du calcul \square conservatif est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4g.2](#).

Les paramètres les plus représentatifs sont présentés dans les figures suivantes :

- [FIG-15.2.4g.1](#) :
 - inventaire en eau primaire,
 - pressions primaire et secondaire.
- [FIG-15.2.4g.2](#) :
 - marge à la saturation du circuit primaire ΔT_{sat} ,
 - température du circuit primaire.
- [FIG-15.2.4g.3](#) :
 - niveau d'eau dans le plenum supérieur (niveau gonflé),
 - débits à la brèche et débit total RIS.
- [FIG-15.2.4g.4](#) :
 - marge à la saturation du circuit primaire (dans le plenum supérieur),
 - puissance résiduelle.

Le signal d'injection de sécurité est obtenu à 214 s sur bas ΔP_{sat} :

- Le débit injecté par les trois pompes ISMP compense rapidement le débit brèche après leur démarrage. L'inventaire en eau du circuit primaire cesse de diminuer \square . Il n'y a pas de découverture du cœur.
- La puissance résiduelle est évacuée partiellement par la brèche.
- La brèche ne suffit pas à évacuer à elle seule la puissance résiduelle, la température primaire et les pressions primaires et secondaires augmentent de façon continue.

Sans prise en compte d'action opérateur, l'inventaire en eau se stabilise grâce à l'injection des pompes ISMP et aucun découverture du cœur n'est observé.

L'énergie évacuée à la brèche ne suffit cependant pas à évacuer toute la puissance résiduelle si bien que, \square , le primaire s'échauffe jusqu'à atteindre un équilibre obtenu lorsque la pression secondaire

atteint le seuil de tarage des VDA \square : La température primaire se stabilise alors à la température de saturation correspondante à cette pression secondaire \square .

L'évacuation de l'énergie primaire par les GV est stabilisée et conduira à terme à une vidange de ceux-ci et à un démarrage des ASG. Ces derniers vont stabiliser les niveaux GV et permettre une bonne évacuation de l'énergie primaire par le secondaire.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration de bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur tout au long de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.3](#), est vérifié. L'état contrôlé est donc atteint.

1.4.2. Atteinte de l'état d'arrêt sûr

La chronologie des événements résultant du calcul \square conservatif est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4g.2](#).

Les paramètres les plus représentatifs sont présentés dans les figures suivantes :

- [FIG-15.2.4g.1](#) :
 - inventaire en eau primaire,
 - pressions primaire et secondaire.
- [FIG-15.2.4g.2](#) :
 - marge à la saturation du circuit primaire ΔT_{sat} ,
 - température du circuit primaire.
- [FIG-15.2.4g.3](#) :
 - niveau d'eau dans le plenum supérieur (gonflé),
 - débits à la brèche et débit total RIS.
- [FIG-15.2.4g.4](#) :
 - marge à la saturation du circuit primaire (dans le plenum supérieur),
 - puissance résiduelle.

A 2014 s, \square procédure « passage à froid avec IS ». Afin de déterminer à quel type d'accident il doit faire face, à savoir, une baisse incontrôlée du niveau primaire, une brèche isolable sur un train RIS-RA ou une brèche primaire non-isolable, celui-ci doit réaliser un T.I.P. (Test d'Intégrité Primaire). Dans la configuration considérée, le résultat du T.I.P. conduit à déclarer le primaire comme non intègre.

En suivant la procédure « passage à froid avec IS », \square démarre les trains RIS-RA disponibles en mode RA à débit réduit et réalise un refroidissement du primaire avec un gradient de -50°C/h via l'ouverture des VDA des GV disponibles afin de restaurer la marge à la saturation.

De manière découplée dans la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr un seul GV est valorisé lors du refroidissement du primaire. En effet une pompe ASG alimentant un des GV disponibles est potentiellement perdue par application de l'aggravant suite à la prise en compte du MDTE.

La puissance résiduelle est entièrement évacuée par au moins un train RIS-RA en mode RA à débit réduit pendant toute la durée du T.I.P (voir [A- -15.2.4g.1](#)).

Suite à la restauration de la marge à la saturation à 4106 s, réalise un T. I. P en isolant séquentiellement chaque train RIS-RA. La durée du test d'un train RIS-RA est de 40 minutes. En état C2 et C2 Solide, si tous les trains RIS-RA sont initialement en service, il faut tester successivement les 4 trains pour déterminer qu'il s'agit d'un APRP, la durée totale est de 2h50 en prenant en compte les 10 minutes de stabilisation des paramètres primaires. Ce temps prend en compte les délais d'observation des paramètres primaires et le temps nécessaire pour effectuer les manœuvres d'isolement et dés-isolement des trains RIS-RA. De manière conservatrice la même durée de T.I.P est retenue pour l'état C1 puisque deux trains RIS-RA sont en attente.

Il est démontré dans le [§ 1.4.1](#). qu'il n'y a pas de problème d'inventaire en eau et qu'un état contrôlé est atteint sans intervention de l'opérateur. Par ailleurs lors du test d'un train RIS-RA les conditions thermohydrauliques vis-à-vis de la connexion des trains RIS-RA ne sont pas dégradées entre le début et la fin du test.

On peut donc conclure que durant les 2h50 correspondantes au test des différents trains RIS-RA aucune dégradation sur les conditions thermohydrauliques du primaire n'est à considérer. Seule une augmentation de la température de l'IRWST due à son échauffement progressif est à prendre en compte.

Ainsi, par conservatisme, il est considéré une température de l'IRWST maximum , dès le début du calcul.

La figure [FIG-15.2.4g.2](#) montre l'évolution de la température et de la marge à la saturation du circuit primaire ΔT_{sat} au cours de la séquence accidentelle avec l'isolement d'un train RIS-RA en mode RA à 4706 secondes et la remise en service de ce train à 7106 s.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration de bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Le non découverture du cœur est assuré tout au long de l'accident (cf. [FIG-15.2.4g.1](#)), les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'évacuation de la puissance résiduelle est garantie durablement puisqu'au moins un train RIS-RA reste en service durant le TIP et que tous les trains RIS-RA sains sont connectés en mode RA à débit réduit une fois le TIP terminé.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.3](#). est vérifié. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

1.4.3. Impact d'un BTGV de 10%

La prise en compte du BTGV implique une baisse du volume primaire, une diminution de la surface d'échange primaire/secondaire ainsi qu'une augmentation de la résistance hydraulique des GV considérés.

De façon pénalisante les calculs présentés aux [§ 1.4.1](#). et [§ 1.4.2](#). prennent déjà en compte une diminution de 10% de la surface d'échange primaire/secondaire ainsi qu'une diminution du volume primaire liée au BTGV de 10%.

1.5. ANALYSE – ÉTAT C2

Le calcul correspondant à l'état C1 couvre les APRP petites brèches dans les états C2 et C2 solide puisque :

- La puissance résiduelle à évacuer est plus faible aux états C2.

- Les trains RIS-RA restant en fonctionnement sont plus nombreux qu'à l'état C1 (un au lieu de zéro, ce qui permet le refroidissement du circuit primaire à un niveau de température inférieur).
- La température initiale du circuit primaire est inférieure aux états C2 et C2 solide (valeurs nominales : 100 °C et 80 °C, au lieu de 120 °C), ayant pour conséquence une pression de saturation inférieure.

L'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr sont atteints en état C2 car couvert par l'état C1. Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.2.3. étant vérifiés pour l'état C1 (§ 1.4.), ils le sont également pour les états C2 et C2 solide.

1.6. ANALYSE – ÉTAT C3

Vis-à-vis de l'inventaire en eau, l'analyse faite pour l'état C1 couvre l'état C3 car :

- Le débit brèche est plus faible en état C3 (pression primaire plus faible).
- Les moyens d'injection ISMP/ISBP sont identiques avec l'état C1 : 3 ISMP disponibles et au moins 1 ISBP disponible pour les actions opérateur.

Il n'y a donc pas de découverture du cœur tout au long de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

En C3 entrouvert un moyen de recirculation est mis en œuvre afin d'assurer une réalimentation constante de l'IRWST et donc un maintien en eau du primaire □. Les débits de retour gravitaires permettent de compenser le débit ISMP, pour garantir suffisamment d'eau dans l'IRWST. Ce moyen de recirculation est décrit au § 2.4..

Vis-à-vis de l'évacuation de la puissance résiduelle, des calculs sont réalisés dans la section 15.2.2w qui couvrent un APRP petite brèche en état C3 car :

- Les conditions initiales et moyens de protection sont identiques entre la présente section 15.2.4g et la section 15.2.2w.
- Le dimensionnement des seuils d'arrêt des trains RIS-RA sur niveau boucle garantit le non déclenchement des trains RIS-RA □.
- Seul l'initiateur est différent, à savoir la perte d'un train RIS-RA dans la section 15.2.2w et une petite brèche dans la présente section 15.2.4g. Le train RIS-RA portant la brèche est endommagé et, de façon conservatrice, ne participe plus à l'évacuation de puissance. Dans les deux cas (section 15.2.2w et présente section 15.2.4g) le même nombre de trains RIS-RA reste en service au cours du scénario.
- La brèche maximale DN50 n'entraîne pas l'arrêt des trains sur signal de très bas niveau boucle □ ; il est donc nécessaire de garantir l'intégrité des trains RIS-RA en service. Par rapport aux scénarios sans ISMP détaillés dans la section 15.2.2w, les accidents de la présente section 15.2.4g impliquent le démarrage d'au moins trois pompes ISMP. Celles-ci fournissent une puissance additionnelle au fluide primaire. Mais elles contribuent également à augmenter la pression dans le primaire, les températures limites à ne pas dépasser en branches chaudes pour éviter toute cavitation dans les trains RIS-RA en fonctionnement (cf. section 15.2.2w) sont augmentées de façon plus importante que la hausse de température induite par les pompes ISMP en service. Les trains RIS-RA en mode RA demeurent donc intègres. La puissance totale fournie au primaire étant évacuée, il n'y a donc pas de risque d'atteindre la saturation dans le primaire ni de risque de crise d'ébullition.
- Lors de la phase de remontée : la réduction préventive du débit des trains RIS-RA en mode RA permet d'éviter tout phénomène de cavitation.

Enfin, compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration de bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Ainsi, à moyen terme :

- La sous-criticité est garantie (Cb initiale primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement et absence d'apport d'eau claire).
- L'inventaire en eau est stable puisque l'ISMP compense le débit brèche.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée puisque, en état C3, une brèche DN50 n'entraîne pas l'arrêt des trains RIS-RA. Ainsi, après application de l'aggravant, il restera un train RIS-RA en service en mode RA pour évacuer la puissance résiduelle.
- Le cœur restant couvert, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation relatifs à l'état contrôlé mentionnés au [§ 1.2.3.](#) est vérifié. L'état contrôlé est donc atteint.

A long terme :

- La sous-criticité est garantie (Cb initiale primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement et absence d'apport d'eau claire).
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée durablement par les trains RIS-RA sains.
- Le cœur restant couvert, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.3.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

1.7. CONCLUSION – ÉTATS C

Cette étude de l'APRP petite brèche en états C1, C2 et C3 du réacteur montre que malgré la prise en compte de l'aggravant le plus pénalisant sur un diesel de secours et la considération d'une fuite aux joints des pompes primaires non compensée :

- Il n'y a pas de découverture du cœur et l'inventaire en eau est stable grâce à l'injection ISMP.
- La puissance est évacuée à long terme par la mise en service de deux trains RIS-RA en mode RA ou en mode RA à débit réduit.
- La mise en place d'une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST est assurée lorsque le primaire est entre-ouvert ou ouvert.
- Compte tenu des conditions initiales (grappes insérées, concentration de bore initiale), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).
- Les rejets radiologiques restent tolérables car aucun découverture du cœur n'est observé.

Ainsi, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés dans le [§ 1.2.3.](#) est vérifié. L'état contrôlé puis l'état d'arrêt sûr sont atteints.

1.8. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

1.8.1. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

1.8.1.1. Analyse d'acceptabilité de la non robustesse de la disposition de sûreté « Mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA (F1B manu) »

Une analyse a été réalisée afin de vérifier la robustesse des différentes fonctions de sûreté F1 (cf. [I](#)) à l'application du critère à la défaillance unique (CDU) telle que requise dans le sous-chapitre 3.2 du Rapport de Sûreté de l'EPR Flamanville. Lors de cette analyse, la disposition de sûreté « Mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA (F1B manu) » depuis la salle de commande a été identifiée comme non robuste au CDU.

Lors de la réalisation du T.I.P., l'opérateur demande l'arrêt d'un train RIS-RA en mode RA. En cas de défaillance (aggravant), la pompe peut ne pas s'arrêter depuis la salle de commande. L'opérateur

pourrait alors fermer la ligne d'aspiration du train sans vérifier l'arrêt effectif de la pompe ce qui peut mener à l'endommagement du train et à l'apparition d'une fuite pouvant fausser le résultat du T.I.P. Pour éviter cette situation, l'opérateur doit vérifier que la pompe est bien arrêtée. Si ce n'est pas le cas, un arrêt en local est nécessaire allongeant la durée du T.I.P. de 30 minutes.

L'analyse d'impact menée (cf. [1]) a démontré l'acceptabilité, dans l'état C d'une action en local de 30 minutes pour arrêter le train RIS-RA en mode RA affecté par la défaillance à l'arrêt manuel depuis la salle de commande.

2. APRP PETITE BRÈCHE [ÉTAT D]

2.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

L'événement initiateur est une brèche non isolable située soit sur le circuit primaire soit sur une ligne RIS-RA à l'intérieur de l'enceinte.

L'état D est un état d'arrêt à froid avec le circuit primaire ouvert si bien que les GV ne peuvent pas être utilisés pour l'évacuation de la puissance résiduelle. La pression primaire est de 1 bar, la température primaire est inférieure à 55°C, avec toutes les pompes primaires arrêtées et le niveau d'eau du circuit primaire se situe entre 3 / 4 de boucle et piscine pleine. Aucune maintenance préventive des trains RIS-RA n'est prévue. Lors du fonctionnement à 3 / 4 de boucle, trois pompes ISBP sont utilisées pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle avec la quatrième pompe ISBP en standby.

L'analyse des conséquences de cet événement est réalisée dans le même but qu'en état C.

L'analyse de l'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) petite brèche en état D concerne l'efficacité du refroidissement du cœur. Le but est de démontrer que les critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.2.3. sont respectés, y compris la capacité des systèmes F1 à assurer l'état d'arrêt sûr.

Comparé à l'état C3 « fonctionnement à 3 / 4 de boucle avec le circuit primaire fermé », la différence en termes de moyens de mitigation F1 est que tous les GV sont indisponibles pour l'évacuation de la puissance résiduelle étant donné que le circuit primaire est ouvert.

2.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.2.1. De l'événement initiateur à l'état contrôlé

La brèche primaire implique une perte de l'inventaire en eau du circuit primaire. Des moyens de mitigation dédiés sont prévus pour compenser cette perte de l'inventaire en eau du circuit primaire.

Le moyen principal de mitigation est le signal d'injection de sécurité (IS) (classé F1A) qui démarre les pompes ISMP dans la configuration appropriée [1]. Le signal d'injection de sécurité repose sur la mesure de niveau boucle primaire, comme pour l'état C3 pour un fonctionnement à 3 / 4 de boucle.

Ainsi, seules les pompes ISMP sont utilisées pour réaliser l'appoint à la fuite pour un réacteur en état D, comme pour l'état C.

Le démarrage automatique des pompes ISMP empêche la dégradation de la fonction d'évacuation de puissance résiduelle remplie par les systèmes en fonctionnement, ce qui signifie que la modification des conditions thermohydrauliques en branche chaude (niveau boucle primaire, température branche chaude) ne nuit pas au fonctionnement des trains RIS-RA sur le cas court terme.

Dans l'analyse de sûreté, on postule la perte du train RIS-RA (déjà en fonctionnement avant l'apparition de l'événement) connecté à la boucle rompue, de manière conservative, pour prendre en compte les risques de cavitation de la pompe RIS-RA.

Après apparition de la brèche (ou de la fuite), la séquence des événements est la suivante :

- perte d'un train RIS-RA pour l'évacuation de la puissance résiduelle du primaire : Comme indiqué précédemment, l'analyse de sûreté postule de manière conservatrice que l'APRP petite brèche provoque la perte du train RIS-RA injectant dans la boucle rompue.
- compensation du débit de fuite : Du fait du démarrage automatique des ISMP, l'inventaire en eau du RCP est rapidement équilibré. Pour la taille de brèche la plus grande (20 cm²), la fuite est compensée en eau par les pompes ISMP.

2.2.2. De l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr

Les principales actions pour atteindre l'état d'arrêt sûr sont les suivantes :

- contrôle de la sous-criticité du cœur :
 - La borication du RCP n'est pas nécessaire. Toutefois, le système de borication de secours (RBS) est disponible pour la borication en plus des ISMP.
- contrôle de l'inventaire en eau du RCP :
 - Les pompes ISMP disponibles assurent l'appoint en eau et fournissent les conditions de fonctionnement appropriées des trains RIS-RA en mode RA. La pompe ISBP qui était en attente avant l'accident peut être démarrée pour fournir un appoint en eau supplémentaire, si nécessaire.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle par le RIS-RA en mode RA (et par l'injection de sécurité via l'ISBP, si elle est démarrée) limite la température de l'IRWST à une valeur inférieure à la température limite pour un bon fonctionnement des pompes d'injection de sécurité.
- contrôle de l'évacuation de la puissance résiduelle du RCP :
 - La puissance résiduelle du cœur est évacuée au moins un train RIS-RA. La pompe ISBP qui était en attente avant l'accident peut être activée pour fournir une évacuation de puissance résiduelle supplémentaire, si nécessaire.
- contrôle du confinement : Lorsque le réacteur est en état D, l'enceinte est fermée.

2.2.3. Critères d'étude

Les critères techniques d'acceptation à respecter sont identiques à ceux présentés au [§ 1.2.3.](#)

2.3. DÉFINITION ET DESCRIPTION DU CAS ÉTUDIÉ

2.3.1. Définition du cas étudié

Comme pour les états A, B, C, l'emplacement pénalisant pour la brèche est la branche froide. La rupture est postulée sur une branche froide du RCP ou sur une ligne RIS-RA proche de la branche froide du RCP. L'APRP petite brèche étudié correspond à un diamètre équivalent de 50 mm (section équivalente de 20 cm²).

Pour l'analyse en état D, l'analyse est réalisée en se basant d'une part sur les conclusions en état C3 et d'autre part sur une analyse des débits de recirculation dans la piscine.

La démonstration de sûreté concerne à la fois la réalisation de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr, et le respect des critères techniques d'acceptation associés.

Conformément aux règles définies à la section 15.0.2 pour les études de sûreté, l'état contrôlé est atteint uniquement à l'aide des systèmes classés F1A. L'état d'arrêt sûr est atteint à l'aide des systèmes classés F1A et F1B.

En ce qui concerne les règles d'étude des accidents :

- L'analyse des accidents est réalisée en tenant compte de l'aggravant le plus pénalisant.
- En état D, aucune maintenance préventive n'est assurée sur les systèmes F1.
- En état D, le MDTE est postulé dès l'événement initiateur conformément à la section 15.0.2.
- Aucune action de l'opérateur n'intervient dans les 30 minutes qui suivent le premier signal significatif, en l'occurrence le signal d'injection de sécurité.

2.3.2. Description du cas étudié

2.3.2.1. Choix de l'aggravant

L'aggravant le plus pénalisant est la perte d'un diesel de secours principal compte tenu de la prise en compte du MDTE.

2.3.2.2. Etat initial

Les conditions initiales sont choisies de manière à minimiser l'inventaire en eau du RCP au moment de l'initiateur et maximiser les conséquences de l'initiateur en ce qui concerne le refroidissement du cœur :

- le RCP est au niveau de fonctionnement à 3 / 4 de boucle (inventaire RCP minimum),
- le fonctionnement à 3 / 4 de boucle avec le RCP ouvert (présence de gaz incondensables) ne commence pas avant 36 heures après l'AAR (le temps minimum conduit à une puissance résiduelle maximale),
- la pression du RCP est de 1 bar abs (valeur maximale à 3 / 4 de boucle),
- la température du RCP est de 55°C (valeur maximale à 3 / 4 de boucle),
- la concentration initiale en bore est supérieure à la concentration de l'arrêt pour rechargement.

L'état des trains ISBP et ISMP avant et après l'apparition de la brèche est donné dans les deux tableaux ci-dessous :

avant l'apparition de la brèche :

	Pompes primaires	ISBP	ISMP
Boucle 1	A l'arrêt	A l'arrêt en attente	Disponible
Boucle 2	A l'arrêt	En marche en mode RA	Disponible
Boucle 3	A l'arrêt	En marche en mode RA	Disponible
Boucle 4	A l'arrêt	En marche en mode RA	Disponible

après l'apparition de la brèche :

	Pompes primaires	ISBP	ISMP
Boucle 1	A l'arrêt	A l'arrêt en attente (non utilisé dans l'étude PCC)	En marche après le signal d'injection de sécurité

Boucle 2	A l'arrêt	En marche en mode RA	En marche après le signal d'injection de sécurité
Boucle 3	A l'arrêt	A l'arrêt sur MDTE Ne redémarre pas à cause de l'aggravant	A l'arrêt dû à l'aggravant
Boucle 4 Brèche branche froide de 20 cm ²	A l'arrêt	Perte à la brèche Hypothèse conservative qui prend en compte le risque de cavitation de la pompe	En marche après le signal d'injection de sécurité Partiellement perdu à la brèche

2.3.2.3. Hypothèses spécifiques

2.3.2.3.1. Puissance résiduelle

□

2.3.2.3.2. Hypothèses liées à l'ISMP et au RIS-RA (F1A)

Lors du fonctionnement à 3 / 4 de boucle, le signal d'injection de sécurité se déclenche automatiquement sur bas niveau boucle primaire (P15 validé).

Pour la démonstration de sûreté, la pompe ISMP injectant dans la boucle primaire rompue se déverse directement dans l'enceinte sans injecter dans le RCP. De plus, le train RIS-RA correspondant à la boucle rompue est supposé être perdu à la brèche, de manière pénalisante.

Conformément aux hypothèses conservatives ci-dessus, les trains RIS-RA disponibles sont :

- 1 train RIS-RA restant en fonctionnement après apparition de la brèche.
- Le train RIS-RA en attente peut être activé □ en mode injection de sécurité ou en mode RA, au plus tôt 30 minutes après le signal IS, si nécessaire. Son démarrage n'est pas pris en compte dans cette étude.
- 2 pompes ISMP sont disponibles pour réaliser l'injection de sécurité, les 2 autres trains sont perdus l'un à la brèche et l'autre du fait de l'aggravant.

2.3.2.3.3. Autres hypothèses

Lors du fonctionnement à 3 / 4 de boucle, toutes les pompes primaires sont arrêtées.

Aucun système non classé F1 n'est pris en compte dans l'étude.

En état D, l'opérateur dispose d'un moyen de mesure du niveau piscine pour le contrôle de l'inventaire en eau. Il peut mettre en fonctionnement la recirculation de l'IRWST vers la piscine BR via l'ouverture des vannes de fond de piscine BR. Il assure ainsi une réalimentation constante de l'IRWST et donc un maintien de l'inventaire en eau du primaire □. Ce maintien peut être assuré en ajustant le nombre d'ISMP en service, voire en mettant en service une pompe ISBP.

2.4. ANALYSE – ÉTAT D

Afin de rallier l'état d'arrêt sûr, l'opérateur réalise les actions suivantes :

□

Vis-à-vis de l'inventaire en eau de l'IRWST, un moyen de recirculation est mis en œuvre afin d'assurer une réalimentation constante de l'IRWST (cf. [§ 2.3.2.3.3.](#)) et donc un maintien en eau du primaire. Pour garantir suffisamment d'eau dans l'IRWST, il suffit de vérifier que le débit de réalimentation de l'IRWST par la piscine BR via la recirculation est supérieur au débit d'alimentation du primaire par, a minima, une pompe ISMP. Sachant que le débit de recirculation minimal est d'environ Q alors que le débit d'une pompe ISMP en configuration débit max est d'environ Q m³/h, il n'y a pas de risque vis-à-vis de l'inventaire en eau du primaire.

Vis-à-vis de l'inventaire en eau du primaire, l'analyse faite lors de l'état C1 couvre l'état D car :

- Le débit brèche est plus faible en état D (pression primaire plus faible).
- Les moyens d'injection ISMP/ISBP sont identiques à ceux de l'état C1 : 3 ISMP disponibles et au moins 1 ISBP disponible pour les actions opérateur.

Ces deux points garantissent l'absence de découverture du cœur et la stabilité de l'inventaire en eau du circuit primaire.

Il n'y a donc pas de découverture du cœur tout au long de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Vis-à-vis de l'évacuation de la puissance résiduelle, l'état D est couvert par l'état C3 puisque :

- La puissance résiduelle à évacuer est plus faible en état D.
- Les systèmes d'injection (RIS-RA) sont identiques entre les états C3 et D.
- Les conditions thermohydrauliques initiales sont identiques entre les états C3 et D.

Compte tenu des conditions initiales (grappes insérées, concentration de bore initiale), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Ainsi, à moyen terme :

- La sous-criticité est garantie (Cb initiale primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement et absence d'apport d'eau claire).
- L'inventaire en eau est stable puisque l'ISMP compense le débit brèche.
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée puisque, en état D, une brèche DN50n'entraîne pas l'arrêt des trains RIS-RA sur signal de bas niveau boucle. Ainsi, après application de l'aggravant, il restera un train RIS-RA en service en mode RA pour évacuer la puissance résiduelle.
- Les rejets radiologiques restent tolérables, car aucun découverture du cœur n'est observé.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation relatifs à l'état contrôlé mentionnés au [§ 1.2.3.](#) est vérifié. L'état contrôlé est donc atteint.

A long terme :

- La sous-criticité est garantie (Cb initiale primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement et absence d'apport d'eau claire).
- L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée durablement par les trains RIS-RA sains.
- Les rejets radiologiques restent tolérables, car aucun découverture du cœur n'est observé.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.3.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

2.5. CONCLUSION – ÉTAT D

Cette étude de l'APRP petite brèche en état D du réacteur montre que malgré l'aggravant le plus pénalisant, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés dans le § 1.2.3. est respecté :

- La puissance résiduelle est évacuée par les trains RIS-RA en mode RA sains.
- La sous-criticité est garantie (absence d'apport d'eau claire et concentration en bore initiale supérieure à la concentration de l'arrêt pour rechargement).
- L'inventaire en eau reste stable grâce à l'injection ISMP.
- La recirculation BR/IRWST est assurée.
- L'absence de découverture du cœur et le maintien de l'évacuation de la puissance résiduelle garantissent l'absence de rejets radiologiques.

2.6. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

2.6.1. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

2.6.1.1. Analyse d'acceptabilité de la non robustesse de la disposition de sûreté « Mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA (F1B manu) »

Une analyse a été réalisée afin de vérifier la robustesse des différentes fonctions de sûreté F1 (cf. [1]) à l'application du critère à la défaillance unique (CDU) telle que requise dans le sous-chapitre 3.2 du Rapport de Sûreté de l'EPR Flamanville. Lors de cette analyse, la disposition de sûreté « Mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA (F1B manu) » depuis la salle de commande a été identifiée comme non robuste au CDU.

Lors de la réalisation du T.I.P., l'opérateur demande l'arrêt d'un train RIS-RA en mode RA. En cas de défaillance (aggravant), la pompe peut ne pas s'arrêter depuis la salle de commande. L'opérateur pourrait alors fermer la ligne d'aspiration du train sans vérifier l'arrêt effectif de la pompe ce qui peut mener à l'endommagement du train et à l'apparition d'une fuite pouvant fausser le résultat du T.I.P. Pour éviter cette situation, l'opérateur doit vérifier que la pompe est bien arrêtée. Si ce n'est pas le cas, un arrêt en local est nécessaire allongeant la durée du T.I.P. de 30 minutes.

L'analyse d'impact menée (cf. [1]) a démontré l'acceptabilité, dans l'état D d'une action en local de 30 minutes pour arrêter le train RIS-RA en mode RA affecté par la défaillance à l'arrêt manuel depuis la salle de commande.

3. APRP PETITE BRÈCHE [ÉTAT E]

3.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

L'événement initiateur de l'accident est une brèche non isolable située soit sur le circuit primaire soit sur une ligne RIS-RA à l'intérieur de l'enceinte. Les débits brèche retenus lors de l'étude sont compris entre [1] m³/h et [2] m³/h [3].

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- état E hors manutention combustible : Les assemblages de combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être ouvert (commande groupée activée) ou fermé (commande groupée non activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont en service. Le 4ème train RIS-RA est en stand-by. La piscine BK est, elle, refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR alors que la commande groupée est activée ou qu'au moins un

assemblage combustible a été déchargé en piscine. L'état hors manutention combustible débute au plus tôt 45,5h après l'arrêt du réacteur et dure au minimum 20h.

- état E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage de combustible est extrait de la cuve. Il transite soit dans la piscine réacteur « principale », soit dans l'un des compartiments de transfert ou dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage de combustible peut être en cours de manutention dans la piscine BK. Compte tenu du niveau de puissance résiduelle retenue, trois trains RIS-RA sont en service pour assurer le refroidissement de la piscine. La piscine BK est, elle, refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre BR et BK est ouvert. L'état chargement-déchargement débute au plus tôt 65,5h après l'arrêt du réacteur. L'état E se termine au plus tôt à 111h.

Un APRP a les conséquences suivantes :

- perte de réfrigérant primaire, éventuellement accompagnée d'une élévation de température du cœur du réacteur,
- vidange des piscines BR et BK si le tube de transfert est ouvert et augmentation de leurs températures.

3.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

3.2.1. Description de l'accident

La description des différents scénarios pouvant se dérouler est exposée ci-après. Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. La fermeture du tube de transfert , elle n'est pas valorisable avant après le premier signal significatif. Pour ce scénario, lorsque le tube de transfert est ouvert initialement, sa fermeture au cours de la séquence accidentelle n'est pas prise en compte pour la démonstration de sûreté.

3.2.1.1. Cas « Tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

En état E, hors manutention combustible, avec la commande groupée non activée (tube de transfert initialement fermé), la brèche primaire entraîne la perte de l'inventaire en eau de la piscine BR. L'inventaire en eau de la piscine de désactivation (piscine BK) n'est pas dégradé suite à l'apparition de la brèche primaire. La séquence des événements suite à l'apparition de la brèche est la suivante :

- Perte du train RIS-RA en mode RA connecté à la branche ruptée suite à l'APRP. Le MDTE cumulé à l'évènement initiateur implique la perte des systèmes de refroidissement pour la piscine BR. Côté BK, le train PTR initialement en service est perdu suite à l'application de l'aggravant sur un diesel principal.
- Deux trains RIS-RA sont retestés automatiquement, dont l'un connecté à la boucle rompue. Un train RIS-RA fonctionne donc de manière efficace (le 3^{ème} train RIS-RA et le train PTR initialement en service sont affectés par l'aggravant). Côté BK, redémarre le 2^{ème} train principal PTR .
- démarrage de l'injection de sécurité suite à l'atteinte du seuil Min1p « bas niveau boucle » et compensation du débit de fuite : Pour la taille de brèche la plus importante , une pompe ISMP compense le débit brèche.

3.2.1.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

La brèche primaire entraîne la perte de l'inventaire en eau des piscines BR et BK.

La séquence des événements faisant suite à l'apparition de la brèche est :

- Perte du train RIS-RA injectant dans la branche ruptée suite à l'APRP. Le MDTE est cumulé à l'évènement initiateur. Même si par conception les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservatrice un démarrage

manuel des trains PTR [] et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement [] ;

- Un train PTR et deux trains RIS-RA sont retestés automatiquement, dont l'un connecté à la boucle rompue. Un train RIS-RA et un train principal PTR fonctionnent de manière efficace (le 3^{ème} train RIS-RA et le 2^{ème} train principal PTR sont affectés par l'aggravant) ;
- atteinte du niveau [] dans les piscines BR et BK : isolement automatique des trains RIS-RA et perte du refroidissement de la piscine BR. La perte de refroidissement de la piscine BK intervient suite au déclenchement des trains PTR lors du passage du niveau d'eau dans la piscine BK en dessous de [] m.

3.2.2. Critères d'étude

En état E commande groupée non activée (Etat E « hors manutention combustible »), les assemblages sont dans la cuve et il n'y a pas de communication entre les piscines BR et BK. Ainsi, les critères techniques d'acceptation à respecter côté BR sont ceux de la section 15.0.2 et sont identiques à ceux de l'état D (voir § 2.2.3.). Les critères applicables pour la piscine BK sont ceux de la section 15.0.3 et sont identiques à ceux énoncés ci-dessous pour l'état E commande groupée activée.

En état E commande groupée activée, les critères techniques d'acceptation à vérifier sont ceux définis dans la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- maintien permanent de la sous-criticité,
- absence de découverture des assemblages de combustible :
 - non-découvrement du cœur en état E hors manutention combustible,
 - non-dénoyage du combustible en cours de manutention [] en état E chargement-déchargement.
- évacuation de la puissance résiduelle BR par le système RIS-RA,
- évacuation de la puissance résiduelle BK par le ou les trains PTR principaux,
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- non ébullition dans la piscine BR,
- non ébullition dans la piscine BK,
- maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK []. Pour les situations PCC de vidange, le dépassement transitoire de température [] est admissible [].

3.3. MOYENS DE PROTECTIONS

En état E commande groupée non activée (état E « hors manutention combustible »), les signaux de protection crédités sont le signal automatique d'Injection de Sécurité et le signal automatique d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA. Dans cette configuration le signal d'IS est émis sur l'atteinte du seuil Min1p : « bas niveau boucle » et le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil Min2p : « très bas niveau boucle ».

En état E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil Min1 : « bas niveau piscine transfert BR » (cf. figure [FIG-15.2.4g.5](#)).

Le temps de fermeture automatique de la vanne d'isolement RIS-RA considéré est de [] s.

Le ou les trains principaux PTR en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil Min 4 BK « bas niveau piscine BK » [].

À l'atteinte du niveau piscine \square (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

3.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

3.4.1. État initial

En état E, à pression atmosphérique dans l'enceinte, la température du circuit primaire et de la piscine BR est de $\square^{\circ}\text{C}$ \square . L'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La concentration initiale en bore des piscines BR et BK est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

La température initiale de la piscine BK est de $\square^{\circ}\text{C}$ (critère STE), et le refroidissement de la piscine de désactivation est assuré par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains principaux PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine.

Dans les études de type APRP, le niveau d'eau initial pour les piscines BR et BK considéré est de \square m.

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. Lorsqu'il est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant toute la séquence accidentelle.

L'activation des protections valorisées dans les séquences accidentelles, par rapport à la position initiale du tube de transfert sont décrites [§ 3.3.](#)

3.4.2. Choix de l'aggravant

Compte tenu de la prise en compte du MDTE à l'instant initial du scénario, un aggravant possible est la perte d'un diesel de secours principal, ne démarrant pas sur sollicitation et impliquant côté BR la perte d'un train RIS-RA, d'un train ISMP et d'un train PTR.

Un autre aggravant possible serait la prise en compte de la défaillance à l'arrêt manuel du train RIS-RA en mode RA sur le train portant la brèche. Ce scénario est détaillé spécifiquement en \square .

Les résultats concernant les deux aggravants possibles sont présentés par la suite.

3.4.3. Choix de la maintenance préventive

L'indisponibilité d'un système de sauvegarde ou d'un système de refroidissement de la piscine de désactivation pour cause de maintenance préventive n'est pas postulée de façon déterministe dans l'étude des conditions de fonctionnement PCC dans les états d'arrêt (C à F).

En état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé) une maintenance est prise en compte sur un train ISMP.

En état E pour chargement-déchargement (commande groupée activée), une maintenance préventive est postulée sur une division électrique, se traduisant par l'indisponibilité d'un train ISMP et d'un train RIS-RA.

3.4.4. Hypothèses spécifiques

3.4.4.1. Puissance résiduelle

Les puissances résiduelles des piscines BR et BK sont supposées constantes sur toute la durée de la séquence accidentelle.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BR, pour les calculs réalisés avec une puissance nominale de 4300 MW est égale à [] MW en état E « hors manutention combustible » et [] MW en état E « chargement-déchargement ».

La puissance résiduelle BR retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 [] ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. La puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP en service.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BK est égale à [] MW en état « chargement-déchargement ». Elle est maximale juste après le déchargement du dernier assemblage combustible du réacteur. Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance de la piscine BR [] à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle [].

3.4.4.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

trains RIS-RA :

En état « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial. Le 4^{ème} train est en stand-by.

En état « chargement-déchargement » (commande groupée activée), compte tenu du niveau de puissance résiduelle retenue, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial.

On postule la perte du train RIS-RA connecté à la boucle rompue. Ce train n'est pas valorisé pour le refroidissement du primaire. Un second train RIS-RA est perdu du fait de l'aggravant dans le cas où l'aggravant postulé est la perte d'un diesel principal. Si l'aggravant postulé est la défaillance à l'arrêt manuel du train RIS-RA en mode RA depuis la salle de commande, le second train RIS-RA est considéré disponible pour évacuer la puissance résiduelle.

Ainsi en état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, deux trains RIS-RA restent disponibles pour évacuer la puissance contre un seul pour l'état E pour « chargement-déchargement » (commande groupée activée).

GMPP :

En état E, tous les GMPP sont à l'arrêt.

IS :

L'aggravant appliqué à un diesel de secours principal (cumul MDTE) entraîne la perte d'un train ISMP. Un 2^{ème} train ISMP est indisponible suite à la maintenance. Le train connecté à la brèche est supposé perdu à la brèche. Seul un train ISMP est donc disponible pour gérer l'accident.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale [] pour la démonstration de sûreté. L'analyse de la recirculation est elle effectuée avec le débit maximal de l'ISMP []. La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST [].

PTR :

Le refroidissement de la piscine BK est assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé dans la piscine. Les trains PTR principaux sont refroidis par le RRI. Le 3^{ème} train PTR, refroidi par EVU intermédiaire n'est pas valorisé dans la séquence accidentelle étudiée. Aucune maintenance sur les trains PTR principaux n'étant permise en état E.

Du fait de l'aggravant pris sur un diesel de secours, un train PTR est perdu pour assurer le refroidissement de la piscine BK.

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR sont mentionnées en [A- -15.2.4g.2.](#)

Le délai de remise en service des trains PTR et d'atteinte du plein débit est de [] min depuis la salle de commande.

vannes de fond de piscine BR :

Les trois vannes F1A de pied de compartiments (cuve, internes, transfert) sont pré-positionnées ouvertes en état E. Les deux vannes communes en aval des vannes de pied de compartiments vers l'IRWST sont fermées et assorties d'une condamnation administrative après l'activation de la commande groupée.

Pour la mise en place de la recirculation en état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), l'ouverture des deux vannes communes en aval des vannes de pied de compartiments vers l'IRWST (cuve, internes, transfert) est demandée. Cependant, l'ouverture d'une des deux vannes suffit à garantir le débit de recirculation minimal requis [].

MDTE :

Le MDTE est postulé dès l'événement initiateur conformément à la section 15.0.2.

IRWST :

Avant l'activation de la commande groupée, le volume minimal disponible dans l'IRWST est considéré de manière conservatrice []. Une fois la commande groupée activée, le volume minimal disponible passe à []. Sa température initiale est la même que celle de la piscine BR [].

Le fonctionnement de l'ISMP et de l'ISBP requiert un niveau minimal [] dans l'IRWST pour éviter les phénomènes de cavitation [].

Une recirculation entre l'IRWST et la piscine BR est mise en place, pour assurer la réalimentation constante de l'IRWST dans les situations de brèches primaires non isolables.

En états E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible tube de transfert ouvert » avec la commande groupée activée, la recirculation est mise en place par l'ouverture des vannes d'isolement, classées F1A, de la ligne de trop-plein compartiment cuve vers l'IRWST. La tuyauterie de la ligne de trop-plein de la piscine [], permet un débit de recirculation maximal [] lorsque celle-ci est noyée.

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), la recirculation est réalisée par les lignes de fond de piscine BR comme en état D. Dans cette situation la recirculation par les lignes de fond de piscine est acceptable étant donné que tous les assemblages sont dans la cuve et que les piscines BR et BK sont isolées.

La démonstration de la capacité à mettre en place une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST a été faite en prenant en compte un volume de rétention conservatif égal à celui des scénarios RRC-A [].

3.4.4.3. Autres systèmes

JAC/JPI :

En conditions PCC, l'intégralité du volume JAC/JPI ne peut être considérée dans la mesure où il est nécessaire de garantir la disponibilité d'une réserve d'eau suffisante en cas de cumul incendie. La réserve d'eau « libre » pour restaurer le niveau d'eau dans le PTR est de [] m³. Le débit d'injection du JAC/JPI (classé F1B) est pris à sa valeur minimale []. Le JAC est nécessaire pour remonter le niveau de la piscine BK [] afin de reconnecter les trains PTR principaux.

casse-siphons :

Les tuyauteries connectées à la piscine de désactivation sont équipées de dispositifs passifs permettant l'arrêt de la vidange.

Les altimétries de désamorçage des casse-siphons sur les trains PTR principaux sont situées □ à l'aspiration, et □ au refoulement.

Le circuit de purification du BK porte des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées □ à l'aspiration et au refoulement.

Le circuit de purification du BR porte des casse-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées □ au niveau du refoulement.

Ces altimétries de désamorçage garantissent l'isolement de la brèche lorsqu'elles sont franchies.

3.5. ANALYSE – ÉTAT E

3.5.1. Cas « tube de transfert fermé initialement (état E hors manutention combustible) »

Le tube de transfert étant fermé, les piscines BR et BK sont totalement découplées.

La séquence des évènements de cet accident est exposée au [§ 3.2.1.1.](#)

Côté BK, il n'y a pas de perte d'inventaire en eau et, suite à la perte du train PTR initialement en service (aggravant), □ le second train PTR pour évacuer la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Côté primaire et piscine BR, l'état D est enveloppe de l'état E « hors manutention combustible » tube de transfert initialement fermé et garantit alors l'atteinte de l'état d'arrêt sûr en cas de petite brèche non isolable pour cet état avec le tube de transfert initialement fermé (commande groupée non activée).

En effet :

- La puissance résiduelle en état D est supérieure à celle de l'état E.
- Un train RIS-RA reste en fonctionnement après l'apparition de la brèche ce qui permet l'évacuation de la puissance résiduelle.
- Une pompe ISMP est disponible pour réaliser l'injection de sécurité garantissant ainsi le non découvrément du cœur et un inventaire en eau stable ou croissant après le signal d'IS sur bas niveau boucle ; les autres trains étant perdus respectivement à la brèche et à cause de l'aggravant et de la maintenance.

Le Test d'Intégrité Primaire (T.I.P) réalisé par l'opérateur en état E « hors manutention combustible » (commande groupée non activée) est identique au T.I.P réalisé en état D. Pour cela suite au signal d'IS sur bas niveau boucle l'opérateur effectuera les actions suivantes :

□

Le maintien de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale des piscines BR supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement et de l'absence d'apport d'eau claire.

Les rejets radiologiques restent tolérables car aucun découvrément du cœur n'est observé.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.3.](#) est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint de la même manière que pour l'état D (voir [§ 2.4.](#)).

3.5.2. Cas « tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (état E pour chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Suite au MDTE postulé au moment de l'initiateur, par conception les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux. Il est toutefois considéré de façon conservative un démarrage manuel des trains PTR [] et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement [].

Dans ce scénario, entre l'apparition de la brèche et 30 min après le signal consécutif à l'atteinte du niveau piscine [], le lancement de la recherche de fuite en local côté BK et le redémarrage manuel des trains PTR sont les seules actions valorisées.

Les piscines BR et BK se vidangent jusqu'à la mise en service d'une pompe ISMP [] compte tenu du fait que la brèche est non-isolable.

Suite à la perte de deux trains RIS-RA en mode RA (aggravant et brèche) dès l'instant initial, un train reste disponible pour évacuer la puissance du primaire. Ce train ne permet pas de maintenir la température du primaire []. On considère donc qu'il y a échauffement de la piscine BR jusqu'à l'atteinte de la température de stabilisation. Cet échauffement est pris en compte dans l'analyse de sûreté.

[] considérée 30 min après le signal d'isolement automatique des trains RIS-RA, []. Ainsi en fonction du débit brèche et de la dilatation thermique on obtient les cas suivants :

- cas 1 : Le niveau de la piscine BR est inférieur à [] m lorsque []. Dans ce cas, la brèche est soit sur le circuit primaire soit sur un train PTR ou sur un circuit connecté aux piscines BR et BK (puisque en cas de brèche sur un train RIS-RA le niveau piscine est supérieur à [] m, les trains étant isolés automatiquement à l'atteinte du niveau [] m). [] alors en service les trains RIS-RA initialement en fonctionnement. Le primaire pourra alors être déclaré non intègre soit par la recherche de fuite en local déclarant les trains PTR et les circuits connectés à la piscine de désactivation sains soit lorsque le niveau de la piscine BR passe en dessous de [] m alors que les trains PTR ont été déclarés sains. En effet une brèche sur les circuits connectés à la piscine de désactivation ne peut conduire à une vidange des piscines en-deçà de [] m grâce à la présence de casses-siphons installés sur ces circuits.
- cas 2 : Le niveau de la piscine BR est compris entre [] m et [] m []. Dans ce cas la brèche peut être sur un train RIS-RA ou sur le circuit primaire ou sur un circuit connecté aux piscines BR et BK.

[] procède à la réalisation du TIP (par dès-isolement séquentiel des trains RIS-RA), en parallèle de la recherche de fuite en local, permettant de déclarer le primaire non intègre ou d'identifier le train RIS-RA portant la brèche.

3.5.2.1. Prise en compte de l'aggravant « perte d'un diesel de secours principal »

Le cas le plus pénalisant est celui qui concerne la perte de refroidissement la plus longue au niveau de la piscine BR. Il se produit lorsque l'opérateur teste en premier le train connecté à une boucle intacte, ce qui permet l'évacuation de la puissance résiduelle du primaire.

[] teste le train connecté à la boucle intacte en le mettant en service et observe le niveau piscine. Celui-ci continue de baisser si bien que [] connecté et le considère comme potentiellement non intègre. [] teste alors le second train et observe que le niveau piscine continue de baisser. Dans la mesure où aucune brèche sur un train RIS-RA n'a été détectée et que la recherche de fuite en local n'a pas détecté de brèche, [] alors le primaire comme non intègre. Il remet alors en service tous les trains RIS-RA disponibles. [] procède alors à la restauration du niveau, via une pompe ISMP et le JAC/JPI, pour reconnecter un train PTR assurant le refroidissement de la piscine BK et ainsi atteindre l'état d'arrêt sûr. Il met ensuite en place une recirculation entre l'IRWST et la piscine BR via la ligne de trop plein.

Le niveau minimum atteint avant la mise en service de la pompe ISMP et de la recirculation [] est de [], le critère de sûreté relatif au non-dénoyage des assemblages en manutention [] est donc respecté.

Côté BK, la température moyenne maximale atteinte avant la remise en service d'un train PTR est égale à \square °C en état « hors manutention combustible » et \square °C en état « chargement-déchargement ». Elle reste inférieure à la température limite relative au respect du critère de \square . Avec un train PTR assurant le maintien de la température de la piscine BK en dessous de \square °C, la température finale reste donc inférieure à \square °C.

Côté BR, concernant les critères de température, l'état E « hors manutention combustible » est enveloppe de l'état « chargement-déchargement » puisque la puissance résiduelle en état E « hors manutention combustible » est plus élevée. La température moyenne maximale atteinte au cours de la séquence accidentelle est \square en état E « hors manutention combustible » et de \square en état E « chargement-déchargement ». Les températures maximales atteintes restent donc inférieures au critère \square . Pour une puissance résiduelle de \square MW (Etat E « hors manutention combustible » à 4300 MW et \square %), la température de stabilisation est de \square °C. \square

Les résultats de ce cas d'analyse sont mentionnés dans les tableaux [TAB-15.2.4g.5](#) et [TAB-15.2.4g.6](#).

A noter que pour le cas le plus pénalisant vis-à-vis de la température maximale atteinte dans la piscine BR, \square la prise en compte de l'évacuation (partielle ou totale) de puissance par le train RIS-RA injectant dans la branche rompue permettrait d'abaisser la température moyenne maximale obtenue.

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale de la piscine BR (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement) et de l'injection ISMP qui compense la brèche. Côté BK, le maintien de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages au cours de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

3.5.2.2. Prise en compte de l'aggravant « défaillance à l'arrêt manuel du train RIS-RA en mode RA »

Le cas pénalisant est celui qui concerne la perte de refroidissement la plus longue au niveau de la piscine BR. Il se produit lorsque l'opérateur teste en premier le train connecté à la brèche portant la défaillance à l'arrêt manuel du train RIS-RA en mode RA.

Les actions opérateur et les conséquences pour la piscine BR et BK sont détaillées dans la note en \square .

Les résultats de ce cas d'analyse sont mentionnés dans les tableaux [TAB-15.2.4g.7](#) et [TAB-15.2.4g.8](#).

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti compte tenu de la concentration en bore initiale de la piscine BR (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement) et de l'injection ISMP qui compense la brèche. Côté BK, le maintien de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages au cours de l'accident, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 3.2.2](#) est respecté.

En effet :

- Le niveau piscine BR minimum atteint est \square permet d'assurer le non dénoyage de l'assemblage en cours de manutention). Par la suite, le démarrage d'une pompe ISMP \square et la mise en œuvre de la recirculation piscine BR/IRWST par la ligne de trop plein \square permettent de maintenir l'inventaire en eau et de garantir le non-dénoyage des assemblages à long terme.

- En fin de TIP, un train RIS-RA en mode RA est en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire [1].
- Au moins un train PTR est disponible pour refroidir la piscine de désactivation [1].
- Les températures moyennes maximales atteintes au cours du scénario restent inférieures à la température limite autorisée.
- La sous-criticité des piscines BR et BK est assurée.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

3.6. CONCLUSION – ÉTAT E

L'étude de l'APRP petite brèche primaire non isolable en état E montre que malgré la prise en compte d'un aggravant sur un diesel de secours ou sur l'arrêt manuel d'un train RIS-RA en mode RA, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 3.2.2. est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint grâce aux actions de mitigations suivantes :

- Le démarrage d'une pompe ISMP [1] et la mise en œuvre de la recirculation piscine BR/IRWST, soit par la ligne de trop plein [1] en état E « chargement-déchargement » (commande groupée activée), soit par les lignes de fond de piscine en état E « hors manutention combustible » commande groupée non activée (tube de transfert fermé), pour maintenir l'inventaire en eau et garantir le non-découvrement des assemblages.
- Un train RIS-RA en mode RA est en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire en état E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée.
- Deux trains RIS-RA en mode RA restent en service pour évacuer la puissance résiduelle du primaire en état E « hors manutention combustible » (commande groupée non activée).
- Un train PTR est disponible pour refroidir la piscine de désactivation.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation est respecté :

- L'absence de dénoyage des assemblages de combustible assure que les rejets radiologiques restent tolérables.
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti (appoint en eau effectué par l'IS côté BR et par conception des râteliers de stockage pour la piscine BK).
- Pour l'état E commande groupée activée [1].



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4G

PAGE 34/52

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

TAB-15.2.4G.1 CONDITIONS INITIALES BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C1)

□

TAB-15.2.4G.2 CHRONOLOGIE DES ÉVÈNEMENTS
BRÈCHE [] EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C1) ATTEINTE DE
L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

TEMPS (s)	ÉVÈNEMENT
0,0	Ouverture de la brèche Apparition de la fuite aux joints des GMPP
214	Signal d'injection de sécurité à ΔP_{sat} []
216	Arrêt des GMPP sur bas ΔP GMPP + signal IS
[]	Démarrage des pompes ISMP
255	Compensation de la fuite par les pompes
2014	Début des actions opérateur : [] []
4706	Début du T.I.P. avec isolement du train RIS-RA 2
7106	Fin du test du train RIS-RA 2
14306	Fin du T.I.P.
20000	Fin du calcul

TAB-15.2.4G.3 ÉTAT DU CIRCUIT PRIMAIRE A L'ÉTAT C

□

Nota : (1) Une pompe ISMP est perdue par application de l'aggravant

□

Nota : (1) Une pompe ISMP est perdue par application de l'aggravant

**TAB-15.2.4G.4 MOMENT D'ENTRÉE DANS LES ÉTATS C1,
C2 ET C3**

	Etat C1	Etat C2	Etat C3
Entrée dans l'état considéré	t = 8 h après l'arrêt	t = 9 h après l'arrêt	t = 18,5 h après l'arrêt lors de la descente t = 184 h pour la remontée

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4G
			CHAPITRE	15	PAGE	40/52

TAB-15.2.4G.5 CAS « ETAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE EN CAS DE PERTE D'UN DIESEL DE SECOURS PRINCIPAL »

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4G
			CHAPITRE	15	PAGE	41/52

TAB-15.2.4G.6 CAS « ÉTAT E CHARGEMENT – DÉCHARGEMENT EN CAS DE PERTE D'UN DIESEL DE SECOURS PRINCIPAL »

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4G
			CHAPITRE	15	PAGE	42/52

**TAB-15.2.4G.7 CAS « ÉTAT E HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE EN CAS DE
DEFAILLANCE A L'ARRET MANUEL D'UN TRAIN RIS-RA »**

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4G
			CHAPITRE	15	PAGE	43/52

**TAB-15.2.4G.8 CAS « ÉTAT E CHARGEMENT – DÉCHARGEMENT EN CAS DE DEFAILLANCE
A L'ARRET MANUEL D'UN TRAIN RIS-RA »**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4G

PAGE 44/52

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4G.1 INVENTAIRE EN EAU PRIMAIRE PRESSIONS
PRIMAIRE ET SECONDAIRE BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE
(ÉTAT C1) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR**

□

FIG-15.2.4G.2 MARGE À LA SATURATION DU CIRCUIT PRIMAIRE
 ΔT_{SAT} TEMPÉRATURE MOYENNE BRANCHE CHAUDE BRÈCHE □
EN BRANCHE FROIDE (ÉTAT C) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT
SÛR

□

**FIG-15.2.4G.3 NIVEAU DU PLENUM SUPÉRIEUR DÉBIT BRÈCHE
TOTAL ET DÉBIT TOTAL RIS BRÈCHE □ EN BRANCHE FROIDE
(ÉTAT C) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR**

□

FIG-15.2.4G.4 MARGE À LA SATURATION DU CIRCUIT PRIMAIRE
 ΔP_{SAT} PUISSANCE RÉSIDUELLE BRÛCHE □ EN BRANCHE FROIDE
(ÉTAT C) ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4G

PAGE 48/52

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4G.5 ÉTAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES
BR ET BK**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4G

PAGE 49/52

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**A- -15.2.4G.1 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS ÉVACUATION DE
PUISSANCE PAR UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA À DÉBIT RÉDUIT**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4G

PAGE 50/52

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.4G.2 ANNEXE — DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4G

PAGE 51/52

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4G

PAGE 52/52

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□


SOMMAIRE

.15.2.4H DÉFAILLANCE D'UNE POMPE PRIMAIRE (ROTOR BLOQUÉ)	3
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	3
2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	5
2.1. PHÉNOMÈNES IMPORTANTS ET QUALIFICATION DES CODES UTILISÉS	5
2.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME	6
2.3. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME	7
2.4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	7
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	7
3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME	7
3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME	8
3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME	9
LISTE DES RÉFÉRENCES	11

TABLEAUX :

TAB-15.2.4H.1 ROTOR BLOQUÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES	12
TAB-15.2.4H.2 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS	14

FIGURES :

FIG-15.2.4H.1 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DÉBITS ET SIGNAUX 	15
FIG-15.2.4H.2 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	16
FIG-15.2.4H.3 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME POSITION DES GROUPES ET PRESSION PRESSURISEUR	17
FIG-15.2.4H.4 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ÉVOLUTION DE LA VITESSE DES POMPES PRIMAIRES	18
FIG-15.2.4H.5 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME TEMPÉRATURE DE GAINE.....	19

.15.2.4H DÉFAILLANCE D'UNE POMPE PRIMAIRE (ROTOR BLOQUÉ)

Cet événement est analysé seulement avec le réacteur en puissance (état A).

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

L'accident étudié est provoqué par le blocage instantané du rotor d'une pompe primaire. L'étude de cet accident couvre également l'événement PCC-4 « rupture de l'arbre d'une pompe primaire » (voir section 15.2.4i) qui donne lieu à la même séquence accidentelle, sollicite les mêmes chaînes de protection et conduit à un même comportement thermohydraulique, à ceci près que la perte de débit occasionnée est moins pénalisante que dans le cas du blocage instantané du rotor. Les initiateurs de ces accidents sont la rupture de l'arbre ou de l'accouplement de la motopompe, ou une absence de lubrification.

En cas de blocage instantané du rotor d'une pompe primaire, l'énergie emmagasinée dans le combustible continue d'être transférée au réfrigérant primaire dont le débit diminue, ce qui entraîne une augmentation rapide de sa température et de sa pression, augmentation favorisée par la réduction du transfert de chaleur dans les générateurs de vapeur.

L'accident se traduit donc :

- par l'apparition de la crise d'ébullition dans une faible portion du cœur, donc par un risque d'endommagement d'un certain nombre de crayons de combustible. La protection doit intervenir pour limiter l'endommagement des crayons à un niveau acceptable qui n'entraîne pas de dispersion de combustible et de produits de fission dans le réfrigérant primaire.
- par une variation rapide de la pression primaire. L'augmentation de pression peut mettre en action le système automatique d'aspersion du pressuriseur et peut provoquer l'ouverture de la soupape de décharge et des soupapes de sûreté du pressuriseur.

Protection

Le signal d'arrêt automatique du réacteur par « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 assure la protection du réacteur contre la perte de débit due au blocage instantané du rotor d'une pompe primaire. Le signal de compte-rendu d'AAR provoque le déclenchement de la turbine et l'isolement des lignes grand débit de l'eau alimentaire normale.

Les autres signaux de protection sollicités sont le signal « Haute Pression secondaire » pour l'ouverture des vannes d'isolement du VDA, GV par GV, et éventuellement le signal de « Très Bas Niveau GV » pour le démarrage de l'ASG, GV par GV.

Critères d'études

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés à la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :

- La quantité de crayons combustible susceptibles d'entrer en crise d'ébullition doit rester inférieure à 10 %.
- En cas de crise d'ébullition, la température maximale de la gaine doit rester inférieure à 1482 °C, pour les accidents rapides n'impliquant pas d'oxydation de la gaine du combustible.
- La fusion du combustible au point chaud ne doit pas dépasser 10% en volume, c'est-à-dire qu'en considérant une section de crayon combustible le plus chaud au niveau de puissance maximale, moins de 10 % de cette zone est autorisée à atteindre la température de fusion.

Le respect du critère de fusion de 10% combustible au point chaud ne fait l'objet d'aucune vérification spécifique dans le présent chapitre. En effet, l'accident de défaillance d'une pompe primaire étant rapide, les températures du combustible sont peu sensibles à la dégradation de l'évacuation de la puissance par le fluide primaire et elles sont pilotées essentiellement par la puissance nucléaire qui ne fait que décroître au cours du déroulement de l'accident. Il n'y a donc pas de problème de sûreté lié à la température du combustible pour cet accident.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

Pour atteindre l'état contrôlé (arrêt à chaud), les fonctions F1A suivantes sont disponibles :

- L'AAR est déclenché à partir du signal suivant : « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 [].
- 4 trains VDA pour l'évacuation de la puissance résiduelle et la limitation de la pression [],
- 4 trains ASG mis en service GV par GV lorsque le niveau GV < []% Gamme Large,
- 3 soupapes de sûreté du pressuriseur pour limiter la pression du RCP avec des seuils à [] bar abs (1^{ère} soupape pressuriseur), [] bar abs (2^{ème} soupape pressuriseur) et [] bar abs (3^{ème} soupape pressuriseur).

De l'événement initiateur à l'état contrôlé, l'accident peut être divisé en deux phases distinctes :

- la phase « court terme », caractérisée par une diminution rapide du RFTC et l'apparition de la crise d'ébullition, c'est-à-dire les premières secondes de l'accident,
- la phase « moyen terme », au cours de laquelle l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur par le fluide primaire doit être assurée et pour laquelle le rejet d'activité dans l'atmosphère du fluide secondaire via les trains VDA doit être évalué jusqu'à obtention de l'état contrôlé.

Pour le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr, les fonctions F1B suivantes (au moins) sont disponibles :

- 4 trains VDA pour le refroidissement jusqu'à la connexion du RRA [],
- 4 trains ASG mis en service GV par GV [],
- 2 trains RBS pour la borication [].

Dans les phases à moyen et à long termes, la prise en compte de la maintenance préventive et d'un aggravant peut conduire à la perte d'un ou de deux systèmes décrits ci-dessus.

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Pour l'évolution de l'accident jusqu'à obtention de l'état contrôlé, les deux phases susmentionnées (court terme et moyen terme) doivent être étudiées séparément.

L'étude de la phase à court terme consiste à déterminer le nombre maximal de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition ainsi que la température maximale de la gaine combustible, au cours de l'accident. L'évolution de l'accident est simulée à l'aide de calculs \square dans lesquels on suppose que l'accident de rotor bloqué se produit à l'instant $t = 0$ s.

L'étude explicite des phases à moyen et à long termes (comportement global de l'installation) n'est pas nécessaire car ces phases sont couvertes par d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

Conformément aux règles d'étude PCC, un aggravant sur un système classé F1 doit être appliqué, ceci de la façon la plus pénalisante vis-à-vis du respect des critères de sûreté.

Période	Aggravant	Maintenance Indisponibilité supplémentaire
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul court terme	1 grappe coincée hors du cœur (la plus anti-réactive)	aucun impact
Analyse jusqu'à l'état contrôlé Calcul moyen terme	Cf. cas de référence (voir paragraphes § 3.2. et § 3.3.)	
Analyse de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr		

Tableau : choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

La maintenance préventive n'est pas pertinente pour la phase court terme, aucun système de sûreté classé F1 concerné par la maintenance préventive n'étant sollicité au cours de cette phase de calcul.

2.1. PHÉNOMÈNES IMPORTANTS ET QUALIFICATION DES CODES UTILISÉS

La famille d'évènements analysée est la perte totale ou partielle du débit primaire.

Dans le cas présent, l'évènement considéré est le blocage instantané du rotor d'une pompe primaire. Pour cet accident classé en catégorie de fonctionnement PCC-4, les règles d'étude conduisent à considérer un cumul du Manque De Tension Externe (MDTE) à l'instant initial, à l'arrêt automatique du réacteur ou au signal IS, si ce cumul est pénalisant. Pour l'étude de la phase courte terme, le Manque De Tension Externe (MDTE) est cumulé dès l'instant initial. De ce fait, les trois autres pompes primaires sont perdues dès le début de l'accident ainsi que l'alimentation normale en eau du côté secondaire et le condenseur.

Phénomènes

Les phénomènes traités ici sont fondamentalement les mêmes que pour la perte totale des alimentations électriques externes de courte durée (voir section 15.2.2h) et la perte d'une pompe primaire sans AAR partiel (voir section 15.2.2k).

Codes et qualification

□

Ces codes ainsi que leur base de qualification sont décrits en Annexe 15A.

2.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE COURT TERME**1) Méthodes d'analyse**□
□

L'étude valorise la chaîne de surveillance « Bas RFTC » dont le seuil a été établi dans le cadre de l'étude de conception thermohydraulique (sous-chapitre 4.4).

2) Données neutroniques et thermiques

Les données neutroniques et thermiques considérées afin de pénaliser le transitoire □ sont les suivantes :

- Le coefficient de température modérateur est choisi minimum en valeur absolue : □ (sous-chapitre 4.3) □.
- Le coefficient de transfert thermique du jeu pastille/gaine est minimum et constant au cours du transitoire □.
- La fraction effective de neutrons retardés est maximum □ (sous-chapitre 4.3).

3) Conditions initiales et limites

Les conditions initiales ont été sélectionnées de manière à être les plus pénalisantes vis-à-vis du risque d'entrée en crise d'ébullition.

□

Les principales hypothèses sont listées dans le tableau [TAB-15.2.4h.1](#). Elles sont issues du sous-chapitre 15.1.

4) Hypothèses relatives aux systèmes**GMPP**

La courbe de ralentissement du débit du cœur prend en compte, de manière pénalisante, une inertie minimisée des pompes primaires. La valeur utilisée pour le moment d'inertie est la même que pour l'étude de l'accident de perte totale des alimentations électriques externes de courte durée (section 15.2.2h).

Système de protection

L'arrêt automatique du réacteur est sollicité par le signal de « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 ; ce signal est associé au permissif P3.

Le seuil « études » (intégrant les incertitudes de mesure) de la chaîne est fixé à 45% SQRTDP_{nominal}. Le temps maximum de retard de la chaîne est de 1,05 s (sous-chapitre 15.1).

Le temps de chute des grappes considéré prend en compte le séisme. Il est maximal □ (sous-chapitre 15.1).

L'efficacité intégrale de l'arrêt automatique du réacteur (N-1 grappes) est diminuée de son incertitude □. Une valeur enveloppe prenant en compte la dispersion entre cycles et les pénalités pour modèles perturbés (tilt, FPPR, SCTR) est retenue.

De façon découplée, le déclenchement turbine est supposé avoir lieu sans retard sur le signal d'AAR.

5) Vérification du critère en nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition

Dans un premier temps, le RFTC est calculé de manière découplée pour l'assemblage chaud, tout au long du transitoire, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issue du transitoire neutronique.
- Le facteur d'élévation d'enthalpie est maximal \square (sous-chapitre 4.3) ; il est associé à une distribution radiale de puissance cœur dite « de conception » (sous-chapitre 4.4).
- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) sont issues du transitoire neutronique.

Le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est ensuite calculé, autour de l'instant de RFTC minimal, à partir des données suivantes :

- La distribution de puissance thermique axiale considérée est celle de l'assemblage chaud issue du transitoire neutronique.
- Le calcul est réalisé avec chacune des courbes de fuel census (voir [Réf \[1\]](#)) correspondant aux cycles de la première gestion FA3 (sous-chapitre 4.3), recalées par homothétie sur le facteur d'élévation d'enthalpie maximal \square .
- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance thermique cœur, débit, pression et température primaires) sont issues du transitoire neutronique.

On retient le nombre maximal de crayons entrant en crise d'ébullition pour comparaison au critère technique d'acceptation de 10%.

6) **Vérification du critère en température de gaine**

Les données neutroniques considérées pour l'analyse thermique découplée sont les suivantes :

- Les conditions thermo-hydrauliques (puissance nucléaire, pression, débit massique et densité) sont issues du transitoire neutronique.
- La température de sortie est celle de l'assemblage considéré issue du transitoire neutronique.
- L'évolution du facteur de point chaud FQ de l'assemblage considéré issue du transitoire neutronique est translatée de telle sorte qu'à l'instant initial, la puissance linéique soit égale à la limite de fonctionnement (soit 450 W/cm).

2.3. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DE LA PHASE MOYEN TERME

L'étude de l'évènement initiateur à l'état contrôlé n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres évènements (voir [§ 3.2.](#)).

2.4. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

L'étude de l'évènement de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr n'est pas faite explicitement étant donné qu'elle est enveloppée par d'autres évènements (voir [§ 3.3.](#)).

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÈNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE COURT TERME

La séquence des évènements de l'accident se trouve dans le tableau [TAB-15.2.4h.2](#). Les évolutions des principaux paramètres de l'accident sont représentées sur les figures [FIG-15.2.4h.1](#) à [FIG-15.2.4h.4](#).

L'analyse thermohydraulique aboutit à un nombre maximal de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition égale à \square %. Ce résultat est obtenu dans les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire avec la valeur maximale du $F\Delta H$, avec la distribution axiale de puissance pénalisante de l'assemblage chaud, et la courbe de fuel census du cycle pénalisant.

L'analyse thermique aboutit à une température maximale de gaine égale à \square °C. Ce résultat est obtenu avec le facteur de point chaud FQ de l'assemblage pénalisant vis-à-vis du critère en température de gaine, translaté de telle sorte qu'à l'instant initial, la puissance linéique soit égale à la limite de fonctionnement (soit 450 W/cm). L'évolution de la température de gaine est représentée sur la figure [FIG-15.2.4h.5](#).

Par conséquent, les critères techniques d'acceptation « nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition < 10 % » et « température maximale de la gaine < 1482°C » sont respectés.

3.2. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE MOYEN TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à moyen terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état contrôlé et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport à l'accident de blocage instantané du rotor d'une pompe primaire :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire(états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.4f1) Dans l'enceinte : APRP brèches intermédiaires et grosses brèches (Etat A) (voir section 15.2.2g) A l'extérieur : Perte de vide au condenseur	En cas d'atteinte des soupapes pressuriseur et d'éclatement des disques du RDP, les rejets dans l'enceinte seront moins importants qu'en cas d'APRP BI. Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : Respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase moyen terme

Par ailleurs, l'inventaire en eau primaire est stable. Les critères techniques d'acceptation présentés au [§ 1.](#) sont donc vérifiés.

3.3. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME

Cette transition n'est pas explicitement étudiée car elle est couverte par les études des phases à long terme associées à d'autres événements (appelés « cas de référence »).

Dans le tableau ci-dessous sont listés les cas de référence qui servent à la démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr et du respect des trois critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RR1/SEC ou ISBP/RR1/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour les limites PCC ; sont aussi listées les raisons pour lesquelles ces événements sont enveloppes par rapport à l'accident de blocage instantané du rotor d'une pompe primaire :

Critères	Cas de référence	Remarque/raison
Sous-criticité	(voir section 15.2.2r) Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (états A à E)	Dans le cas de référence, la sous-criticité initiale à l'état contrôlé est plus faible.
Rejet d'activité max.	(voir section 15.2.2g) Perte de vide au condenseur	Dans le cas de référence, la puissance évacuée par les vannes VDA est plus importante au cours du transitoire.
Évacuation de la puissance résiduelle	(voir section 15.2.2i) Perte de l'eau alimentaire normale	Dans le cas de référence, l'inventaire en eau du secondaire est plus faible au moment de l'AAR.

Tableau : Respect des critères « sous-criticité », « évacuation de la puissance résiduelle assurée par RRA/RR1/SEC ou ISBP/RR1/SEC » et « rejet d'activité/intégrité des barrières » pour la phase long terme

Les critères techniques d'acceptation présentés au § 1. sont donc vérifiés.

Les actions de conduite décrites ci-dessous prennent en compte les cas avec cumul MDTE et sans cumul MDTE. La maintenance préventive est appliquée sur une pompe ASG.

Les actions de conduite sont les suivantes :

Dans la procédure « Orientation initiale en CIA au MCS », le Diagnostic Primaire Fermé, après vérification de la non dégradation des fonctions d'état, oriente l'opérateur vers la procédure « Stabilisation en Conduite Incidentelle » pour le cas sans cumul du MDTE. Pour le cas avec cumul du MDTE, après application de la fiche EFS « perte 10 kV », l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication en Conduite Incidentelle » sur le critère Alarme anti-dilution présente ou vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » si les réponses aux tests « toutes grappes chutées » et « N PZR < 0% » sont négatives.

Pour le cas sans MDTE, après la phase de stabilisation, l'opérateur est orienté vers la procédure « Borication CI » sur les critères $CB < CB_{requis}$ et $V_{RBS} < V_{RBS_{requis}}$, vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères somme des volumes d'eau des

bâches ASG utilisables $< \text{MIN ou N PZR} > \square\%$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure Borication CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS afin d'injecter le volume RBS requis. L'opérateur est ensuite orienté vers la procédure « Passage en État de Repli en Conduite Incidentelle (PER en CI) » sur les critères délai d'amorçage écoulé ou somme des volumes d'eau des bâches ASG utilisables $< \text{MIN ou N PZR} > \square\%$, vers la procédure « Stabilisation CI » sur le critère $\text{CB} > \text{CB requise}$ ou $V_{\text{RBS}} > V_{\text{RBS requis}}$, ou vers la procédure « Passage en Arrêt à Froid sans Injection de Sécurité (PAF sans IS) » si au moins un GV est inutilisable \square .

Dans la procédure PER en CI, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $\text{CB} < \text{CB requise}$ et $V_{\text{RBS}} < V_{\text{RBS requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50°C/h si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et la $\text{CB} > \text{CB requise}$ ou si le niveau pressuriseur est supérieur au seuil MIN2 et le $V_{\text{RBS}} > V_{\text{RBS requis}}$ ou si 2 trains RBS sont en service, ou à 25°C/h si le niveau pressuriseur est inférieur au seuil MIN2 ou si 1 train RBS est en service.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bars, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas où un GV devient inutilisable avant l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, l'opérateur est réorienté vers la procédure PAF sans IS.

Dans la procédure PAF sans IS, l'opérateur effectue, si besoin, le basculement du RCV sur l'IRWST puis la mise en service des trains RBS sur les critères $\text{CB} < \text{CB requise}$ et $V_{\text{RBS}} < V_{\text{RBS requis}}$.

Le RCP est refroidi à 50°C/h si 2 trains RBS sont en service ou si la $\text{CB} > \text{CB requise}$ ou si $V_{\text{RBS}} > V_{\text{RBS requis}}$, ou à 25°C/h si 1 train RBS est en service et le $V_{\text{RBS}} < V_{\text{RBS requis}}$.

Le RCP est dépressurisé. Sous les \square bar, les accumulateurs RIS sont isolés.

Lorsque le permissif P14 est activé, l'opérateur effectue la connexion des trains RIS-RA en mode RA. L'état d'arrêt sûr est atteint.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4H

PAGE 11/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Méthode  de calcul des transitoires de perte de débit primaire
Note Framatome – NFPSC DC 378 F

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4H
			CHAPITRE	15	PAGE	12/19

TAB-15.2.4H.1 ROTOR BLOQUÉ – PRINCIPALES HYPOTHÈSES ET CONDITIONS INITIALES

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	2.4H
			CHAPITRE	15	PAGE	13/19

□

TAB-15.2.4H.2 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME SÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS

Instant (s)	Événement
0,00	Initiateur de l'accident : Rotor bloqué d'une pompe primaire. Cumul MDTE : Perte de l'alimentation électrique des GMPP et de l'alimentation en eau des GV, extinction des chaufferettes du pressuriseur
0,05	Le seuil d'AAR par « Très bas débit boucle » dans 1 boucle sur 4 est atteint □
□	□
□	Déclenchement turbine
1,25	Instant d'atteinte de la pression seuil □ qui déclencherait l'aspersion normale du pressuriseur (non prise en compte car pas d'impact sur le respect des critères techniques d'acceptation)
□	Début de la chute des grappes
1,80	Instant de $RFTC_{min}$ Instant où le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition est maximal □ □
3,60	Instant d'atteinte de la pression maximum au pressuriseur □
4,05	Instant d'atteinte de la température maximale de gaine



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4H

PAGE 15/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4H.1 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME DÉBITS ET SIGNAUX

□

□

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4H

PAGE 16/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4H.2 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME PUISSANCE CŒUR ET TEMPÉRATURES PRIMAIRES

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4H

PAGE 17/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4H.3 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME POSITION DES
GROUPES ET PRESSION PRESSURISEUR**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4H

PAGE 18/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4H.4 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À
L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME ÉVOLUTION DE LA
VITESSE DES POMPES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4H

PAGE 19/19

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4H.5 ROTOR BLOQUÉ DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE COURT TERME TEMPÉRATURE DE GAINÉ

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4I

PAGE 1/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR


SOMMAIRE

.15.2.4I RUPTURE DE L'ARBRE D'UNE POMPE PRIMAIRE 2

.15.2.4I RUPTURE DE L'ARBRE D'UNE POMPE PRIMAIRE

Etant un des initiateurs de l'événement « défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué) » (voir section 15.2.4h), l'événement « rupture de l'arbre d'une pompe primaire » donne lieu à la même séquence accidentelle, sollicite les mêmes chaînes de protection et conduit à un même comportement thermohydraulique. De ce fait, les résultats et les conclusions de l'événement « défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué) » s'appliquent intégralement à la rupture de l'arbre d'une pompe primaire.

SOMMAIRE

.15.2.4K RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR, 2 TUBES DANS UN GV [ÉTAT A]	6
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	6
1.1. GÉNÉRALITÉS	6
1.2. SÉQUENCE TYPIQUE DES ÉVÉNEMENTS	6
1.2.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ANNULATION DE LA FUIITE (COURT TERME)	6
1.2.2. DE L'ANNULATION DE LA FUIITE À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR (LONG TERME)	7
1.2.3. REJETS RADIOLOGIQUES	9
1.2.4. PRÉCAUTIONS LIMITANT L'OCCURRENCE DE L'ÉVÉNEMENT	9
2. CRITÈRES DE SÛRETÉ	10
3. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	10
3.1. MÉTHODES D'ANALYSE	10
3.2. PRINCIPALES HYPOTHÈSES	11
3.2.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	11
3.2.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION	11
3.2.3. ACTIONS 	13
3.2.4. JUSTIFICATION DES VOLUMES DE BORE À INJECTER	14
4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS	15
4.1. REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ	15
4.2. REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ	16
4.3. CONSOMMATION DES BACHES ASG	16
5. ÉTUDE DES DIFFÉRENTS CAS ENVISAGÉS	17
5.1. CAS 1 : REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ	17
5.1.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	17
5.1.2. ÉTAT INITIAL	17
5.1.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	17
5.2. CAS 2 : REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ	17

5.2.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	17
5.2.2. ÉTAT INITIAL	17
5.2.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	18
5.3. CAS 3 : CONSOMMATION DES BACHES ASG	18
5.3.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	18
5.3.2. ÉTAT INITIAL	18
5.3.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	18
5.4. RÉSULTATS	18
5.4.1. CAS 1 : REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ	18
5.4.2. CAS 2 : REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ	20
5.4.3. CAS 3 : CONSOMMATION DES BÂCHES ASG	21
6. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	23
7. CONCLUSION	23
LISTE DES RÉFÉRENCES.	25

TABLEAUX :

TAB-15.2.4K.1	CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS	
1	26
TAB-15.2.4K.2	CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS	
2	27
TAB-15.2.4K.3	CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES SYSTÈMES – CAS	
3	28
TAB-15.2.4K.4	SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 1	29
TAB-15.2.4K.5	SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 2	31
TAB-15.2.4K.6	SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 3	33

FIGURES :

FIG-15.2.4K.1	CAS 1 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV –	
	TEMPÉRATURES PRIMAIRES	36
FIG-15.2.4K.2	CAS 1 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE	
	RETROVIDANGE	37
FIG-15.2.4K.3	CAS 1 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)	38
FIG-15.2.4K.4	CAS 1 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)	39
FIG-15.2.4K.5	CAS 1 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES –DÉBIT	
	D'ASPERSION NORMALE	40
FIG-15.2.4K.6	CAS 1 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES –DÉBIT	
	D'ASPERSION NORMALE	41
FIG-15.2.4K.7	CAS 1 – DÉBITS RCV ET IS	42
FIG-15.2.4K.8	CAS 1 – DÉBITS RCV ET IS	43
FIG-15.2.4K.9	CAS 1 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE	44
FIG-15.2.4K.10	CAS 1 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE	45
FIG-15.2.4K.11	CAS 1 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG	46
FIG-15.2.4K.12	CAS 1 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG	47
FIG-15.2.4K.13	CAS 1 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/	
	SECONDAIRE	48
FIG-15.2.4K.14	CAS 1 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV	49
FIG-15.2.4K.15	CAS 1 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT	50
FIG-15.2.4K.16	CAS 1 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS	51

FIG-15.2.4K.17 CAS 1 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉS PAR LES VDA DES GV	52
FIG-15.2.4K.18 CAS 1 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE DES GV	53
FIG-15.2.4K.19 CAS 1 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION ET EN TEMPÉRATURE	54
FIG-15.2.4K.20 CAS 2 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV – TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	55
FIG-15.2.4K.21 CAS 2 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE RÉTROVIDANGE	56
FIG-15.2.4K.22 CAS 2 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM).....	57
FIG-15.2.4K.23 PUISSANCE DES CHAUFFERETTES – DÉBIT D’ASPERSION NORMALE.....	58
FIG-15.2.4K.24 CAS 2 – DÉBITS RCV ET IS	59
FIG-15.2.4K.25 CAS 2 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE	60
FIG-15.2.4K.26 CAS 2 – NIVEAU GV (% GL) – DEBIT ASG	61
FIG-15.2.4K.27 CAS 2 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/ SECONDAIRE.....	62
FIG-15.2.4K.28 CAS 2 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV	63
FIG-15.2.4K.29 CAS 2 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT	64
FIG-15.2.4K.30 CAS 2 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS	65
FIG-15.2.4K.31 CAS 2 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉS PAR LES VDA DES GV	66
FIG-15.2.4K.32 CAS 2 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE DES GV	67
FIG-15.2.4K.33 CAS 2 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION ET EN TEMPÉRATURE	68
FIG-15.2.4K.34 CAS 3 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV – TEMPÉRATURES PRIMAIRES.....	69
FIG-15.2.4K.35 CAS 3 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE RÉTROVIDANGE	70
FIG-15.2.4K.36 CAS 3 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM).....	71
FIG-15.2.4K.37 CAS 3 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES – DÉBIT D’ASPERSION NORMALE.....	72

FIG-15.2.4K.38 CAS 3 – DÉBITS RCV ET IS	73
FIG-15.2.4K.39 CAS 3 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE	74
FIG-15.2.4K.40 CAS 3 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG	75
FIG-15.2.4K.41 CAS 3 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/ SECONDAIRE	76
FIG-15.2.4K.42 CAS 3 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV	77
FIG-15.2.4K.43 CAS 3 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT	78
FIG-15.2.4K.44 CAS 3 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS	79
FIG-15.2.4K.45 CAS 3 – DEBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉS PAR LES VDA DES GV	80
FIG-15.2.4K.46 CAS 3 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE DES GV	81
FIG-15.2.4K.47 CAS 3 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION ET EN TEMPÉRATURE	82

.15.2.4K RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR, 2 TUBES DANS UN GV [ÉTAT A]

La rupture de 2 tubes dans un générateur de vapeur, survenant dans l'état A, est un évènement PCC-4.

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

1.1. GÉNÉRALITÉS

L'accident étudié est la rupture complète de 2 tubes distincts d'un même générateur de vapeur (RTGV 4A).

Les conséquences principales de cet accident sont liées aux risques de contamination de l'inventaire en eau du secondaire (principalement du GV affecté) par la fuite de fluide primaire (qui peut présenter un certain niveau de contamination dû aux produits de corrosion et de fission correspondant à un fonctionnement permanent avec un nombre limité de crayons combustible défectueux) et éventuellement par décharge d'activité (soit en phase vapeur soit en phase liquide) dans l'atmosphère par le VDA.

La description du déroulement de l'accident est déclinée en phases court et long terme. La phase court terme est définie jusqu'à l'annulation de la fuite, qui englobe l'atteinte de l'état contrôlé (atteint lorsque le cœur est sous-critique et que le débit de fuite de RTGV est compensé par les débits injectés au primaire).

Dans la phase long terme, la tranche passe aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA, avec éventuellement un relâchement supplémentaire et temporaire d'activité si le GV affecté est dépressurisé par le VDA ou par la vanne de bipasse de la vanne d'isolement vapeur.

1.2. SÉQUENCE TYPIQUE DES ÉVÉNEMENTS

La séquence typique des événements en cas de RTGV 2 tubes est la suivante :

1.2.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ANNULATION DE LA FUITE (COURT TERME)

Le déroulement général de l'accident est divisé en deux phases successives, avant et après l'atteinte de l'état contrôlé.

1) De l'évènement initiateur à l'atteinte de l'état contrôlé

L'état contrôlé est défini comme un état dans lequel le débit d'IS (ou débit de charge RCV lorsque le RCV est disponible) est capable de compenser le débit de la fuite, et dans lequel le cœur est sous-critique et la chaleur résiduelle évacuée du RCP par les GV (VDA et ASG, ou GCT et ARE/AAD quand ils sont disponibles).

La rupture entraîne une perte de fluide primaire qui est transféré au GV affecté par cette rupture. La brèche provoque une baisse de pression primaire et une contamination du secondaire due au débit direct de la RTGV.

L'arrêt automatique du réacteur intervient soit quand la pression du pressuriseur est inférieure au seuil Min2p, soit quand le niveau du GV affecté est supérieur au seuil Max1p.

Le compte rendu du signal d'arrêt automatique du réacteur déclenche automatiquement la turbine et, dans l'hypothèse de l'indisponibilité du condenseur (parce qu'il n'est pas classé F1 ou suite à un MDTE), la pression des générateurs de vapeur augmente rapidement jusqu'à la valeur d'ouverture des VDA, ce qui provoque une décharge de vapeur dans l'atmosphère.

La perte en continu via la RTGV et la contraction du fluide primaire après un arrêt automatique de réacteur depuis un état initial à pleine puissance, conduisent à une dépressurisation du circuit primaire par vidange du pressuriseur.

D'autre part, après un arrêt automatique du réacteur, ou dans des conditions d'attente à chaud, la chaleur transférée du primaire au secondaire devient insuffisante pour vaporiser la totalité du débit brèche de la RTGV. Il en résulte une hausse de niveau dans le GV affecté. Quand le niveau du GV

est supérieur à Max0p, le GV affecté est isolé du coté alimentation en eau (fermeture de la ligne ARE petit débit, la ligne ARE grand débit ayant été isolée auparavant suite à l'arrêt automatique du réacteur). Si le niveau du GV continue à monter, à partir de cet instant, ceci est uniquement dû au débit de fuite RTGV.

Un démarrage automatique du RBS peut survenir si la pression du pressuriseur devient inférieure au seuil Min4p, et que l'isolement automatique du RBS n'a pas été réalisé sur « Haut Niveau GV > Max3p GE ».

Un refroidissement partiel est initié soit à l'apparition du signal d'IS par « Basse Pression Pressuriseur < Min3p », soit par signal « Haut Niveau GV > Max2p GE » dans le GV affecté. Il est exécuté soit par le GCT s'il est disponible , soit par les VDA , avec un gradient de refroidissement du primaire de 250°C/h. Il est réalisé par tous les GV y compris le GV affecté. Le signal IS entraîne également l'isolement de la charge et de la décharge (si toujours en service) et en cas de cumul MDTE, le démarrage automatique et temporisé de l'ASG dans tous les GV.

L'état contrôlé est atteint pendant le refroidissement partiel, dès que l'injection ISMP est en mesure de compenser le débit brèche. A cet instant, le GV affecté est toujours en train de se remplir avec de l'eau contaminée car l'annulation du débit de fuite n'a pas été réalisée, et l'on peut encore observer des rejets continus dans l'atmosphère.

2) De l'atteinte de l'état contrôlé à l'annulation de la fuite

A l'issue du refroidissement partiel, la pression primaire est maintenue au maximum au niveau de la pression maximale de refoulement de la pompe ISMP, et un débit direct de RTGV contaminé pénètre toujours dans le GV affecté, ce qui fait monter son niveau.

Quand le niveau d'un GV est supérieur au seuil Max2p¹ après la fin du refroidissement partiel, ce GV est identifié comme affecté et automatiquement isolé du côté vapeur (fermeture de sa vanne d'isolement vapeur, les vannes d'isolement vapeur des 3 GV non affectés restant ouvertes, hausse de la valeur de consigne de la pression du VDA au-dessus de la pression de refoulement des pompes ISMP et en-dessous de la valeur de la pression de consigne des soupapes de sûreté du GV). Sur ce même signal se produit également l'isolement de l'IJPP et de la charge du RCV si cette dernière n'a pas été au préalable isolée sur signal IS, pour limiter l'alimentation du débit de fuite. L'opérateur peut également isoler le GV affecté sans attendre le signal « Haut Niveau GV > Max2p GE », à la suite d'un signal d'activité lorsque le refroidissement partiel n'est pas en cours.

La pression augmente ensuite dans le GV affecté, à minima à cause du débit de la RTGV. Au moment où l'équilibre des pressions entre le circuit primaire et le GV affecté est atteint, le débit de fuite s'annule. C'est la fin de la phase court terme.

1.2.2. DE L'ANNULATION DE LA FUITE À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR (LONG TERME)

L'état d'arrêt sûr est défini comme un état dans lequel il y a au moins un train RIS-RA connecté en mode RA, et dans lequel le GV affecté est isolé. Le mode RA est défini par l'aspiration d'une pompe ISBP dans une branche chaude du RCP et par la réinjection, via l'échangeur RIS/RRI, dans la branche froide de la même boucle du RCP.

Les conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA sont :

- pression en branche chaude du RCP < 32 bar,
- température en branche chaude du RCP < 180°C,
- niveau boucle correspondant aux conditions d'aspiration RIS/RA requises à partir de la branche chaude,
- ΔT_{sat}^2 correspondant aux conditions d'aspiration RIS/RA requises à partir de la branche chaude si la pression primaire après stabilisation est inférieure à bar.

Si 2 trains RIS-RA étaient indisponibles (par exemple pour défaillance unique + maintenance préventive), 1 train RIS-RA sur les 2 qui reste en mode RA suffirait à garantir l'évacuation de chaleur pour maintenir une température en branche chaude inférieure à 180 °C. L'autre train configuré en

1. Le niveau Max2p est atteint uniquement dans le GV affecté alimenté par la brèche, en raison de l'isolement précédent de tous les dispositifs d'injection d'eau alimentaire du GV (ARE, AAD, ASG) lorsque le niveau du GV est supérieur à Max1p.
2. $\Delta T_{sat} = T_{sat}(\text{pression en branche chaude}) - T_{co}$, avec T_{co} = température de sortie coeur.

mode injection suffirait à garantir les conditions de fonctionnement du RIS-RA en mode RA (branche chaude sous-saturée avec une pression du RCP d'environ 20 bar).

La séquence d'opérations que l'opérateur doit exécuter pour atteindre l'état d'arrêt sûr peut être divisée en trois phases :

Borication

La borication du RCP se fait par le RBS pendant le refroidissement (la borication par le REA n'est pas prise en compte, car non classée F1). Elle est démarrée par l'opérateur si le RBS n'a pas déjà démarré automatiquement ou s'il a été isolé automatiquement sur « Haut Niveau GV > Max3p GE et P13 et P19 désactivés ». Une fois la borication nécessaire achevée (avant la fin du refroidissement), l'opérateur arrête le RBS.

Le gradient de refroidissement autorisé dépend du nombre de trains de RBS en service et de la concentration en bore du circuit primaire :

- 25°C/h avec 1 train RBS en fonctionnement,
- 50°C/h avec 2 trains RBS en fonctionnement ou si le volume de bore requis par la conduite a été injecté.

Ces gradients de refroidissement sont définis de manière à ce que la borication associée à chaque train RBS corresponde à l'apport de réactivité provoqué par le refroidissement du RCP.

Refroidissement par les GV non affectés

Le refroidissement du RCP est réalisé par les générateurs de vapeur non affectés. Il est initié par l'opérateur dès le début de la procédure post-accidentelle.

Si les moyens d'aspersion sont indisponibles, une mesure supplémentaire consiste à faire fonctionner l'ISMP afin de ne pas perturber l'équilibre de pression entre le primaire et le GV affecté.

Dépressurisation du RCP et du GV affecté

A la fin de la phase de refroidissement du RCP par les GV non affectés, la température du RCP est compatible avec les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA. Cependant, la pression du RCP peut être encore proche de la pression de refoulement à débit nul de l'ISMP (si l'ISMP est en marche), et supérieure à la pression maximale de connexion du RIS-RA en mode RA (32 bar). Dans ce cas, pour réaliser la dépressurisation du RCP, l'opérateur commence par arrêter toutes les pompes ISMP, puis isole les accumulateurs au cours de la dépressurisation. Si les moyens de contrôle du niveau pressuriseur sont indisponibles, il démarre l'ISBP si elle ne fonctionne pas déjà. A la fin de la dépressurisation, une éventuelle chute de pression serait alors interrompue à l'atteinte de la pression de refoulement de l'ISBP en mode injection (environ 20 bar), avec une marge à la saturation confortable (la température en branche chaude étant inférieure à 180°C).

Le RCP est ensuite dépressurisé de la façon suivante, selon le fonctionnement des pompes primaires :

pompes primaires arrêtées :

La dépressurisation du RCP et du GV affecté est effectuée par le secondaire, afin d'éviter un débit RTGV inverse.

Le niveau du GV affecté peut être supérieur à Max2p à l'issue de la phase de refroidissement du RCP, et une ouverture directe du VDA du GV affecté (ou de la ligne de bypasse de la vanne d'isolement vapeur si le VDA est inutilisable) pourrait entraîner des rejets liquides dans l'atmosphère par hausse du niveau suite à une ébullition en masse.

Afin d'éviter de tels rejets, il est nécessaire de faire baisser le niveau du GV affecté au-dessous de Max2p avant l'ouverture du VDA, en transférant de l'eau du GV affecté dans le GV apparié non affecté, en ouvrant la ligne de transfert APG (ouverture classée F1B).

L'ouverture de la ligne de transfert APG inter-GV permet d'abaisser le niveau du GV affecté, mais ne suffit pas forcément à atteindre la pression du RCP compatible avec la connexion du RIS-RA en mode RA. La dépressurisation est donc complétée si nécessaire par l'ouverture du VDA du GV affecté (ou par la ligne de bypasse de la vanne d'isolement vapeur, classée F1B, en utilisant le VDA d'un autre GV si le VDA du GV affecté est inutilisable) sans risque de rejets liquides dans l'environnement. Si l'aspersion auxiliaire est disponible, elle est utilisée pour minimiser l'écart de pression entre le primaire et le GV affecté.

- **au moins une pompe primaire en service, aspersion inutilisable :**
La dépressurisation du RCP et du GV affecté est effectuée par le secondaire, comme pour le cas avec les pompes primaires arrêtées.
- **au moins une pompe primaire en service :**
La dépressurisation du RCP et du GV affecté est réalisée par le primaire, par l'aspersion du pressuriseur (commande binaire en tout ou rien des vannes d'aspersion normale classée F1B). La dépressurisation par le primaire entraîne une inversion du débit RTGV. Ceci est acceptable sous réserve qu'au moins une pompe primaire fonctionne, évitant ainsi une dilution hétérogène inacceptable, et à condition que la dilution homogène résultante ne conduise pas à une concentration en bore du circuit primaire inférieure à celle requise pour l'état d'arrêt sûr. Cette dépressurisation est toutefois limitée du côté primaire par le remplissage du pressuriseur et du côté secondaire par un risque de découverture des épingles du GV affecté, si la masse transférée par débit inverse de RTGV est trop importante. Ainsi, dès que le niveau du pressuriseur atteint $\square\%$ GM ou que le niveau du GV affecté atteint le seuil Min1p (situé au-dessus des épingles), la dépressurisation du RCP et du GV affecté est effectuée par le secondaire, comme pour le cas avec les pompes primaires arrêtées.

1.2.3. REJETS RADIOLOGIQUES

Avant le déclenchement de la turbine, de la vapeur contaminée traverse la turbine et se condense dans le circuit de dérivation de la vapeur. Les produits radioactifs gazeux et insolubles sont évacués dans l'atmosphère par des éjecteurs d'air et sont détectés grâce au contrôle d'activité permanent et aux mesures périodiques.

Après le déclenchement de la turbine, si le condenseur n'est pas disponible, les vannes GCT restent fermées provoquant ainsi l'ouverture des VDA. La vapeur est alors rejetée directement dans l'atmosphère.

Les conséquences radiologiques sont traitées dans la section se rapportant à la « rupture de deux tubes de générateur de vapeur (PCC-4) » (voir paragraphe 4.10 du sous-chapitre 15.3).

1.2.4. PRÉCAUTIONS LIMITANT L'OCCURRENCE DE L'ÉVÉNEMENT

La probabilité de l'événement RTGV est réduite grâce aux précautions suivantes :

- Les tubes des générateurs de vapeur sont en Inconel 690, matériau de haute ductilité.
- Le système de purge en partie basse du faisceau tubulaire des GV est conçu afin d'empêcher les dépôts solides sur la plaque tubulaire.
- L'eau du circuit secondaire est conditionnée chimiquement et les caractéristiques chimiques sont contrôlées fréquemment, ce qui met les tubes GV à l'abri des phénomènes de corrosion.
- Mécaniquement, les générateurs de vapeur sont conçus pour empêcher que tout projectile provenant de l'eau alimentaire ne vienne heurter violemment un ou plusieurs tubes. Par ailleurs, en cas de rupture franche des tubes, la présence de neuf plaques entretoises limite le fouettement et la rupture des tubes avoisinants.
- Les plaques entretoises de tenue du faisceau tubulaire sont conçues, de par la nature du matériau utilisé et la géométrie du perçage, pour empêcher les phénomènes généralisés de corrosion tube/plaque tubulaire de type denting.
- Le contrôle de l'activité de l'eau secondaire des GV (purges de GV) permet de vérifier le respect des limites établies dans les spécifications techniques d'exploitation, fixées à partir de fuites du primaire vers le secondaire bien inférieures au débit à travers un tube rompu.

- L'activité de la vapeur sortant des GV fait l'objet d'un contrôle permanent au niveau des lignes vapeur (utilisation de mesures d'activité dédiées) et aucun dépassement des limites établies dans les spécifications techniques d'exploitation n'est permis au cours du fonctionnement.
- Un bilan du débit du RCV est fait en continu entre la décharge et la charge pour quantifier la fuite entre le primaire et le secondaire.

2. CRITÈRES DE SÛRETÉ

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation vis-à-vis de cet accident PCC-4 sont les suivants :

- Les gaines des assemblages combustibles doivent rester intactes.
- Les soupapes de sûreté du GV affecté ne doivent pas être sollicitées au cours du transitoire. Le risque de bloquer l'une de ces soupapes en position ouverte est ainsi évité.
- L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée. Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :
 - pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
 - pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ; la réserve d'eau dans les bâches ASG doit être suffisante pour l'évacuation de la puissance résiduelle jusqu'à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

La prévention de l'endommagement du cœur (maintenir la possibilité de refroidir le cœur et éviter l'augmentation de la concentration d'activité du côté primaire) est traitée dans les études concernant les APRP (voir section 15.2.3e).

La procédure de mitigation des RTGV, impliquant des actions automatiques et des interventions manuelles, est définie de manière à remplir les deux objectifs suivants :

- prévention du sur-remplissage du GV affecté, pour éviter l'augmentation du dégagement d'activité par décharge de liquide dans l'atmosphère,
- minimisation du débit inverse d'une fuite due à une RTGV, afin d'éviter les problèmes de bouchon d'eau faiblement borée dans le circuit primaire, au cas où les pompes primaires ne seraient pas en marche (par exemple à la suite d'un MDTE).

3. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

3.1. MÉTHODES D'ANALYSE

□

- □

- □

- Les phénomènes dominants de l'évènement RTGV sont peu nombreux et sont pour la plupart indépendants d'effet « modèle » et « code ». Ce sont :

- Le débit RTGV et le remplissage du GV qui en résulte.
- La vidange modérée du RCP (pressuriseur) et la dépressurisation (équilibre avec la pression du GV affecté).
- L'évacuation asymétrique de la chaleur du RCP par les GV non affectés dans des conditions de sous-saturation du circuit primaire (pompes primaires en marche ou à l'arrêt).
- Le refroidissement du RCP, et la dépressurisation du RCP jusqu'aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA (pompes primaires en marche ou à l'arrêt).

- □

- L'analyse de l'accident repose sur l'application des règles conservatives d'analyse PCC définies dans la section 15.0.2. Une partie de ces règles correspond à la pénalisation déterministe de toutes les conditions aux limites utiles, par rapport aux critères techniques d'acceptation pris en considération. Ces pénalisations concernent au moins :

- la caractérisation de l'évènement initiateur (maximisation de l'effet provoqué),
- les conditions initiales de la tranche (limites de contrôle de bande morte, incertitudes de mesures maximales),
- l'efficacité des actions de protection et de mitigation (incertitude maximale sur chaque mesure I&C et délai de signal de contrôle-commande, et sur le temps de réponse et la capacité de chaque système).

Cette méthodologie d'analyse donne des résultats conservatifs qui peuvent être directement utilisés pour l'évaluation du respect des critères techniques d'acceptation.

3.2. PRINCIPALES HYPOTHÈSES

3.2.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

Les cas étudiés ici correspondent à la rupture guillotine doublement débattue de 2 tubes dans un même générateur de vapeur, ce qui donne lieu à une vidange sans entrave aux extrémités des tubes sectionnés.

La rupture de tube se situe en bas du faisceau tubulaire du GV, du côté branche froide (au niveau de la partie supérieure de la plaque tubulaire du GV dans la zone de sortie du GV). Cette localisation de la rupture maximise le débit brèche de la RTGV.

Pour les études PCC, on doit supposer qu'une perte des alimentations électriques externes (MDTE) pourrait se produire en plus, si cela est pénalisant.


3.2.2. ACTIONS DE PROTECTION ET DE MITIGATION

Les différentes protections automatiques (classées F1A) qui peuvent intervenir dans le cadre de la mitigation d'un évènement de type RTGV sont liées soit à la dépressurisation du circuit primaire, soit à la hausse du niveau dans le GV affecté. Par ailleurs, l'augmentation de l'activité du côté secondaire conduit à un signal d'activité en salle de commande.

Les signaux F1A d'arrêt automatique du réacteur possibles sont :

- « Basse Pression Pressuriseur < Min2p »,
- « Haut Niveau GV > Max1p GE ».

Les autres protections F1A automatiques sont les suivantes :

- isolement des lignes ARE grand débit :
Quand le signal d'arrêt automatique du réacteur apparaît, les lignes ARE à grand débit sont fermées dans toutes les boucles.
- IS et refroidissement partiel :
Quand le signal « Basse Pression Pressuriseur < Min3p » est atteint et si P12 n'a pas été activé, les pompes RIS démarrent et un refroidissement partiel exécuté par tous les GV y compris le GV affecté est initié.
- démarrage du RBS :
Lorsque le signal « Basse Pression Pressuriseur < Min4p » est atteint, le RBS démarre, excepté si le signal d'isolement RBS sur « Haut Niveau GV > Max3p GE » est présent.
- isolement du RBS :
L'isolement du RBS intervient sur signal « Haut Niveau GV > Max3p GE et P13 désactivé et P19 désactivé », signal prioritaire sur le démarrage automatique sur « Basse Pression Pressuriseur < Min4p ».
- refroidissement partiel :
Quand le signal « Haut Niveau GV > Max2p GE » est atteint (et si le refroidissement partiel n'a pas déjà été activé), un refroidissement partiel exécuté par tous les GV y compris le GV affecté est initié.
- isolement du GV affecté (côté alimentation) :
Le GV affecté est isolé par « Haut Niveau GV > Max1p GE », (isolement de la ligne ARE grand débit) ou,  après l'arrêt automatique du réacteur, par « Haut Niveau GV > Max0p GE » (isolement de la ligne ARE petit débit). L'isolement de l'ASG est réalisé sur le signal « Haut Niveau GV > Max1p GL ».
- isolement du GV affecté (côté vapeur) :
Après atteinte du signal « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé », le GV affecté est isolé (fermeture de la vanne d'isolement vapeur, augmentation du seuil de pression du VDA au-dessus de la pression de refoulement à débit nul de la pompe ISMP mais en-dessous de la valeur de pression des soupapes de sûreté du GV).
- isolement de la ligne de charge du RCV et de l'IJPP :
L'isolement de la ligne de charge RCV intervient :
 - sur signal IS (la décharge est également isolée sur ce signal si celle-ci est toujours en service), ou
 - sur signal « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé ». Ce signal isole également l'IJPP.
- activation de l'ASG :
Sur signal « Bas Niveau GV < Min2p GL », le train d'ASG est activé dans le GV correspondant. En cas de MDTE, tous les trains d'ASG sont activés 900 secondes après le signal IS.
- isolement de l'ASG :
Sur signal de « Haut Niveau GV > Max1p GL », le train ASG est isolé dans le GV correspondant.
- activation du VDA :
Quand la pression du GV atteint la valeur de consigne du VDA (« Pression GV > Max1p »), le VDA de ce GV s'ouvre et permet l'évacuation de chaleur avec contrôle de la pression.
- isolement de la vanne d'isolement vapeur :
Quand le signal « Basse Pression GV < Min1p » (avant activation de P12) ou « Baisse rapide de Pression GV > Max1p » est atteint, la fermeture des vannes d'isolement vapeur est initiée (toutes les lignes du circuit vapeur sont isolées, quel que soit le GV concerné).
- isolement du VDA :
Quand le signal « Basse Pression GV < Min3p » est atteint et si P12 n'a pas été activé, le VDA du GV correspondant est isolé (fermeture de la vanne d'isolement VDA associée, liée au GV).

3.2.3. ACTIONS []

Aucune intervention de l'opérateur ne peut être prise en compte avant que 30 minutes ne se soient écoulées après la première information significative en salle de commande (signal d'AAR ou signal d'activité au secondaire). Quand il est nécessaire que l'opérateur agisse localement, ce délai est rallongé à 1 heure.

Suite à l'atteinte de l'état contrôlé, les actions F1B pouvant être exécutées par l'opérateur sur indications des procédures de conduite, liées à la détection de la RTGV et à l'interruption du débit dû à une RTGV, sont les suivantes :

- isolement du GV affecté :
 - isolement [] de l'ASG, s'il n'a pas déjà été isolé,
 - isolement [] de l'ARE/AAD, s'il n'a pas déjà été isolé,
 - fermeture [] de la vanne d'isolement vapeur, si elle n'a pas déjà été fermée,
 - augmentation [] de la pression de consigne du VDA, si elle n'a pas déjà été augmentée.
- borication et refroidissement contrôlé du RCP :
 - démarrage [] des pompes RBS si elles n'ont pas déjà été démarrées automatiquement,
 - activation du permissif P19 et mise en service [] du refroidissement du RCP par les GV sains utilisables, avec un gradient à -25°C/h (1 seul train RBS en service) ou -50°C/h (2 trains RBS en service ou volume de bore requis par la conduite injecté),
 - restauration et maintien du niveau des GV par ouverture/fermeture [] de l'ASG sur les GV sains, si pas de contrôle automatique F1B du niveau du GV.
- équilibrage des pressions si la pression primaire est au-dessus de [] bar relatif :
 - dépressurisation du RCP par l'aspersion normale, si elle fonctionne, et mise à l'arrêt des chaufferettes.
 - en cas d'indisponibilité des aspersion, si aucun train ISMP n'est en service, activation [] d'un train ISMP de manière à éviter la dégradation de la marge à saturation en cas de vidange et baisse de pression rapide du pressuriseur.
- refroidissement partiel du RCP par les GV non affectés :
 - si l'ISMP est en service mais que le refroidissement partiel automatique par les 4 GV n'a pas déjà été activé, activation manuelle du refroidissement partiel du RCP par les GV sains utilisables.
- arrêt manuel de l'ISMP :
 - arrêt de tous les trains ISMP sauf un, tant que la température de connexion des trains RIS-RA en mode RA n'est pas atteinte ou que le niveau du pressuriseur n'est pas supérieur à [] GM et que la température de sortie cœur n'est pas inférieure à « Tsat(Pression GV affecté isolé) – ΔTsat (cible de restauration) ».
- isolement de la ligne de charge du RCV :
 - en cas d'indisponibilité des aspersion, isolement manuel de la charge à la fin du refroidissement partiel,
 - sinon isolement de la charge sur « Haut Niveau Pressuriseur > []% GM ».

Les actions F1B devant être exécutées par l'opérateur sur indications des procédures de conduite et liées au passage à l'état d'arrêt sûr, sont les suivantes :

- ouverture du barillet ASG à l'aspiration et au refoulement des pompes :

- ouverture du barillet passif ASG en aval des pompes (action effectuée depuis la salle de commande grâce aux vannes motorisées du barillet ASG) et relignage □ du refoulement des pompes ASG en service vers les GV sains par l'intermédiaire du barillet dédié.
- ouverture du barillet passif ASG en amont des pompes (□ après apparition du premier signal ou alarme significative) et relignage □ d'une bêche ASG vers l'aspiration des pompes ASG en service par l'intermédiaire du barillet dédié.
- refroidissement du RCP par les GV non affectés :
 - poursuite du refroidissement du RCP jusqu'à l'atteinte de la température de connexion du RIS-RA en mode RA.
- borication du RCP :
 - arrêt □ des pompes RBS dès que le volume de bore requis par la conduite a été injecté. □
- dépressurisation du RCP et du GV affecté :
 - dépressurisation du RCP par l'aspersion normale du pressuriseur si elle fonctionne,
 - en cas d'indisponibilité des aspersion, mise en service □ des trains ISBP, si l'ISBP n'avait pas été précédemment activée (avant la connexion des trains RIS-RA en mode RA pour prévenir toute chute incontrôlée de pression),
 - si le niveau du GV affecté est supérieur au seuil de niveau Max2p, isolement complet (en eau et vapeur) du GV apparié non affecté, puis ouverture □ de la ligne APG spécifique pour le transfert de l'eau du GV affecté au GV apparié,
 - ouverture □ du VDA du GV affecté ou de la ligne de bypasse de la vanne d'isolement vapeur (si le VDA du GV affecté est inutilisable) si le niveau du GV affecté est inférieur au seuil de niveau Max2p.
- gestion de l'APG :
 - ouverture de la ligne de transfert APG entre le GV apparié et le GV affecté si le niveau de ce dernier est supérieur au seuil Max2p lorsque sa dépressurisation est demandée,
 - sur isolement partiel manuel du GV affecté, isolement des purges APG de tous les GV sains (pour éviter leur contamination).
- connexion manuelle des trains RIS-RA en mode RA.

3.2.4. Justification des volumes de bore à injecter

□

Justification du volume de bore à injecter si aucun GMPP n'est en service

La sous-criticité du cœur doit être démontrée à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Les hypothèses de cette démonstration sont les suivantes :

- Pour les cas de RTGV pompes primaires hors service, les procédures de conduite sont optimisées de manière à éliminer les situations de rétrovidange. Aucune rétrovidange n'est donc prise en compte.
- Seul l'apport de bore par le RBS est considéré (l'apport des autres sources de bore IS, RCV et IJPP après basculement sur IRWST n'est pas valorisé). □.

- □

□

□a sous-criticité à l'état d'arrêt sûr □ est garantie ($keff < 0,99$)□.

Justification du volume de bore à injecter si au moins un GMPP est en service

La sous-criticité du cœur doit être démontrée à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Les hypothèses de cette démonstration sont les suivantes :

- De manière découplée et pénalisante, la totalité de la masse d'eau contenue dans un GV à la fin du refroidissement partiel et à un niveau GV correspondant à Max2p GE se vidange dans le circuit primaire [] .
- []
- Seul l'apport de bore par le RBS est considéré (l'apport de bore par l'IJPP et le RCV n'est pas valorisé alors que l'aspiration des pompes RCV est basculée sur l'IRWST depuis le début des actions opérateur).

[]

[] la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr [] est garantie ($keff < 0,99$) [] .

4. DÉFINITION DES CAS ÉTUDIÉS

La phase court terme, telle que définie pour l'étude des RTGV, est la période comprise entre l'apparition de la RTGV et l'annulation de la fuite. Cette phase inclut l'état contrôlé qui correspond à l'état où le débit IS (ou le débit RCV, si ce dernier fonctionne correctement) compense le débit de fuite de la RTGV, le cœur étant sous-critique.

La phase long terme est la période comprise entre la maîtrise de la fuite et l'état d'arrêt sûr (c'est-à-dire l'obtention des conditions de connexion des trains RIS-RA en mode RA). Elle inclut les phases de borication et le refroidissement simultané du RCP par les GV non affectés ainsi que la dépressurisation finale du RCP et du GV affecté.

Pour les RTGV, les objectifs d'étude consistent en la vérification du respect des critères techniques d'acceptation tels que décrits dans le § 2. Cette vérification se fait en trois étapes, sur l'ensemble de l'étude RTGV (jusqu'à la fin de la phase long terme) :

- vérifier l'absence de débordement du GV affecté, donc de rejets liquides contaminés (cas 1),
- vérifier que la quantité de vapeur contaminée rejetée par le GV affecté est telle que les critères radiologiques sont respectés (cas 2),
- vérifier que la capacité des bâches ASG est suffisante (cas 3).

4.1. REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ

Pour vérifier qu'aucun débordement du GV ne se produit et donc qu'il n'y a aucun rejet de liquide dans l'atmosphère (sauf sous forme d'humidité résiduelle de la vapeur), il est pénalisant de minimiser la puissance primaire à évacuer.

En effet, pour arriver au contenu maximum dans le GV affecté, il est intéressant de maximiser l'inventaire d'eau initial du GV affecté (maximum à faible puissance) et de minimiser la quantité de vapeur rejetée (et donc de minimiser la puissance que le GV doit évacuer).

Le cas le plus pénalisant est donc :

- avec une puissance initiale faible (c'est-à-dire 2% PN),
- avec superposition d'un MDTE lors de l'arrêt du réacteur.

Les autres hypothèses spécifiques liées à ce cas sont décrites dans le § 5.1.

4.2. REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ

Pour arriver au maximum de vapeur rejetée par le GV affecté, il est pénalisant :

- pour la phase court terme, de maximiser la puissance primaire à évacuer afin de maximiser la vaporisation du GV affecté,
- pour la phase long terme :
 - de maximiser la pression du GV affecté à l'ouverture du VDA (ou de la ligne de bypasse de la VIV) afin de maximiser la décharge de vapeur durant la dépressurisation finale,
 - de retarder, lors de la dépressurisation par le VDA (ou de la ligne de bypasse de la VIV), l'atteinte des conditions d'arrêt de la dépressurisation du GV affecté (P14 présent si au moins un GMPP est en service, pression primaire stable si aucun GMPP n'est en service) afin de maximiser la décharge de vapeur durant la dépressurisation finale.

Le cas le plus pénalisant est donc :

- avec une puissance initiale maximale (c'est-à-dire 102% PN),
- avec superposition d'un MDTE lors du signal IS,
- avec une fuite non compensée aux joints des GMPP lors de l'isolement de l'IJPP sur « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé ».

Le MDTE est cumulé sur signal IS, qui correspond à l'instant de cumul le plus tardif, car cela diffère au maximum l'instant d'arrêt des pompes primaires (la puissance des GMPP doit donc être évacuée en plus de la puissance résiduelle), ce qui pénalise les rejets durant la phase court terme. Par la suite, durant la phase long terme, le cumul MDTE est pénalisant car l'absence de circulation dans la boucle affectée permet le maintien en température et donc en pression du GV affecté.

La fuite non compensée aux joints des GMPP lors de l'isolement de l'IJPP sur « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé » (signal atteint lors de la dépressurisation finale du GV affecté) conduit à atteindre plus tardivement les conditions d'arrêt de la dépressurisation du GV affecté.

Les autres hypothèses spécifiques liées à ce cas sont décrites dans le [§ 5.2.](#)

4.3. CONSOMMATION DES BACHES ASG

Pour vérifier la capacité à rallier l'état d'arrêt sûr, il est pénalisant de maximiser la consommation de l'eau des bâches ASG en retardant au maximum l'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA et donc en maximisant l'énergie à évacuer au secondaire (c'est-à-dire 102% de la puissance du réacteur additionné de la puissance des GMPP).

Le cas le plus pénalisant pour cet aspect est donc :

- avec une puissance initiale maximale (c'est-à-dire 102% PN),
- sans MDTE.

Les autres hypothèses spécifiques liées à ce cas sont décrites dans le [§ 5.3.](#)

5. ÉTUDE DES DIFFÉRENTS CAS ENVISAGÉS

5.1. CAS 1 : REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ

5.1.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La maintenance préventive est appliquée sur le diesel d'une division associée à un GV sain. Le MDTE étant cumulé au cas étudié, l'ensemble de la division électrique associée est indisponible, exceptés les équipements secourus par batteries, qui restent alimentés \square après l'occurrence du MDTE³. La défaillance unique est également envisagée sur un diesel, dans une autre division correspondant à un GV sain et interconnectée avec celle en maintenance. Les conséquences sont les suivantes :

- trains ASG indisponibles pour les GV associés à ces divisions,
- trains ISMP et ISBP indisponibles dans ces divisions,
- train RBS alimenté par l'un de ces deux diesels en cas de cumul MDTE rendu indisponible par le choix de cet aggravant et de cette maintenance préventive.

5.1.2. ÉTAT INITIAL

Les conditions initiales sont choisies de manière à minimiser la puissance à évacuer, à maximiser la différence de pression entre le RCP et le GV et à maximiser le volume d'eau contenu dans le GV. Elles sont données dans le tableau [TAB-15.2.4k.1](#). Les conditions initiales les plus pénalisantes pour l'aspect remplissage du GV affecté sont obtenues en prolongation de cycle, avec un point de fonctionnement correspondant aux conditions d'attente à chaud au pas de stretch de 80% de la puissance nominale.

5.1.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

\square

5.2. CAS 2 : REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ

5.2.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La défaillance unique est postulée sur la vanne réglante du VDA du GV affecté, qui reste bloquée dans sa position initiale (complètement ouverte). Cela veut dire qu'à la première sollicitation de la vanne d'isolement du VDA, le VDA du GV affecté reste bloqué en position ouverte jusqu'à refermeture de la vanne d'isolement, augmentant le relâchement de vapeur contaminée à l'atmosphère, ce qui est pénalisant.

Afin de maximiser le dégagement de vapeur, il est pénalisant de ne pas alimenter le GV affecté après l'arrêt du réacteur. Toutefois, l'opérateur anticipant l'isolement en eau de secours du GV affecté, il est inutile de supposer la perte d'une pompe ASG pour le GV affecté.

Le MDTE étant cumulé au cas étudié, la maintenance préventive est appliquée sur le diesel d'une division correspondant à un GV sain, ce qui rend indisponible l'ensemble de la division électrique associée, exceptés les équipements secourus par batteries, qui restent alimentés \square après l'occurrence du MDTE. Les conséquences sont les suivantes :

- train ASG indisponible pour le GV associé à la division,
- train ISMP et ISBP indisponibles dans cette division.

5.2.2. ÉTAT INITIAL

Les conditions initiales sont choisies de manière à maximiser la puissance à évacuer, à maximiser la différence de pression entre le RCP et le GV affecté, et à minimiser le volume d'eau contenu dans les

3. \square

GV, afin de pénaliser l'évacuation de puissance et de favoriser la vaporisation du GV affecté. Elles sont données dans le tableau [TAB-15.2.4k.2](#).

5.2.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

□

5.3. CAS 3 : CONSOMMATION DES BACHES ASG

5.3.1. CHOIX DE LA DÉFAILLANCE UNIQUE ET DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La défaillance unique est choisie de manière à pénaliser la capacité des systèmes F1 à boriqer et refroidir le RCP afin de l'amener aux conditions de connexion du RIS-RA en mode RA le plus tardivement possible. L'aggravant est donc pris sur une pompe RBS, ce qui est pénalisant à long terme pour la borication et pour le gradient de refroidissement qui est divisé par deux tant que la concentration en bore de l'arrêt à froid n'est pas atteinte (25° C/h). Cet allongement de la durée d'atteinte de l'état d'arrêt sûr est pénalisant vis-à-vis de la consommation des bâches ASG.

Aucune maintenance préventive n'a été prise en compte, contrairement à la RTGV 1 tube (voir section 15.2.3f cas 3) pour laquelle on suppose un train ASG d'un GV sain en maintenance. En effet, un meilleur refroidissement du primaire (davantage de GV disponibles) se traduit par un débit de fuite RTGV légèrement plus faible, ce qui retarde l'atteinte du signal de refroidissement partiel sur très haut niveau dans le GV affecté, puis d'isolement de la charge RCV sur très haut niveau GV. Lorsque la charge du RCV est automatiquement isolée sur très haut niveau GV et refroidissement partiel terminé, la marge à saturation est suffisamment importante pour qu'elle ne chute pas sous le seuil de bas ΔP_{sat} , évitant ainsi le démarrage automatique de l'IS, qui serait très favorable.

Le MDTE n'est pas postulé afin de maximiser l'énergie extraite au primaire.

5.3.2. ÉTAT INITIAL

Les conditions initiales sont choisies de manière à maximiser l'énergie du primaire et à minimiser l'inventaire en eau initial du secondaire. La pression de consigne des VDA est prise à sa valeur maximale dans tous les GV afin de maximiser l'énergie du secondaire et de maximiser la pression du GV affecté après l'équilibrage des pressions pour maximiser la rétrovidange. Elles sont données dans le tableau [TAB-15.2.4k.3](#).

5.3.3. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

□

5.4. RÉSULTATS

5.4.1. CAS 1 : REMPLISSAGE DU GV AFFECTÉ

La séquence des événements est présentée dans le tableau [TAB-15.2.4k.4](#).

Les figures [FIG-15.2.4k.1](#) à [FIG-15.2.4k.19](#) présentent l'évolution des principaux paramètres.

L'ouverture de la brèche a pour conséquence une dépressurisation du circuit primaire. Le niveau pressuriseur diminue en dessous de la valeur « Seuil □ », ce qui provoque le démarrage de la seconde pompe de charge (59 s) Le débit de fuite est alors compensé par le débit de charge du RCV.

Le niveau d'eau dans le GV affecté augmente et l'AAR intervient sur signal de Haut Niveau GV Max1p à 216 s. Le cumul du MDTE intervient au même instant. La pression dans les GV augmente jusqu'à atteindre le seuil d'ouverture des VDA.

Le niveau du GV affecté continue à augmenter et atteint le seuil Max2p GE à 485 s, qui provoque le démarrage du refroidissement partiel à 250°C/h à l'aide des VDA des 4 GV.

Le niveau de ce GV, qui diminue sous l'action du refroidissement par les VDA, reste au dessus du seuil Max2p GE à la fin du refroidissement partiel. Le GV affecté est alors automatiquement isolé sur le seuil « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé » : relèvement du point de consigne du VDA \square (635 s), fermeture de la VIV (642 s). La charge RCV et l'IJPP sont isolés sur ce même seuil (677 s).

Le seuil « Basse Pression pressuriseur < Min4p » de démarrage du RBS est atteint. Le seuil d'isolement du RBS sur « Haut Niveau GV > Max3p GE » étant déjà atteint à cet instant, le RBS ne peut être démarré automatiquement.

La dépressurisation du circuit primaire se poursuit, et le seuil « Basse Pression Pressuriseur < Min3p » est atteint (741 s). Le signal IS est émis, ce qui provoque le démarrage des pompes ISMP. 900 secondes après le signal « IS + MDTE », les niveaux des GV 3 (GV affecté) et 4 sont supérieurs au seuil Max1p (GL) qui requiert l'isolement de l'ASG du GV concerné. L'ASG ne peut donc pas démarrer dans ces deux GV. L'ASG des GV 1 et 2 est indisponible du fait du choix de l'aggravant et de la maintenance préventive sur les diesels des divisions 1 et 2.

La chute des grappes assure la sous-criticité ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée par les VDA. La fuite s'annule par équilibrage des pressions et l'inventaire en eau du primaire se stabilise. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. L'état contrôlé est donc atteint.

Les premières actions opérateurs interviennent 30 minutes après l'AAR (2018 s) : L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle au MCP (gérée par le Diagnostic Automatique) ou au MCS, conduit l'opérateur vers la stratégie Passage en Arrêt à Froid (PAF) en RTGV, suite à un signal d'activité.

Il démarre la seule pompe RBS disponible, valide le permissif P19 et entame un refroidissement à 25 °C/h à l'aide des VDA des GV sains. Lors de cette phase de refroidissement, la marge à la saturation est provisoirement dégradée ($\Delta T_{sat} < \text{cible de restauration}$). Il procède à l'arrêt de toutes les pompes ISMP sauf une lorsque la marge à la saturation est restaurée (2698 s). L'opérateur démarre l'ASG du GV apparié au GV affecté. Il lui est par ailleurs demandé de réguler son niveau \square . L'opérateur procède au relignage de l'ASG du GV affecté vers les GV sains en ouvrant le barillet en aval des pompes ASG depuis la salle de commande (trains ASG 1 et 2 non secourus suite à la perte des diesels correspondants).

Lorsque le volume de bore injecté permet d'assurer la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr \square sans GMPP en service, l'opérateur arrête le RBS (10495 s) et poursuit le refroidissement contrôlé à 50°C/h.

Une fois que le refroidissement jusqu'à la température de connexion du RIS-RA en mode RA est terminé (16043 s), l'opérateur arrête la dernière pompe ISMP puis débute la dépressurisation du GV affecté.

L'opérateur isole le GV apparié au GV affecté, et ouvre alors la ligne de transfert (16103 s). Le niveau du GV affecté baisse alors grâce au transfert d'eau qui s'effectue par différence de pression entre les 2 GV.

Dès que le niveau repasse sous le seuil Max2p (28973 s), le risque de rejets liquides à l'atmosphère est écarté. L'opérateur dépressurise alors le GV affecté et le circuit primaire, à l'aide du VDA associé, jusqu'à atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA.

L'injection de bore par le RBS garantit la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$, \square). La connexion du RIS-RA en mode RA garantit l'évacuation de la puissance résiduelle. Au cours du calcul, aucun débordement du GV affecté n'est observé. L'absence de rejet liquide dans l'atmosphère (excepté sous forme d'humidité résiduelle de la vapeur) est garantie. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. La consommation totale d'ASG est inférieure à la capacité des bâches ASG \square .

L'état d'arrêt sûr est atteint 33 653 s après l'occurrence de la RTGV.

Les soupapes de sûreté des GV ne sont pas sollicitées. L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est démontrée. L'ensemble des critères techniques d'acceptation listés dans le [§ 2.](#) est donc respecté.

Analyse du cycle naturel :

Un cas initié en prolongation de cycle conduit à une pression secondaire beaucoup plus faible dans les GV par rapport à un cas initié en cycle naturel. Le refroidissement partiel, initié sur le signal « Haut Niveau GV > Max2p GE », est donc beaucoup plus court en prolongation de cycle, ce qui conduit à un inventaire en eau du GV affecté plus favorable en cycle naturel à l'issue de ce refroidissement partiel et de l'isolement automatique en vapeur du GV affecté. Cet écart d'inventaire en eau est ensuite conservé pendant la conduite opérateur. Par conséquent, le cas en cycle naturel est couvert par le cas en prolongation de cycle.

5.4.2. CAS 2 : REJETS VAPEUR DU GV AFFECTÉ

La séquence des événements pour le cas 2 est donnée dans le tableau [TAB-15.2.4k.5.](#)

Les valeurs représentatives de l'évolution des principaux paramètres thermo-hydrauliques sont présentées figures [FIG-15.2.4k.20](#) à [FIG-15.2.4k.33.](#)

L'ouverture de la brèche a pour conséquence une perte de l'inventaire en eau du primaire.

Dès que le niveau du pressuriseur diminue en dessous de la valeur « Seuil \square », la deuxième pompe de charge du RCV démarre automatiquement (89 s), et la décharge est automatiquement isolée sur le seuil « Bas Niveau Pressuriseur < Min2 » à 457 s. La dépressurisation du circuit primaire par vidange du pressuriseur ne peut être stoppée par le RCV ne compensant pas la perte de masse du primaire. Par conséquent, la pression primaire chute jusqu'à atteindre le seuil « Basse Pression Pressuriseur < Min2p » qui déclenche l'Arrêt Automatique du Réacteur (715 s).

Suite à l'AAR, la ligne grand débit de l'ARE est isolée dans les 4 GV tandis que la ligne petit débit est considérée indisponible pour pénaliser la vaporisation des GV. Le déclenchement turbine induit une augmentation de pression dans les GV jusqu'à l'atteinte du seuil d'ouverture des VDA. Dès l'ouverture des VDA et le blocage en position pleine ouverte du VDA du GV affecté, la vapeur est rejetée dans l'atmosphère et les 4 GV se dépressurisent.

La pression primaire diminuant très rapidement à cause de la dépressurisation du GV affecté, les seuils de « Basse Pression Pressuriseur < Min4p » (démarrage RBS) et « Basse Pression Pressuriseur < Min3p » (activation automatique du signal IS) sont atteints respectivement à 760 s et 820 s. Le signal IS entraîne l'isolement de la charge RCV, la mise en service des pompes ISMP et ISBP, et démarre automatiquement le refroidissement partiel à -250°C/h. Le cumul MDTE intervient au même instant, entraînant la perte des GMPP et donc de l'aspersion normale.

Sur l'atteinte du signal de « Bas Niveau GV < Min2p GL », l'ASG est activé dans le GV4 à 1680 s et dans le GV1 à 1720 s. Ce seuil de démarrage ASG est également atteint sur le GV2 mais la maintenance préventive portant sur le diesel d'une division d'un GV sain rend indisponible son ASG. Par sur-conservatisme pris sur l'isolement \square anticipé de l'ASG du GV affecté, le démarrage ASG du GV affecté n'est pas considéré sur le signal « IS + MDTE » temporisé de 900 s.

Le refroidissement s'effectue plus rapidement qu'à -250°C/h du fait du blocage du VDA dans le GV affecté et ce jusqu'à la fermeture des VIV dans les 4 GV. En effet, la vanne réglante du VDA du GV affecté étant bloquée dans sa position initiale (100% d'ouverture), le gradient de refroidissement partiel ne peut être imposé. Dès que la pression du GV affecté devient inférieure au seuil de pression Min1p (1334 s), les VIV des 4 GV sont fermées et la dépressurisation des GV sains est stoppée mais la pression du GV affecté continue de chuter. Lorsque celle-ci atteint le seuil de pression Min3p (1372 s), la vanne d'isolement du VDA est automatiquement fermée.

La fermeture de la vanne d'isolement correspond à la fin de la première phase de relâchement de vapeur dans l'atmosphère et à la fin des actions automatiques.

La chute des grappes assure la sous-criticité ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée par les VDA. La fuite est compensée par l'IS et l'inventaire en eau du primaire se stabilise. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. L'état contrôlé est donc atteint.

Les premières actions opérateur interviennent 30 minutes après l'AAR (2516 s) : l'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle au MCP (gérée par le Diagnostic Automatique) ou au MCS, conduit l'opérateur vers la stratégie Passage en Arrêt à Froid (PAF) en RTGV, suite à un signal d'activité. Il procède à l'isolement complet du GV radioactif.

Les deux pompes RBS disponibles ayant été automatiquement démarrées sur le signal « Basse Pression Pressuriseur < Min4p », l'opérateur valide le permissif P19, active le refroidissement □ contrôlé à -50°C/h par les GV sains utilisables, arrête tous les trains ISMP en service sauf un, et procède au relignage de l'ASG du GV affecté vers un GV sain non alimenté (ASG du GV2 non secouru suite à la perte du diesel correspondant).

Lorsque le volume de bore injecté permet d'assurer la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr □ sans GMPP en service (5347 s) l'opérateur met à l'arrêt les trains RBS. Il arrête le dernier train ISMP dès que la température de connexion du RIS-RA en mode RA est atteinte □. Le refroidissement du RCP est terminé (10 720 s), l'opérateur débute alors la phase de dépressurisation.

L'aspersion normale ayant été perdue sur cumul MDTE, la dépressurisation ne peut se faire que par le GV affecté. Au cours de la phase de dépressurisation, le niveau du GV affecté est très légèrement au-dessus de la valeur Max2p retenue pour l'étude □. Néanmoins, afin de couvrir des valeurs d'incertitudes modèle niveaux GV plus faibles, l'ouverture de la ligne de transfert APG inter-GV n'est pas prise en compte. Cela a pour effet de maintenir la pression du circuit primaire et donc de maximiser les rejets vapeur lors de la dépressurisation. Le VDA du GV affecté étant inutilisable, la dépressurisation se fait par la ligne de bipasse de la vanne d'isolement vapeur, jusqu'à atteindre les conditions de connexion du RIS-RA en mode RA □ avec une pression primaire stable. Au cours de la dépressurisation, l'atteinte du seuil « Haut Niveau GV > Max2p GE + refroidissement partiel terminé » entraîne l'isolement de l'IJPP et une fuite non compensée aux joints des GMPP.

L'injection de bore par le RBS garantit la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99$, □). La connexion du RIS-RA en mode RA garantit l'évacuation de la puissance résiduelle. □ tonnes de vapeur contaminée du GV affecté sont rejetées à l'atmosphère (□ tonnes lors de l'ouverture du VDA défaillant, et □ tonnes lors de la dépressurisation du GV affecté par le contournement de la ligne VVP). Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. La consommation totale d'ASG est inférieure à la capacité des bâches ASG □.

L'état d'arrêt sûr est atteint 16334 s après l'ouverture de la RTGV.

Les soupapes de sûreté des GV ne sont pas sollicitées. L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est démontrée. L'ensemble des critères techniques d'acceptation listés dans le § 2. est donc respecté.

Analyse de la prolongation de cycle :

A puissance initiale égale, la température moyenne primaire du premier pas de fonctionnement en prolongation de cycle étant plus faible qu'en cycle naturel, l'énergie du primaire à évacuer est moindre, et les rejets de vapeur contaminée du GV affecté sont couverts par les résultats ci-dessus. Pour les autres pas de fonctionnement en prolongation de cycle, la puissance initiale sera plus faible et par conséquent ces événements seront également couverts par les résultats ci-dessus.

5.4.3. CAS 3 : CONSOMMATION DES BÂCHES ASG

La séquence des événements pour le cas 3 est donnée dans le tableau [TAB-15.2.4k.6](#).

Les valeurs représentatives de l'évolution des principaux paramètres thermo-hydrauliques sont présentées figures [FIG-15.2.4k.34](#) à [FIG-15.2.4k.47](#).

L'ouverture de la brèche a pour conséquence une perte de l'inventaire en eau du primaire.

La régulation de niveau des GV par l'ARE fonctionnant correctement, le transfert de masse du primaire vers le GV affecté se traduit par une réduction du débit d'ARE dans ce GV. Le niveau du GV affecté reste constant et égal à sa valeur initiale.

Dès que le niveau du pressuriseur diminue en dessous de la valeur « Seuil \square », la deuxième pompe de charge du RCV démarre automatiquement (90 s), et la décharge est automatiquement isolée sur le seuil « Bas Niveau Pressuriseur < Min2 » à 459 s. La charge du RCV ne suffit pas à compenser la perte de masse du primaire, et l'arrêt automatique du réacteur survient à 713 s sur signal « Basse Pression Pressuriseur < Min2p ».

La pression continue à diminuer jusqu'à l'atteinte du signal de « Basse Pression Pressuriseur < Min4p » à 1021 s qui entraîne le démarrage du RBS 30 secondes plus tard.

La ligne ARE grand débit est automatiquement isolée sur arrêt automatique du réacteur, et la ligne petit débit ARE n'est pas considérée disponible. Le démarrage de l'ASG survient sur signal « Bas Niveau GV < Min2p GL » à 2361 s.

Après le déclenchement de la turbine, la charge du RCV permet de compenser le débit de fuite RTGV et la pression primaire se stabilise \square , n'entraînant aucune autre action automatique.

La chute des grappes assure la sous-criticité ($keff < 1,0$). L'évacuation de la puissance résiduelle est effectuée par les VDA. La fuite est compensée par la charge RCV et l'inventaire en eau du primaire se stabilise. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3. L'état contrôlé est donc atteint.

Les premières actions opérateurs interviennent 30 minutes après l'AAR (2514 s) : L'orientation en Conduite Incidentelle/Accidentelle au MCP (gérée par le DA) ou au MCS, conduit l'opérateur vers la stratégie Passage en Arrêt à Froid (PAF) en RTGV, suite à un signal d'activité. Il procède à l'isolement complet du GV radioactif : isolement du train ASG et des lignes de conditionnement et purge, fermeture de la vanne principale d'isolement vapeur pour isoler des autres GV, et remontée du point de consigne de son VDA.

Le seul train RBS disponible est déjà en service et permet, après la validation du permissif P19, le refroidissement contrôlé à 25°C/h par les GV sains non isolés utilisables (2519 s).

L'opérateur règle le débit d'aspersion normale pour maintenir le ΔT_{sat} en zone 2. La décharge du RCV n'étant pas classée F1, l'opérateur ne peut réguler le niveau du pressuriseur qui se remplit avec le débit de charge.

A 4406 s, le débit de fuite a rempli le GV affecté, dont le niveau atteint le seuil Max2p \square . Le niveau du GV apparié au GV affecté est par conséquent abaissé \square . Le signal automatique de refroidissement partiel à 250°C/h est alors activé sur tous les GV, y compris le GV affecté. La pression dans le GV affecté diminue alors, augmentant l'écart de pression avec le primaire et réactivant le débit de fuite. A la fin du refroidissement partiel, le niveau du GV affecté est inférieur au seuil Max2p et l'opérateur augmente le point de consigne du VDA du GV affecté. L'isolement de la charge du RCV et de l'IJPP sur signal de « Haut Niveau GV > Max2p \square + refroidissement partiel terminé » (5478 s) intervient lorsque le niveau du GV affecté augmente à nouveau et atteint le seuil Max2p \square .

A la fin du refroidissement partiel, le signal automatique d'IS sur très basse pression pressuriseur n'a pas été activé puisque le permissif P12 a été validé par l'opérateur. Ce dernier reprend alors le refroidissement contrôlé à 25°C/h par les GV sains non isolés utilisables.

Lorsque la pression primaire passe en dessous de \square bar et que l'écart avec la pression du GV affecté est d'au maximum \square bar, le débit de fuite est presque annulé (5605 s) et l'opérateur met à l'arrêt l'aspersion normale. Dès que le volume de bore injecté permet d'assurer la sous-criticité à l'état d'arrêt sûr \square avec au moins un GMPP en service (15 236 s), l'opérateur met à l'arrêt le train RBS et modifie le gradient du refroidissement contrôlé à 50° C/h, puis attend que la température de fin de

refroidissement soit atteinte [1]. Quand le refroidissement du RCP est terminé (18 141 s), l'opérateur débute la phase de dépressurisation.

L'opérateur peut commencer la dépressurisation primaire prioritaire immédiatement. En effet, l'opérateur met en service l'ISBP sur critère d'arrêt de l'IJPP suite à son isolement sur signal « Haut Niveau GV > Max2p [1] + refroidissement partiel terminé » et peut donc commencer une dépressurisation primaire prioritaire tant que le niveau pressuriseur n'est pas supérieur à [1] %GM. L'opérateur peut dépressuriser le circuit primaire par l'utilisation de l'aspersion normale analogique avec un gradient imposé [1]. Toutefois, la dépressurisation primaire prioritaire devient impossible dès que le niveau du GV affecté atteint [1] GE (20 120 s). L'opérateur demande alors la dépressurisation par le GV affecté. Le niveau de ce dernier étant bien en deçà du seuil Max2p, la ligne de transfert APG inter-GV n'est pas sollicitée. Le VDA du GV affecté est alors ouvert, jusqu'à ce que la pression primaire soit inférieure à la pression de connexion du RIS-RA en mode RA [1].

L'injection de bore par le RBS garantit la sous-criticité du cœur ($keff < 0,99, [1]$). La connexion du RIS-RA en mode RA garantit l'évacuation de la puissance résiduelle. Le respect du critère de sûreté lié aux rejets radiologiques est vérifié dans le sous-chapitre 15.3.

En ce qui concerne la capacité des bâches ASG : [1] tonnes d'ASG sont consommées pour atteindre l'état d'arrêt sûr. A ce résultat on ajoute la quantité d'eau évacuée par l'APG entre l'arrêt de l'ARE (au moment de l'AAR) et l'atteinte du signal « Bas Niveau GV < Min1p GE » à 723s, qui isole l'APG dans les 3 GV sains. Le débit APG étant égal à [1]% du débit vapeur dans chaque GV, la quantité d'eau évacuée est inférieure à [1] tonne. La quantité d'eau évacuée par le débit d'échantillonnage est également prise en compte entre l'arrêt de l'ARE (au moment de l'AAR) et l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Le débit d'échantillonnage étant égal à [1] m³/h/GV, la quantité d'eau évacuée est inférieure à [1] tonnes. On obtient une consommation totale d'ASG de [1] tonnes [1], ce qui est bien inférieur à la capacité des bâches [1] pour ce cas pénalisant.

L'état d'arrêt sûr est atteint 21 357 s après l'ouverture de la RTGV.

Les soupapes de sûreté des GV ne sont pas sollicitées. L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr est démontrée. L'ensemble des critères techniques d'acceptation listés dans le § 2. est donc respecté.

Analyse de la prolongation de cycle :

Les données et hypothèses retenues pour l'étude du cas 3 maximisent l'énergie du primaire, et couvrent le fonctionnement en prolongation de cycle vis-à-vis de la consommation des bâches ASG.

6. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLEMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION

Augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA

Une relaxation du requis du temps de fermeture VI-VDA [1] a été réalisée. L'analyse d'impact [1] permet de justifier l'acceptabilité de l'impact de cette relaxation de critère sur les scénarios traités dans cette section.

L'augmentation du temps de fermeture de la vanne d'isolement du VDA ne remet pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation présentés au § 2.

7. CONCLUSION

L'étude des trois cas (remplissage du GV affecté, rejets vapeur du GV affecté et consommation des bâches) montre que l'état d'arrêt sûr est atteint en s'appuyant uniquement sur des dispositions F1, indépendamment des hypothèses de défaillance unique et de maintenance préventive, et en satisfaisant la totalité des critères de sûreté et critères techniques d'acceptation suivants (voir § 2.) :

- prévention du débordement du GV affecté : le niveau d'eau maximal atteint dans le GV affecté est donné par le cas 1. Aucun débordement n'a lieu au cours de l'accident. Ainsi pour les rejets d'activité, seule la teneur en humidité résiduelle de la vapeur doit être prise comme hypothèse.
- rejets radiologiques : la quantité maximale de vapeur contaminée rejetée par le GV affecté directement dans l'atmosphère est donnée par le cas 2. Au total, [] tonnes de vapeur sont rejetées du GV affecté à l'atmosphère ([] tonnes à court terme lors de la première sollicitation du VDA défaillant du GV affecté, [] tonnes à long terme lors de la dépressurisation du GV affecté). Le respect des critères de sûreté liés aux limites de doses est traité dans la section se rapportant à la « rupture de générateur de vapeur 2 tubes (PCC-4) » (voir paragraphe 4.10 du sous-chapitre 15.3).
- capacité des bâches ASG : la quantité maximale d'eau ASG consommée est donnée par le cas 3. [] tonnes sont consommées pour atteindre l'état d'arrêt sûr, ce qui est bien inférieur à la capacité des bâches [] pour ce cas pénalisant. De plus il reste une quantité d'eau égale à [] tonnes dans le secondaire des GV sains.
- sous-criticité du cœur : la chute des grappes garantit la sous-criticité du cœur à l'état contrôlé. L'injection par le RBS est suffisante pour garantir la sous-criticité du cœur à l'état d'arrêt sûr [].
- stabilité de l'inventaire en eau du primaire : les actions automatiques et l'intervention de l'opérateur permettent de stabiliser l'inventaire en eau du primaire tant à l'état contrôlé qu'à l'état d'arrêt sûr.
- évacuation de la puissance résiduelle : les VDA permettent d'évacuer la puissance résiduelle à court terme. L'atteinte des conditions de connexion du RIS-RA en mode RA et donc l'évacuation durable de la puissance résiduelle est démontrée.
- limitation du risque de blocage des soupapes de sûreté des GV en position ouverte : malgré la prise en compte d'une pression de tarage minimisée, les soupapes ne sont sollicitées dans aucun des cas analysés.
- minimisation du débit inverse RTGV pompes primaires hors service : La pression du GV affecté est maintenue inférieure ou égale à la pression du RCP dans tous les cas analysés, si bien que l'inversion du débit de RTGV est limitée autant que possible. De façon générale pour les cas de RTGV pompes primaires hors service, les procédures sont optimisées de manière à éliminer les situations de refroidissement du circuit primaire sans moyen d'appoint efficace pour compenser la contraction.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 25/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 26/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4K.1 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES
SYSTÈMES – CAS 1

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 27/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4K.2 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES
SYSTÈMES – CAS 2

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 28/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.2.4K.3 CONDITIONS INITIALES ET HYPOTHÈSES
SYSTÈMES – CAS 3

□

TAB-15.2.4K.4 SÉQUENCE ÉVÉNEMENTS – CAS 1

Temps (s)	Évènement
0	RTGV 2 tubes (4A) à 2%PN : - Régulation de pression PZR en fonctionnement (chaufferettes et aspersion normale) - Une pompe de charge et décharge RCV en service - Régulation de niveau GV en fonctionnement en mode manuel
59	Niveau PZR < (Seuil □) : - Mise en service de la deuxième pompe de charge RCV
216	Niveau GV GE > Max1p : - Arrêt automatique du réacteur - Cumul du MDTE et arrêt de l'ARE
278	Niveau PZR < Min2 : - Isolement de la décharge RCV
463	Niveau PZR < Min3 : - Arrêt des chaufferettes
485	Niveau GV GE > Max2p : - Refroidissement partiel automatique à -250°C/h
635	Fin du refroidissement partiel à -250°C/h Niveau GV GE > Max2p et refroidissement partiel terminé, qui provoque l'isolement du GV affecté (relèvement du point de consigne) et l'isolement de la charge RCV et de l'IJPP
741	Pression PZR < Min3p : - Signal IS
2018	Début des actions opérateur : □ Niveau GV affecté GE > Max2p : - Abaissement manuel de la consigne de niveau GV apparié Marge à la saturation insuffisante : - Restauration requise : Aucune action effectuée
2698	Retour à une marge à la saturation suffisante : - Arrêt de toutes les pompes ISMP sauf une

Temps (s)	Évènement
4903	Relignage de l'ASG du GV affecté vers les GV sains
10495	Volume de RBS injecté dans le primaire supérieur au volume demandé par la conduite : - Arrêt du RBS – poursuite du refroidissement contrôlé à -50°C/h
16043	Atteinte du critère TRIC et de la température de connexion du RIS-RA en mode RA dans 2 branches chaudes : - Arrêt du refroidissement contrôlé - Arrêt du dernier train ISMP
16103	Phase « Passage à l'arrêt à froid – Dépressurisation » : - Isolement du GV apparié - Ouverture de la ligne de transfert du GV affecté - Arrêt de l'ASG dans le GV apparié
28973	Niveau GV GE < Max2p : - Dépressurisation par le VDA
33653	Pression de refoulement des pompes ISBP atteinte : - fermeture du VDA du GV affecté
33653	Conditions de connexion du RIS-RA en mode RA atteintes Fin du calcul. Etat d'arrêt sûr atteint.

TAB-15.2.4K.5 SÉQUENCE ÉVÈNEMENTS – CAS 2

<u>Temps (s)</u>	<u>Évènement</u>
0	RTGV 2 tubes (4A) à 102%PN : - Régulation de pression pressuriseur en fonctionnement (chaufferettes et aspersion normale) - Une pompe de charge et décharge RCV en service - Régulation de niveau GV en fonctionnement
89	Niveau pressuriseur < (Seuil []) : - Mise en service de la deuxième pompe de charge RCV
457	Niveau pressuriseur < Min2 : - Isolement de la décharge RCV
578	Niveau pressuriseur < Min3 : - Arrêt des chaufferettes
715	Pression PZR < Min2p : - Arrêt automatique du réacteur - Isolement de l'ARE grand débit
[]	Déclenchement de la turbine
723	Défaillance unique de la vanne réglante du VDA du GV affecté (blocage de la vanne réglante en position ouverte)
760	Pression PZR < Min4p - Démarrage des deux pompes RBS
820	Pression PZR < Min3p : - Signal IS et cumul du MDTE (arrêt GMPP et perte de l'aspersion normale) - Démarrage du refroidissement partiel automatique à -250°C/h - Isolement de la charge RCV
1334	Pression GV3 < Min1p : - Fermeture des 4 VIV
1372	Pression GV3 < Min3p : - Fermeture de la vanne d'isolement du VDA3
1680	Niveau GV4 GL < Min2p - Démarrage ASG

<u>Temps (s)</u>	<u>Évènement</u>
1720	Niveau GV1 GL < Min2p - Démarrage ASG
2516	Début des actions opérateur : □
2642	Marge à la saturation insuffisante : - Restauration requise : aucune action effectuée
3040	Retour à une marge à la saturation satisfaisante
5347	Volume de RBS injecté dans le primaire supérieur au volume demandé par la conduite : - Arrêt des 2 trains RBS
10720	Fin du refroidissement sur atteinte du critère TRIC□ et atteinte de la température de connexion du RIS-RA en mode RA dans au moins 2 branches chaudes : - Arrêt du refroidissement manuel contrôlé - Arrêt du dernier train ISMP
10720	Phase « Passage à l'arrêt à froid – Dépressurisation » : - Ouverture de la ligne de contournement de la VVP du GV affecté
10940	Niveau GV3 GE > Max2p + refroidissement partiel terminé : - Isolement de l'injection aux joints des GMPP - Fuite aux joints des GMPP non compensée
16334	Pression de refoulement des pompes ISBP atteinte : - fermeture de la ligne de contournement de la VVP du GV affecté
16334	Conditions de connexion du RIS-RA en mode RA atteintes Fin du calcul. Etat d'arrêt sûr atteint.

TAB-15.2.4K.6 SÉQUENCE ÉVÈNEMENTS – CAS 3

<u>Temps (s)</u>	<u>Évènement</u>
0	RTGV 2 tubes (4A) à 102%PN : - Régulation de pression pressuriseur en fonctionnement (chaufferettes et aspersion normale) - Régulation de niveau pressuriseur en fonctionnement : une pompe de charge et la décharge du RCV en service - Régulation de niveau GV en fonctionnement
90	Niveau pressuriseur < Seuil □ : - Mise en service de la deuxième pompe de charge RCV
459	Niveau pressuriseur < Min2 : - Isolement de la décharge du RCV
581	Niveau pressuriseur < Min3 : - Arrêt des chaufferettes
713	Arrêt automatique du réacteur sur « Pression pressuriseur < Min2p » : - Isolement de l'ARE grand débit - Chute des grappes dans le cœur
716	Déclenchement de la turbine
728	Ouverture automatique de tous les VDA □
1021	Pression pressuriseur < Min4p
1052	Démarrage du RBS
2346	Niveau GV sains GL < Min2p
2361	Mise en service de l'ASG dans les GV sains
2514	Début des actions opérateur – Isolement complet □ du GV affecté : □

<u>Temps (s)</u>	<u>Évènement</u>
2519	VIV du GV affecté fermée Activation du permissif P12
2519	Phase « Equilibrage des pressions » : - Refroidissement \square contrôlé à -25°C/h - Réglage du débit d'aspersion normale pour maintenir ΔT_{sat} en zone 2
3941	Niveau GV affecté GE > Max0p
3953	Niveau GV affecté GE > Max1p
4406	Niveau GV affecté GE > Max2p : - Signal automatique de refroidissement partiel à -250°C/h par les 4 GV - Réduction du niveau de régulation du GV apparié par l'ASG
4916	Fin du refroidissement partiel automatique. Relèvement du point de consigne VDA du GV affecté par l'opérateur Phase « Equilibrage des pressions » \square : - Reprise du refroidissement \square contrôlé à -25°C/h par les GV sains
5478	Niveau GV affecté GE > Max2p + refroidissement partiel terminé : - Isolement automatique de la charge RCV et de l'IJPP
5520	Charge RCV et IJPP isolée
5605	Phase « Refroidissement » \square : - Arrêt manuel de l'aspersion normale
15 236	Volume de RBS injecté dans le primaire supérieur au volume demandé par la conduite : - Arrêt du train RBS - Modification du gradient de refroidissement manuel contrôlé à -50°C/h
18 141	Fin du refroidissement sur atteinte du critère TRIC \square et atteinte de la température de connexion du RIS-RA en mode RA dans au moins 2 branches chaudes : - Arrêt du refroidissement manuel contrôlé
18 141	Phase "Passage à l'arrêt à froid – Dépressurisation" : - Dépressurisation du RCP par l'aspersion normale analogique \square
20 120	Niveau GV < $\square\%$ GE - Arrêt de la dépressurisation primaire prioritaire



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 35/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

<u>Temps (s)</u>	<u>Évènement</u>
20 120	Dépressurisation du RCP par le GV affecté : - Ouverture du VDA du GV affecté
21 357	Pression primaire < 1 bar : - Fermeture du VDA du GV affecté
21 357	Conditions de connexion du RIS-RA en mode RA atteintes Fin du calcul. Etat d'arrêt sûr atteint.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 36/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.1 CAS 1 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV –
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION 2.4K

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE 37/82

FIG-15.2.4K.2 CAS 1 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE RETROVIDANGE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 38/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.3 CAS 1 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 39/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.4 CAS 1 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 40/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.5 CAS 1 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES –
DÉBIT D'ASPERSION NORMALE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 41/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.6 CAS 1 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES –
DÉBIT D'ASPERSION NORMALE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 42/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.7 CAS 1 – DÉBITS RCV ET IS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 43/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.8 CAS 1 – DÉBITS RCV ET IS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 44/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.9 CAS 1 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 45/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.10 CAS 1 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 46/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.11 CAS 1 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 47/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.12 CAS 1 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 48/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.13 CAS 1 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/
SECONDAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 49/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.14 CAS 1 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 50/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.15 CAS 1 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 51/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.16 CAS 1 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 52/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.17 CAS 1 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉS
PAR LES VDA DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 53/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.18 CAS 1 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE
DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 54/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.19 CAS 1 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION
ET EN TEMPÉRATURE**

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 55/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.20 CAS 2 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV –
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 56/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.21 CAS 2 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE
RÉTROVIDANGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 57/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.22 CAS 2 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 58/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.23 PUISSANCE DES CHAUFFERETTES – DÉBIT
D'ASPERSION NORMALE**



FIG-15.2.4K.24 CAS 2 – DÉBITS RCV ET IS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 60/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.25 CAS 2 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 61/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.26 CAS 2 – NIVEAU GV (% GL) – DEBIT ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 62/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.27 CAS 2 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/
SECONDAIRE**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 63/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.28 CAS 2 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 64/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.29 CAS 2 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 65/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.30 CAS 2 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 66/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.31 CAS 2 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉS
PAR LES VDA DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 67/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.32 CAS 2 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE
DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 68/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.33 CAS 2 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION
ET EN TEMPÉRATURE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 69/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.34 CAS 3 – PRESSIONS PRESSURISEUR ET GV –
TEMPÉRATURES PRIMAIRES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 70/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.35 CAS 3 – DÉBIT DE FUITE RTGV – MASSE DE
RÉTROVIDANGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 71/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.36 CAS 3 – NIVEAU PRESSURISEUR (EN M ET % GM)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 72/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.37 CAS 3 – PUISSANCE DES CHAUFFERETTES –
DÉBIT D'ASPERSION NORMALE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 73/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.38 CAS 3 – DÉBITS RCV ET IS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 74/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.39 CAS 3 – NIVEAU GV (% GE) – DÉBIT ARE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 75/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.40 CAS 3 – NIVEAU GV (% GL) – DÉBIT ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 76/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.41 CAS 3 – NIVEAU CAVITÉ GV – MASSE PRIMAIRE/
SECONDAIRE**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 77/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.42 CAS 3 – MASSE LIQUIDE ET VAPEUR DES GV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 78/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.43 CAS 3 – DÉBIT RBS ET DE LIGNE DE TRANSFERT

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 79/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.2.4K.44 CAS 3 – CONSOMMATION ASG ET DE RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 80/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.45 CAS 3 – DEBIT ET MASSE DE VAPEUR REJETÉS
PAR LES VDA DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 81/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.46 CAS 3 – DÉBIT ET MASSE DE VAPEUR EN SORTIE
DES GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4K

PAGE 82/82

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG-15.2.4K.47 CAS 3 – MARGE À LA SATURATION EN PRESSION
ET EN TEMPÉRATURE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4M

PAGE 1/4

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.15.2.4M ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE	2
1. DEFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT	2
2. MOYENS DE PROTECTION	2
3. DEFINITION DES CAS ETUDIÉS VIS-À-VIS DU RISQUE DE CRITICITÉ	2
4. ETUDE DES CONSEQUENCES VIS-À-VIS DU RISQUE DE CRITICITE .	3
LISTE DES REFERENCES.	4

.15.2.4M ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE

1. DEFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

Le système de manutention du combustible (cf. section 9.1.4) est conçu de manière à rendre très improbable un accident de manutention (notamment, les chemins de circulation interdisent tout choc entre l'assemblage et son environnement) et à garantir le maintien de la charge en toute circonstance, y compris en cas de séisme et de perte d'alimentation électrique.

La chute hypothétique d'un assemblage combustible, si elle devait se produire, aurait lieu :

- dans la piscine du bâtiment réacteur ou du bâtiment combustible (assemblages neufs ou irradiés),
- ou au niveau d'un plancher de service du bâtiment combustible (assemblages neufs).

Les risques associés à un tel accident sont de deux natures :

- la chute pourrait modifier la géométrie de l'assemblage et conduire à un risque de criticité,
- la chute pourrait endommager les gaines de l'assemblage et conduire au relâchement, dans le bâtiment puis dans l'environnement, des substances radioactives contenues dans l'assemblage (cas des assemblages irradiés).

L'étude des conséquences radiologiques et les résultats de celle-ci sont présentés, pour le cas enveloppe, au sous-chapitre 15.3 "Conséquences radiologiques".

2. MOYENS DE PROTECTION

En cas d'accident de manutention du combustible, les dispositifs de protection visent à assurer le confinement de la radioactivité et la limitation des conséquences radiologiques dans l'environnement, notamment en isolant le système de ventilation normale du bâtiment concerné et en basculant la ventilation sur piège à iode. Ces moyens sont détaillés au sous-chapitre 9.4 "Systèmes de climatisation, de chauffage et de ventilation".

3. DEFINITION DES CAS ETUDIÉS VIS-À-VIS DU RISQUE DE CRITICITÉ

Les calculs de criticité relatifs au dimensionnement des assemblages combustibles et du râtelier d'entreposage de la piscine du bâtiment combustible sont effectués en supposant que la géométrie des assemblages est maintenue (cf. section 9.1.2 et sous-chapitre 4.3). En cas de chute d'un assemblage entraînant un endommagement et une déformation de sa structure, une configuration plus réactive que celle correspondant à la géométrie normale de l'assemblage peut être obtenue.

Deux situations sont étudiées :

- la rupture du squelette de l'assemblage entraînant un réarrangement des crayons combustibles,
- la rupture des gaines de crayons combustible entraînant le regroupement d'un grand nombre de pastilles en dehors de la gaine.

Ces configurations sont étudiées en air ou sous eau borée (concentration de \square ppm de bore naturel). Les assemblages combustibles considérés sont composés de \square , sans poisons consommables.

Le critère de sous-criticité considéré est que le keff calculé, pénalisé de l'incertitude de modélisation (liée à la qualification des codes) et de l'incertitude statistique (liée à l'utilisation de méthodes stochastiques), reste inférieur à 0,98.

4. ETUDE DES CONSEQUENCES VIS-À-VIS DU RISQUE DE CRITICITE

Les études réalisées (cf. [Réf \[1\]](#) et [Réf \[2\]](#)) montrent que :

- en cas de chute d'un assemblage combustible en air, tout risque de criticité est exclu,
- en cas de dispersion de l'ensemble des crayons d'un assemblage en eau borée à 1000 ppm de bore naturel, tout risque de criticité est exclu,
- en cas de regroupement de pastilles en eau borée à 1000 ppm de bore naturel, la réalisation d'une configuration critique peut être exclue. 1000

En conclusion, en cas de chute d'un assemblage combustible, la sous-criticité est maintenue.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4M

PAGE 4/4

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES REFERENCES

[1] Note ENPRNC080059 B – Risque de criticité par réarrangement géométrique de crayons ou de pastilles combustibles

[2] Note D305914007918 C - Risque de criticité par réarrangement géométrique de pastilles

SOMMAIRE

.15.2.4P DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON ISOLABLE D'UN TUBE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR (ÉTATS C À E)	3
1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	3
1.1. DÉFINITION ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	3
1.2. CAUSES, INITIATEURS, ÉVÉNEMENTS	4
1.3. CRITÈRES D'ÉTUDES	4
1.4. MOYENS DE MITIGATION DE L'ACCIDENT	4
2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES	5
2.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DES PHASES COURT ET MOYEN TERMES	5
2.1.1. MÉTHODES D'ANALYSE	5
2.1.2. CONDITIONS INITIALES	5
2.2. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME	6
3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	6
3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES AUX PHASES COURT ET MOYEN TERMES	6
3.2. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME	7
LISTE DES RÉFÉRENCES	8



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4P

PAGE 2/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

**TAB-15.2.4P.1 DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON ISOLABLE D'UN TUBE
D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR – CONCENTRATIONS EN BORE
CRITIQUES 9**

**TAB-15.2.4P.2 DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON ISOLABLE D'UN TUBE
D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR – VOLUMES CRITIQUES 10**

.15.2.4P DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON ISOLABLE D'UN TUBE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR (ÉTATS C À E)

Sauf indication contraire, les concentrations en bore présentées sont exprimées en ppm de bore naturel.

1. IDENTIFICATION DES CAUSES ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

1.1. DÉFINITION ET DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

L'accident analysé est supposé survenir comme conséquence d'une fuite, non isolable par des moyens automatiques de protection, du circuit de réfrigération intermédiaire (RRI) au travers de tubes endommagés d'un échangeur de chaleur. Cet accident est classé dans la Condition de Fonctionnement de Catégorie 4 (PCC4).

Les situations initiales de cet accident correspondent à une pression du RRI au-dessus de la pression de fonctionnement de ces échangeurs. Dans de telles situations, les pompes primaires sont stoppées. Les états standards du réacteur associés (voir section 15.0.1) correspondent à l'arrêt à froid pour rechargement ou intervention y compris :

- niveau $\frac{3}{4}$ boucle - avec cuve fermée (état C3) ;
- *a minima* niveau $\frac{3}{4}$ boucle - avec cuve ouverte, (état D) ;
- piscine réacteur pleine pour rechargement, (état E).

L'injection d'eau claire dans le Circuit Primaire (RCP) conduit à une insertion de réactivité dans le cœur.

Une séquence typique d'évènements est indiquée ci-après, de l'évènement initiateur à l'état contrôlé. Une description des évènements initiateurs est indiquée par la suite (voir [§ 1.2.](#)).

Pour toutes les conditions d'arrêt, les groupes d'arrêt et les grappes de commande sont entièrement insérés. La dilution incontrôlée provoque un apport de réactivité qui pourrait conduire à une criticité involontaire.

La progression de l'accident pourrait entraîner des états transitoires, en puissance, pour lesquels les conditions de réactivité et les conditions thermiques et hydrauliques (pression et température) ne seraient pas maîtrisées.

Pour les cas étudiés (pression du RRI au-dessus de la pression de fonctionnement des échangeurs), les concentrations en bore initiales sont supérieures à celles des conditions d'arrêt pour rechargement ou intervention et le niveau du circuit primaire peut se situer au plan médian – $\frac{3}{4}$ boucle – des boucles ou au niveau situé juste au-dessus des tubulures de cuve.

Le scénario le plus pénalisant concerne le plan médian – $\frac{3}{4}$ boucle – des boucles pour lequel la quantité de réfrigérant est la plus faible.

Le cœur reste sous-critique, le volume maximal d'eau claire injecté étant limité grâce à l'intervention des actions automatiques sur bas niveau \square des bâches RRI (voir [§ 1.4.](#)). De plus, l'opérateur est orienté vers la recherche d'une fuite sur le train RRI affecté et, identifie et isole la source de dilution.

Ainsi, compte tenu des moyens de mitigation mis en œuvre présentés au [§ 1.4.](#), l'état contrôlé et l'état d'arrêt sûr (voir sous-chapitre 3.2) sont atteints :

- Cœur sous critique (avec une sous-criticité minimale de 1000 pcm pour l'état d'arrêt sûr) ;
- Refroidissement du circuit primaire assuré par le RRA ;
- Inventaire en eau du réfrigérant primaire stable.

Durant tout l'accident, le cœur reste sous-critique.

1.2. CAUSES, INITIATEURS, ÉVÉNEMENTS

L'initiateur considéré pour l'accident de dilution classé comme un événement PCC4 est la rupture non isolable d'un tube d'échangeur de chaleur RIS/RA. En application des règles d'étude pour les événements PCC4 initiés en états d'arrêt, le cumul du Manque De Tension Externe (MDTE) est considéré à l'instant initial.

Ce scénario a été identifié suite à l'analyse de l'ensemble des scénarii de dilution homogène possibles et des fréquences d'occurrence associées, déterminés à partir des caractéristiques de la tranche dans les états standards considérés (voir [Réf \[1\]](#)) : il s'agit du scénario présentant le débit de dilution maximal parmi les scénarii dont la fréquence d'occurrence est supérieure à 1E-8/(réacteur.an).

Lorsque la pression du RRI se situe au-dessus de la pression de fonctionnement des échangeurs RIS-RA, une rupture de tube entraîne un débit de dilution de :

- \square m³/h, sans cumul du MDTE ;
- \square m³/h, avec cumul du MDTE et compte tenu de l'aggravant pris en compte (cf. [§ 2.](#) ci-après).

Le débit de dilution continu retenu pour les analyses de cet événement PCC4 est donc de \square m³/h. L'analyse couvre les débits de dilution inférieurs à cette valeur maximale.

Néanmoins, le volume maximal d'eau claire injecté étant limité grâce à l'intervention des actions automatiques sur bas niveau \square des bâches RRI (voir [§ 1.4.](#)), l'analyse est basée sur les volumes de dilution.

1.3. CRITÈRES D'ÉTUDES

La dilution survenant suite à la fuite non isolable d'un tube d'échangeur de chaleur est classée en tant qu'évènement PCC4.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr sont démontrées (voir paragraphe 2.1.2 de la section 15.0.2) par la vérification des critères techniques d'acceptation suivants :

- pour l'état contrôlé :
 - le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 1,0$;
 - l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme ;
 - les rejets radiologiques restent tolérables ;
 - L'inventaire en eau est stable.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - le cœur est sous-critique : $k_{eff} < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm) ;
 - l'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement ;
 - les rejets radiologiques restent tolérables.

1.4. MOYENS DE MITIGATION DE L'ACCIDENT

Les moyens de mitigation suivants sont mis en œuvre :

- la condamnation administrative de l'appoint automatique des bâches RRI par le système SED dans les états AN/RIS-RA dépressurisé (Pression du RCP inférieure à 7 bar abs), API et APR ;

- l'intervention d'actions automatiques sur bas niveau \square des bâches RRI.

Dans ces conditions \square le cœur reste sous-critique.

Par ailleurs, l'opérateur est orienté vers la recherche d'une fuite sur le train RRI affecté et, identifie et isole la source de dilution.

Au titre de la robustesse, les mesures manuelles par titrimétrie réalisées toutes les huit heures ainsi que la mesure automatique en continu par le boremètre REN peuvent également intervenir pour détecter une éventuelle dilution, en particulier pour des débits de dilution faibles \square . La source de dilution est isolée depuis la salle de commande ou par action locale. En parallèle, la sous-criticité du cœur est augmentée par une borication via le RBS initiée par l'opérateur à partir de la salle de commande. Compte tenu du volume de dilution limité, il est à noter qu'un seul train RBS suffit à compenser l'effet de la dilution.

2. MÉTHODES ET HYPOTHÈSES

Choix de l'aggravant et de la maintenance préventive

\square

Aucune maintenance préventive pénalisant l'accident n'est identifiée.

2.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – ÉTUDE DES PHASES COURT ET MOYEN TERMES

2.1.1. Méthodes d'analyse

Un bilan de masse sur le fluide primaire est effectué afin de calculer le volume d'eau claire nécessaire pour atteindre la criticité. Ce bilan est réalisé sur le cas enveloppe tous états C, D et E, et ce pour chaque cycle de la première gestion FA3 et chaque épuisement considéré.

Le cas le plus pénalisant correspond à la situation pour laquelle le volume primaire est minimal (niveau $\frac{3}{4}$ boucle) et la concentration en bore critique maximale (le débit de dilution et la concentration en bore initiale étant fixés). Dans ce cas, le volume critique d'eau claire injecté est le plus faible.

Sur la base des volumes critiques calculés, il s'agit de vérifier que le cœur reste sous-critique durant tout l'accident.

Le code de calcul utilisé pour l'étude de l'accident jusqu'à l'état contrôlé est le code \square . Ce code est décrit en Annexe 15A, ainsi que sa base de qualification.

2.1.2. Conditions initiales

L'homogénéité du fluide primaire dans la cuve est assurée par une pompe du circuit de refroidissement à l'arrêt.

L'analyse s'appuie sur un volume maximal de \square m³ d'eau claire.

Aux conditions initiales de l'accident – dilution suite à la rupture non isolable d'un tube d'échangeur de chaleur – la pression du RRI est au-dessus de la pression de fonctionnement de l'échangeur de chaleur concerné (pression du primaire en mode recirculation via le RIS-RA en mode RA). Dans cette situation, les quatre pompes primaires sont à l'arrêt. La concentration initiale en bore est celle requise pour l'arrêt pour rechargement ou intervention.

Cette concentration en bore correspond à la concentration en bore minimale de l'IRWST (voir sous-chapitre 15.1) qui est de \square ppm. Cette donnée est exprimée en ppm de bore naturel, non enrichi en B10.

Le volume minimal d'eau dans le circuit primaire est de \square m³ dans la situation niveau $\frac{3}{4}$ boucle (cas pénalisant).

Du point de vue des conditions thermohydrauliques et du volume primaire, l'état C3 est l'état enveloppe.

2.2. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – ÉTUDE DE LA PHASE LONG TERME

Pour l'analyse à long terme de l'accident jusqu'à l'état d'arrêt sûr, aucune étude explicite n'est réalisée.

3. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

3.1. DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR À L'ÉTAT CONTRÔLÉ – CONCLUSIONS RELATIVES AUX PHASES COURT ET MOYEN TERMES

Les concentrations en bore critiques pour chaque épuisement et chaque cycle de la première gestion FA3, puissance nulle à froid (1 bar et 15 °C) avec toutes les grappes insérées sont données dans le tableau [TAB-15.2.4p.1](#). \square .

En tenant compte de ces concentrations en bore critiques, de la concentration en bore minimale de l'IRWST, d'un volume primaire minimal au niveau $\frac{3}{4}$ boucle, les volumes critiques – c'est-à-dire les volumes d'eau claire à injecter pour atteindre le retour à la criticité – sont donnés dans le tableau [TAB-15.2.4p.2](#).

Le cas pénalisant correspond au cycle \square , pour lequel le volume critique \square est supérieur au volume maximal d'eau claire injecté au cours de l'accident (voir [§ 1.4.](#)). Par conséquent, le respect de la sous-criticité du cœur pendant l'accident est garanti. De plus, compte tenu du volume maximal d'eau claire injecté, la concentration moyenne en bore minimale atteinte en fin de dilution est de \square . La différence de \square avec la concentration en bore critique maximale permet de garantir une sous-criticité supérieure à 1000 pcm pendant l'accident.

D'autre part, au titre de la robustesse, les mesures manuelles par titrimétrie toutes les huit heures ainsi que la mesure automatique en continu par le boremètre REN peuvent également intervenir pour détecter une éventuelle dilution, en particulier pour des débits de dilution faibles \square . L'opérateur isole la source de dilution depuis la salle de commande ou par action locale. Compte tenu du volume de dilution limité, il est à noter qu'un seul train RBS suffit à compenser l'effet de la dilution (voir [§ 1.4.](#)).

Compte tenu des conditions du scénario accidentel considéré (cumul du MDTE + aggravant \square), la dilution commence par une phase de remplissage de la boucle endommagée par de l'eau claire avant d'atteindre l'entrée cuve. Le mélange d'eau claire et d'eau borée dans l'espace annulaire et le plénum inférieur s'étant réduit suite à la perte de la pompe RIS, la concentration en bore dans le cœur peut présenter des hétérogénéités susceptibles de pénaliser le bilan des marges à la criticité. Ces effets ne remettent pas en cause les conclusions de cette justification de sûreté : en effet, la marge correspondant à l'écart entre la concentration en bore critique et la concentration en bore moyenne après injection du volume maximal d'eau claire au cours de l'accident, \square , permet d'assurer le respect de la sous-criticité.

Les critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 1.3.](#) sont vérifiés.

L'état contrôlé est atteint :

- la sous-criticité du cœur ($keff < 1,0$) est garantie tout au long de l'accident ;
- la puissance évacuée est par conséquent inchangée par rapport à l'état initial et correspond à la puissance résiduelle ;
- aucun rejet radioactif n'est produit ;
- l'inventaire en eau est stable.

3.2. DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ À L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR – CONCLUSIONS RELATIVES À LA PHASE LONG TERME

Les critères techniques d'acceptation présentés dans le [§ 1.3.](#) sont vérifiés.

L'état d'arrêt sûr est atteint :

- une sous-criticité minimale de 1000 pcm est maintenu compte tenu du volume de dilution limité ;
- concernant l'évacuation de la puissance résiduelle, réalisée par le RIS-RA en mode RA, ce scénario est couvert par celui étudié dans la section 15.2.2w. L'évacuation de la puissance étant durable pour l'étude du transitoire de perte d'un train RIS-RA en mode RA décrite dans la section 15.2.2w, elle le sera aussi pour ce scénario ;
- aucun rejet radioactif n'est produit.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4P

PAGE 8/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] EPR FA3 – Dilution homogène par rupture d'un tube d'échangeur de chaleur (états C à E) – Justification du débit retenu dans l'analyse de sûreté Note FRAMATOME – PEPC-F DC 15 G BPE



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4P

PAGE 9/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4P.1 DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON
ISOLABLE D'UN TUBE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR –
CONCENTRATIONS EN BORE CRITIQUES**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4P

PAGE 10/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.2.4P.2 DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON
ISOLABLE D'UN TUBE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR –
VOLUMES CRITIQUES**

□

SOMMAIRE

.15.2.4Q BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (JUSQU'À DN 250) À L'EXTÉRIEUR OU À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C, D, E).	16
1. ÉTATS C, D	16
1.1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT	16
1.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	16
1.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	16
1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	16
1.3. MOYENS DE PROTECTION	17
1.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLE	17
1.4.1. MÉTHODE	17
1.4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	17
1.5. RÉSULTATS	21
1.5.1. BRÈCHE SITUÉE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE PRIMAIRE	21
1.5.2. BRÈCHE SITUÉE À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE PRIMAIRE	34
1.5.3. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE	41
1.6. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION	42
1.6.1. LISTE DES MODIFICATIONS	42
1.6.2. BRÈCHE SITUÉE A L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE PRIMAIRE	42
1.6.3. BRECHE SITUÉE A L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE PRIMAIRE	50
1.6.4. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLÉMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION	53
1.7. CONCLUSION	53
2. ÉTAT E	54
2.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT	54
2.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES	54
2.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT	54
2.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES	55
2.3. MOYENS DE PROTECTIONS	56

2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES	56
2.4.1. ÉTAT INITIAL	56
2.4.2. CHOIX DU CRITÈRE DE L'AGGRAVANT	57
2.4.3. CHOIX DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	57
2.4.4. HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES	57
2.5. ANALYSE – ÉTAT E	59
2.5.1. CAS « BRÈCHE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE »	59
2.5.2. CAS « BRÈCHE À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE »	61
2.6. CONCLUSION – ÉTAT E	62
LISTE DES RÉFÉRENCES.	63
A- -15.2.4Q.1 ANNEXE : DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS.	146

TABLEAUX :

TAB-15.2.4Q.1	CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE LORS DES ÉTATS D'ARRÊT C, D ET E BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES	64
TAB-15.2.4Q.2	MOMENTS D'ENTRÉE DANS LES ÉTATS C, D ET E	66
TAB-15.2.4Q.3	CONFIGURATIONS DE DÉMARRAGE PAR L'OPÉRATEUR DES POMPES ISBP ET DES TRAINS RIS-RA EN MODE RA À DÉBIT RÉDUIT POUR LES BRÈCHES ARRÊTANT LES TRAINS RIS-RA – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE	67
TAB-15.2.4Q.4	CONFIGURATIONS DE DÉMARRAGE PAR L'OPÉRATEUR DES POMPES ISBP ET DES TRAINS RIS-RA EN MODE RA À DÉBIT RÉDUIT POUR LES BRÈCHES ARRÊTANT LES TRAINS RIS-RA – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE	68
TAB-15.2.4Q.5	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT C1 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)	69
TAB-15.2.4Q.6	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHESES INTERMEDIAIRE).....	70
TAB-15.2.4Q.7	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)	71
TAB-15.2.4Q.8	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)	72
TAB-15.2.4Q.9	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE).....	73
TAB-15.2.4Q.10	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS- ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)	74

TAB-15.2.4Q.11	CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE LORS DES ÉTATS D'ARRÊT C, D ET E	75
TAB-15.2.4Q.12	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT C1 MOYEN TERME.....	77
TAB-15.2.4Q.13	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME	78
TAB-15.2.4Q.14	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR.....	79
TAB-15.2.4Q.15	SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS- ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT	80
TAB-15.2.4Q.16	CAS HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE TUBE DE TRANSFERT MAINTENU OUVERT BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE EN CAS DE PERTE D'UN DIESEL DE SECOURS PRINCIPAL	81
TAB-15.2.4Q.17	CAS CHARGEMENT- DÉCHARGEMENT TUBE DE TRANSFERT MAINTENU OUVERT BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE EN CAS DE PERTE D'UN DIESEL DE SECOURS PRINCIPAL	82
TAB-15.2.4Q.18	CAS HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE TUBE DE TRANSFERT MAINTENU OUVERT BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE EN CAS DE DEFAILLANCE A L'ARRET MANUEL D'UN TRAIN RIS-RA.....	83
TAB-15.2.4Q.19	CAS CHARGEMENT- DÉCHARGEMENT TUBE DE TRANSFERT MAINTENU OUVERT BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE EN CAS DE DEFAILLANCE A L'ARRET MANUEL D'UN TRAIN RIS-RA.....	84

FIGURES :

FIG-15.2.4Q.1	BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC.....	85
----------------------	---	-----------

FIG-15.2.4Q.2 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPERATURES EN BRANCHES CHAUDES.....	86
FIG-15.2.4Q.3 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES)	87
FIG-15.2.4Q.4 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHESES INTERMÉDIAIRE) – ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA BRÈCHE	88
FIG-15.2.4Q.5 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME (BASÈ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE	89
FIG-15.2.4Q.6 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DU DEBIT DE L'ISMP	90
FIG-15.2.4Q.7 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION	91
FIG-15.2.4Q.8 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (<DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS	

C ET D) – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPÉRATURES EN BRANCHES CHAUDES 92

FIG–15.2.4Q.9 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES 93

FIG–15.2.4Q.10 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU DÉBIT À LA BRÈCHE..... 94

FIG–15.2.4Q.11 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE 95

FIG–15.2.4Q.12 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DU DEBIT DE L’ISMP 96

FIG–15.2.4Q.13 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC 97

FIG–15.2.4Q.14 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS

C ET D) – SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPÉRATURES EN BRANCHES CHAUDES	98
FIG–15.2.4Q.15 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES	99
FIG–15.2.4Q.16 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (<DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA BRÈCHE.....	100
FIG–15.2.4Q.17 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE	101
FIG–15.2.4Q.18 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DES DÉBITS ISMP ET ISBP	102
FIG–15.2.4Q.19 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L’OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE A LA SATURATION BC	103

FIG-15.2.4Q.20 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPERATURES EN BRANCHES CHAUDES.....	104
FIG-15.2.4Q.21 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE) – BRÈCHE DN250 ISOLEE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – BRÈCHE DN250 ISOLEE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA PRESSION PRESSURISEUR ET DES DEBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES.....	105
FIG-15.2.4Q.22 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA BRÈCHE.....	106
FIG-15.2.4Q.23 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE.....	107
FIG-15.2.4Q.24 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES	

INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLEE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DU DÉBIT DE L'ISMP	108
FIG–15.2.4Q.25 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC.....	109
FIG–15.2.4Q.26 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) - BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE – ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPERATURES EN BRANCHE CHAUDE	110
FIG–15.2.4Q.27 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) — BRÈCHE DN250 NON ISOLEE – ÉVOLUTION DE LA PRESSION PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES	111
FIG–15.2.4Q.28 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE – ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA BRÈCHE.....	112
FIG–15.2.4Q.29 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE – ÉVOLUTION DE	

LA PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE**RÉSIDUELLE 113****FIG-15.2.4Q.30 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA****(\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS****C ET D) BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3****MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES****INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE – ÉVOLUTION DES****DÉBITS ISMP ET ISBP..... 114****FIG-15.2.4Q.31 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA****(\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS****C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3****MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES****INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLEE AUTOMATIQUEMENT –****ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE A LA****SATURATION BC 115****FIG-15.2.4Q.32 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA****(\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS****C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3****MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES****INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT –****ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPERATURES EN****BRANCHES CHAUDES 116****FIG-15.2.4Q.33 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA****(\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS****C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3****MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES****INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT –****ÉVOLUTION DE LA PRESSION PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS****LES BOUCLES PRIMAIRES 117****FIG-15.2.4Q.34 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA****(\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS****C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3****MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES****INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT –**

ÉVOLUTION DE LA PRESSION PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES – ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA BRÈCHE 118

FIG–15.2.4Q.35 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DE LA PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE 119

FIG–15.2.4Q.36 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DU DÉBIT DE L'ISMP 120

FIG–15.2.4Q.37 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC 121

FIG–15.2.4Q.38 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES EN BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES 122

FIG–15.2.4Q.39 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DES DÉBITS BOUCLES ET DE LA PRESSION PRIMAIRE 123

FIG–15.2.4Q.40 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS

C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DU DÉBIT BRÈCHE ET DE LA PRESSION PZR.....	124
FIG–15.2.4Q.41 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE ET DU NIVEAU CUVE	125
FIG–15.2.4Q.42 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DES DÉBITS ISMP ET DE LA PRESSION GV	126
FIG–15.2.4Q.43 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE A LA SATURATION BC.....	127
FIG–15.2.4Q.44 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA PRESSION PRIMAIRE ET DES TEMPÉRATURES EN BRANCHES CHAUDES.....	128
FIG–15.2.4Q.45 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA PRESSION PZR ET DES DÉBITS BOUCLES.....	129
FIG–15.2.4Q.46 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DU NIVEAU CUVE ET DU DÉBIT BRÈCHE.....	130
FIG–15.2.4Q.47 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L’INTÉRIEUR OU À L’EXTÉRIEUR DE L’ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN	

TERME – ÉVOLUTION DE LA PRESSION GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE	131
FIG–15.2.4Q.48 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DES DEBITS ISMP ET DU DÉBIT SOUPAPE PZR.....	132
FIG–15.2.4Q.49 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLEE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC	133
FIG–15.2.4Q.50 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES EN BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES	134
FIG–15.2.4Q.51 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DES DÉBITS BOUCLES ET DE LA PRESSION PRIMAIRE	135
FIG–15.2.4Q.52 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DU DÉBIT BRÈCHE ET DE LA PRESSION PZR.....	136
FIG–15.2.4Q.53 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3	

MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE ET DU NIVEAU CUVE	137
FIG–15.2.4Q.54 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DES DÉBITS ISMP ET DE LA PRESSION GV	138
FIG–15.2.4Q.55 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC	139
FIG–15.2.4Q.56 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES EN BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES	140
FIG–15.2.4Q.57 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DES DÉBITS BOUCLES ET DE LA PRESSION PRIMAIRE	141
FIG–15.2.4Q.58 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DU DÉBIT BRÈCHE ET DE LA PRESSION PZR	142
FIG–15.2.4Q.59 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS	

C ET D) – BRÈCHE EXTERIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3**MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT –****ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE ET DU NIVEAU****CUVE 143****FIG–15.2.4Q.60 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA****(≤DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS****C ET D) – BRÈCHE EXTERIEUR ENCEINTE – SOUS-ÉTATS CB2/CB3****MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE AUTOMATIQUEMENT –****ÉVOLUTION DES DÉBITS ISMP ET DE LA PRESSION GV 144****FIG–15.2.4Q.61 ÉTAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES PISCINES BR****ET BK..... 145**



.15.2.4Q BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (JUSQU'À DN 250) À L'EXTÉRIEUR OU À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C, D, E)

1. ÉTATS C, D

Cette étude a été réalisée en deux étapes. Une première étude a été menée en se basant sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (cf. Annexe 15B). Puis, l'analyse des modifications introduites ultérieurement a conduit à reprendre une partie de cette étude.


1.1. DÉFINITION ET CAUSES DE L'ACCIDENT

La brèche sur le RIS en mode RA est définie comme une brèche équivalente à une brèche de diamètre nominal inférieur ou égal à 250 mm (surface correspondante inférieure ou égale à 390 cm²), située dans l'enveloppe du circuit RIS-RA en mode RA. La brèche est supposée isolable, ce qui signifie qu'elle est localisée :

- En aval du 2^{ème} organe d'isolement (vanne coudée ) , sur la ligne d'aspiration du RIS-RA connectée en branche chaude,
- Et en amont du clapet anti-retour , sur la ligne de refoulement, connectée au piquage d'injection RIS en branche froide.

La brèche peut être située soit à l'intérieur de l'enceinte du Bâtiment Réacteur, soit à l'extérieur, dans le BAS (Bâtiment des Auxiliaires de Sauvegarde).

L'accident, considéré comme un événement PCC-4, se produit dans les états d'arrêt C et D.

Les très petites brèches sont prises en compte dans le dimensionnement des seuils de protection IS et arrêt des trains RIS-RA . Pour ces brèches, la perte d'inventaire en eau est compensée par le RCV et les seuils de protection ne sont pas sollicités. Les brèches étudiées dans la présente section sont donc celles qui ne sont pas compensables par le RCV.

1.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

1.2.1. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

Une brèche se produit sur un train RIS-RA en mode RA à l'instant initial. Les états initiaux des différents états traités dans cette section sont présentés dans le [§ 1.4.2.1](#). Suivant la taille de la brèche qui apparaît, le signal d'Injection de Sécurité peut apparaître de même que le signal d'arrêt des trains RIS-RA. Il est alors nécessaire que l'inventaire en eau suite à l'ouverture de la brèche reste suffisant et que la puissance résiduelle puisse être évacuée à long terme.

Il est fait l'hypothèse que le MDTE se produit simultanément avec l'initiateur (donc à l'instant initial), conformément aux règles détaillées dans la section 15.0.2.

1.2.2. CRITÈRES D'ÉTUDES

Les objectifs et critères de sûreté à respecter sont présentés dans la section 15.0.2.

Les critères techniques d'acceptation à respecter sont les critères relatifs aux études d'APRP présentés ci-dessous :

- Des dommages limités sur certains assemblages combustibles sont acceptés :
 - La température maximale de gaine doit rester inférieure à 1200 °C.
 - L'oxydation maximale de la gaine doit rester inférieure à 17 % de l'épaisseur de gaine.

- La génération maximale d'hydrogène doit rester inférieure à 1 % de la quantité qui serait générée si la totalité du zirconium des gaines en regard de la hauteur active s'était oxydée.
- Le refroidissement à long terme du cœur doit être assuré en garantissant l'absence de cristallisation du bore dans le cœur et en tenant compte du phénomène de dilution hétérogène inhérente. La dilution hétérogène inhérente en cas de brèche sur un train RIS-RA en état C, D et E est traitée dans la section 19.2.4.

En pratique, la vérification des critères techniques d'acceptation définis pour les études d'APRP est déclinée, dans cette section, par la vérification des critères suivants :

- pas de découverture du cœur,
- La puissance est évacuée à long terme.
- La mise en place d'une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST doit être assurée lorsque la piscine BR est remplissable.

L'atteinte de l'état contrôlé et de l'état d'arrêt sûr doit être démontrée (voir section 15.0.2). Les critères techniques d'acceptation suivants doivent être vérifiés :

- pour l'état contrôlé :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 1,0$.
 - L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée à court terme.
 - L'inventaire en eau est stable.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.
- pour l'état d'arrêt sûr :
 - Le cœur est sous-critique : $keff < 0,99$ (sous-criticité minimale de 1000 pcm).
 - L'évacuation de la puissance résiduelle doit être garantie durablement.
 - Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.3. MOYENS DE PROTECTION


Les signaux de protection crédités dans l'étude sont le signal d'Injection de Sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA.

Les signaux d'isolement automatique du train affecté sur haut niveau dans le BAS et d'arrêt des pompes GMPP sur faible ΔP_{pompe} sont également crédités.

1.4. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B).

1.4.1. MÉTHODE

La démonstration s'effectue au moyen de calculs avec le code  simulant une brèche sur un train RIS-RA en mode RA dans les différents états C et D. Des argumentaires sont réalisés pour les aspects de recirculation de l'eau de la piscine du Bâtiment Réacteur vers l'IRWST.

1.4.2. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

1.4.2.1. État initial

L'accident se produit dans les états d'arrêt C et D.

Dans l'état C, l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les trains RIS-RA en mode RA, le circuit primaire étant :

- soit fermé (C1, C2 ou C2 Solide),
- soit entrouvert (C3).

Quatre sous-états de l'état C3, sont définis :

- primaire fermé : état Ca4,
- primaire refermable : état Cb1,
- après rupture de l'intégrité primaire, primaire partiellement refermable : état Cb2,
- couvercle de cuve dégoujonné mais non levé : état Cb3.

Dans les états C1, C2, C2 solide et C3, au moins 2 GV sont disponibles pour évacuer la puissance résiduelle, si nécessaire. Ils sont en attente, et ne participent pas au refroidissement du CPP (turbine à l'arrêt, VDA fermées).

L'état D débute à la levée du couvercle de cuve. A partir de ce moment, le primaire est ouvert sur la piscine du Bâtiment Réacteur.

Les principales caractéristiques à l'instant initial des états C et D prises en compte pour l'étude sont présentées dans le tableau [TAB-15.2.4q.1](#). Les caractéristiques sont prises lors du passage à l'arrêt de la tranche de façon à maximiser la puissance résiduelle.



Dans les états C1 à C2 solide, la concentration initiale en bore du primaire est supérieure ou égale à la concentration en bore d'arrêt à froid.

En états C3 et D, la concentration initiale en bore du primaire est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

1.4.2.2. Evénement initiateur

La brèche est postulée au point le plus bas du circuit RIS-RA de façon à maximiser le poids de colonne d'eau et par conséquent le débit gravitaire à la brèche.

Elle est supposée se produire de façon instantanée.

Seules les brèches non compensables par le RCV sont considérées dans la présente section.

1.4.2.3. Hypothèses systèmes fluides et régulations

1.4.2.3.1. Trains RIS-RA

Le nombre de trains RIS-RA initialement en fonctionnement dans les états C et D est présenté dans le tableau [TAB-15.2.4q.1](#).

En cas de MDTE, le relestage des trains RIS-RA en mode RA est considéré comme automatique .

De façon conservatrice, le train RIS-RA rupté n'est pas valorisé pour le refroidissement du circuit primaire : ce train peut éventuellement être perdu dans le cas où la brèche se produit sur le piquage branche chaude (risque d'aspiration d'incondensables via la brèche pouvant endommager la pompe ISBP).

Le redémarrage des trains RIS-RA lorsque ceux-ci ont été arrêtés sur très faible marge à la saturation (Min2p) pour les états C1, C2 et C2 Solide ou très bas niveau en branche chaude (Min2p) pour les états C3 et D est réalisé lorsque la température des branches chaudes reste inférieure à 180° C.

Suivant les états considérés, les trains RIS-RA peuvent être redémarrés en mode RA ou en mode RA à débit réduit [1].

1.4.2.3.2. Injection de sécurité

Les systèmes ISMP sont classés F1A.

La validation du permissif P14 pour la connexion du RIS-RA en mode RA a les conséquences suivantes :

- Les grandes lignes à débit minimum sont ouvertes.
- Le démarrage automatique des pompes ISBP sur signal IS est inhibé, les ISBP fonctionnant soit en mode RA, soit en mode ISBP [1].

Lorsque le permissif P15 est validé, le démarrage automatique de l'ISBP (classé F2) est valorisé dans les cas où il est pénalisant. Il a lieu lorsque le signal IS sur bas niveau boucle a été émis et si [1] le niveau d'eau dans le primaire reste inférieur à 3/4 boucle.

En conséquence :

- Seules les pompes ISMP sont créditées pour l'appoint d'eau automatique après signal IS.
- Les courbes d'injection des IS (MP ou BP) sont prises minimales (lignes à débit minimum ouvertes pour les ISMP), lorsqu'il s'agit de pénaliser la reconstitution de l'inventaire en eau.
- Les courbes d'injection sont prises maximales lorsqu'il s'agit de pénaliser les effets de vidange de l'IRWST.

Il est à noter qu'une température d'injection conservatrice de l'ISMP [1] est prise en compte afin de pénaliser l'action de refroidissement de ces pompes. Cette température est basée sur la température maximale de l'IRWST [1] à laquelle est ajouté l'échauffement du fluide par les pompes ISMP [1].

La température d'injection de l'ISBP est choisie de manière conservatrice [1].

De façon conservatrice, l'injection de la pompe ISMP associée au train rupté est supposée perdue à la brèche.

1.4.2.3.3. Régulations

Dans les états C1, C2 et C2 Solide, les chaufferettes sont maintenues en service, de façon conservatrice jusqu'à un niveau pressuriseur nul de manière à pénaliser la puissance à évacuer.

Pour l'ensemble des états C et D, les régulations de niveau d'eau dans le primaire ne sont pas prises en compte dans la séquence accidentelle, afin de pénaliser l'inventaire en eau du circuit primaire.

1.4.2.3.4. Générateurs de Vapeur

Il est considéré que 2 GV sont disponibles du début de l'état C1 jusqu'à l'état C3 inclus.

Un BTGV de 10% est pris en compte dans les états C1, C2 et C2 Solide afin de minimiser la masse d'eau primaire initialement présente.

Dans les états C3 et D, l'état initial à 3/4 boucle n'est pas pénalisé par une réduction explicite du volume des tubes GV : lorsque le primaire est ouvert, lors de la phase moyen terme, le remplissage d'un GV à volume réduit est moins pénalisant pour les bilans d'eau, vis-à-vis du niveau minimal à conserver dans l'IRWST.

La prise en compte du BTGV n'est donc pas considérée pour l'étude en états C3/D.

- Le démarrage automatique de l'ASG sur bas niveau GV (Min2p) est crédité.

- La pression d'ouverture des vannes d'isolement du VDA est initialement de \square bar abs à laquelle est ajoutée une incertitude de \square bar. La pression d'ouverture des vannes d'isolement du VDA est \square bar abs.

1.4.2.4. Signaux de protection

1.4.2.4.1. Signaux d'Injection de Sécurité et d'arrêt des trains RIS-RA

Les caractéristiques de ces signaux sont les suivantes :

- états C1, C2 et C2 Solide :
 - signal IS par faible marge à la saturation en branche chaude (seuil Min1p) dans 2 boucles sur 4 \square ,
 - délai entre le franchissement du seuil de faible marge à la saturation en branche chaude (seuil Min1p) et le signal IS \square ,
 - délai entre le signal d'IS et l'obtention du plein débit d'IS \square ,
 - signal d'arrêt automatique des 4 trains RIS-RA en mode RA sur très faible marge à la saturation en branche chaude (seuil Min2p) \square ,
 - Le délai d'arrêt de la pompe ISBP, défini par l'intervalle entre l'émission du signal d'arrêt et l'arrêt total de la pompe, est pris égal de manière conservative à \square minute.

Une incertitude sur la mesure de marge à la saturation en pression est prise en compte. L'incertitude est considérée en ambiance dégradée \square , de sorte à être enveloppe à la fois pour les brèches à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte. Afin de retarder l'apparition du signal d'IS, une incertitude de \square bar est retenue.

- états C3 et D (permissif P15 validé) :
 - signal IS sur bas niveau en branche chaude (seuil Min1p) dans 2 boucles sur 4 \square ,
 - délai entre le franchissement du seuil de bas niveau boucle et le signal IS \square ,
 - délai entre le signal d'IS et l'obtention du plein débit d'IS \square ,
 - signal d'arrêt automatique des 4 trains RIS-RA en mode RA sur très bas niveau en branche chaude (seuil Min2p) dans 2 boucles sur 4 \square .
 - Le délai d'arrêt de la pompe ISBP, défini par l'intervalle entre l'émission du signal d'arrêt et l'arrêt total de la pompe, est pris égal de manière conservative à \square minute.

Une incertitude sur la mesure de niveau boucle est prise en compte. L'incertitude est considérée en ambiance normale \square , même dans le cas d'une brèche à l'intérieur de l'enceinte, dans la mesure où le signal d'IS est sollicité suffisamment rapidement pour assurer que le capteur soit dans une ambiance normale. Afin de minimiser le volume d'eau présent entre les seuils de bas niveau boucle et de très bas niveau boucle, et par conséquent d'obtenir un arrêt des trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement au plus tôt, l'incertitude choisie est de \square cm.

Ces signaux sont tous deux classés F1A.

1.4.2.4.2. Arrêt des pompes primaires

Pour les états C1, C2 et C2 solide, les GMPP 1 et 4 sont à l'arrêt. Les GMPP 2 et 3 seuls demeurent en fonctionnement. Ils sont stoppés sur le signal de bas ΔP_{pompe} si le signal IS a été préalablement émis. Les hypothèses associées sont les suivantes :

- seuil fixé à $\square\%$ ΔP_{pompe} nominal associé à une incertitude de \square bar (en ambiance dégradée),
- délai entre seuil et signal d'arrêt des pompes : \square s.

En cas de cumul MDTE, l'arrêt des pompes primaires est concomitant avec l'initiateur.

1.4.2.4.3. Signal d'isolement du train RIS-RA en mode RA sur haut niveau puisard BAS

Lorsqu'un haut niveau puisard est détecté dans un BAS, le train RIS-RA en mode RA en fonctionnement correspondant est isolé via la manœuvre automatique des vannes [1]. Pour une brèche de taille DN250, le délai à partir de l'instant initial pour l'atteinte du signal est de :

- [1] s pour les états C1, C2 et C2 solide,
- [1] s pour les états C3 et D.

Le temps de manœuvre des vannes d'isolement, depuis l'émission de l'ordre de fermeture jusqu'à la fermeture complète, est égal à [1] s.

Ce signal est classé F1A.

1.4.2.5. Hypothèses coeur

[1]

1.4.2.6. Choix de l'aggravant et maintenance préventive

Dans les états C et D, aucune maintenance n'est considérée sur les pompes ISMP. De même, aucune maintenance n'est envisagée pour les trains RIS-RA ainsi que sur les diesels.

Le cumul MDTE est pris en compte dans les hypothèses de l'accident. Si le choix de l'aggravant se porte sur un des diesels de secours, les conséquences possibles sont les suivantes :

- perte d'un train ISMP et d'un train ISBP secourus par le même diesel,
- perte d'une pompe ASG sur un GV,
- perte d'un VDA sur un GV après un délai de [1], rendant caduque la capacité d'évacuation de puissance par ce GV (concerne les états C1 à C3). Une action opérateur est toutefois envisageable pour actionner manuellement la VDA défailante, valorisable une heure après l'initiateur.

Il est fait l'hypothèse que le même diesel impacté par l'aggravant secourt un train ISMP, un train RIS-RA, une pompe ASG et un train VDA sur un des deux GV disponibles.

Un train ISMP étant de plus supposé perdu à la brèche, seuls deux trains ISMP sont disponibles.

Par ailleurs, le train RIS-RA rupté n'étant pas valorisé pour le refroidissement du circuit primaire, seuls deux trains RIS-RA sont disponibles pour l'évacuation de la puissance.

1.5. RÉSULTATS

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B).

1.5.1. BRÈCHE SITUÉE À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE PRIMAIRE


1.5.1.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

Dans l'ensemble des cas étudiés, un seul cas de calcul est réalisé pour montrer l'atteinte de l'état contrôlé et l'atteinte de l'état d'arrêt sûr. Ces calculs permettent de montrer que l'état contrôlé est obtenu avant que les actions opérateur ne soient prises en compte.

1.5.1.1.1. État C1

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.2.1.1.](#)

L'accident présenté dans le cadre de l'étude dans l'état C1 a les caractéristiques suivantes :

- Le MDTE est postulé à l'instant initial.
- La brèche simulée apparaît à l'instant initial de l'accident et correspond à la plus grande taille de brèche sur un train RIS-RA  (la plus pénalisante vis-à-vis de la vidange du primaire).

Les figures [FIG-15.2.4q.1](#) à [FIG-15.2.4q.6](#) présentent les variations des principales grandeurs physiques lors de l'accident de brèche sur un train RIS-RA en mode RA. Dans l'état C1, le signal d'Injection de Sécurité est atteint sur seuil de faible marge à la saturation en branche chaude (Min1p) 50,3 secondes après le début de l'accident. Suite au signal d'Injection de Sécurité, au moins 2 trains ISMP injectent effectivement dans le circuit primaire. Dans l'accident présenté, par conservatisme seule une pompe ISMP injecte dans le primaire.

De façon conservatrice, aucune action opérateur n'est réalisée entre l'instant initial de l'accident et 4h15 après le signal d'Injection de Sécurité (temps maximal nécessaire à l'opérateur pour réaliser le Test d'Intégrité Primaire et identifier le train rupté). La brèche est isolée 15350 secondes après le début de l'accident.

Il apparaît que sans aucune action opérateur (avant l'isolement de la brèche) et uniquement à partir des seuls moyens de protection F1A mis en place automatiquement, les paramètres primaires et secondaires sont stabilisés, en particulier :

- l'inventaire en eau du circuit primaire,
- les températures primaires,
- la pression primaire,
- la pression secondaire.

Le niveau d'eau présent dans la cuve ([FIG-15.2.4q.4](#)) assure le non-découvrement du cœur et la stabilité des paramètres primaires ([FIG-15.2.4q.2](#)) montre que la puissance résiduelle est évacuée.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.5.1.1.2. État C2

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.2.1.2.](#)

L'accident en état C2 est couvert par celui en état C1. En effet :

- La puissance résiduelle à évacuer est plus faible en état C2.
- Deux des quatre trains RIS-RA en mode RA en service initialement sont disponibles suite au MDTE et à l'initiateur du fait de la prise en compte de l'aggravant sur un diesel ne démarrant pas sur sollicitation et l'hypothèse faite que le train rupté ne participe pas à l'évacuation de la puissance. Pour les plus grandes tailles de brèche, ils sont arrêtés sur seuil de très faible marge à la saturation (Min2p). Leur fonctionnement jusqu'à leur arrêt automatique est favorable pour le refroidissement du primaire.
- La température initiale du circuit primaire est inférieure en état C2.
- Les appoints en eau disponibles en état C2 pour assurer le non découvrement du cœur sont identiques à ceux disponibles en état C1.

L'état C2 étant couvert par l'état C1, l'état contrôlé est également atteint en cas de brèche sur un train RIS-RA en mode RA en état C2.

Il est à noter que les brèches qui n'entraînent pas l'arrêt des trains RIS-RA en mode RA relestés suite au MDTE conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé : les 2 trains RIS-RA en mode RA sains relestés permettent d'évacuer en continu la puissance totale dans l'état C2 (cf. section 15.2.4a).

1.5.1.1.3. État C2 solide

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.2.1.3.](#)

Pour l'accident présenté dans le cadre de l'étude dans l'état C2 solide, les hypothèses relatives au MDTE et à la brèche sont identiques à celles de l'accident en état C1 (voir [§ 1.5.1.1.1.](#)).

Les figures [FIG-15.2.4q.7](#) à [FIG-15.2.4q.12](#) présentent les variations des principales grandeurs physiques lors de l'accident de brèche sur un train RIS-RA en mode RA. Dans l'état C2 solide, le signal d'injection de Sécurité est atteint sur seuil de faible marge à la saturation en branche chaude (Min1p) 7,1 secondes après le début de l'accident. Ce signal est atteint beaucoup plus rapidement que dans l'état C1 du fait d'un pressuriseur solide. Suite au signal d'Injection de Sécurité, au moins 2 trains ISMP injectent effectivement dans le circuit primaire. Dans l'accident présenté, par conservatisme seule une pompe ISMP injecte dans le primaire.

Deux des quatre trains RIS-RA en mode RA en service initialement sont disponibles et relestés suite au MDTE. Ils sont arrêtés sur signal de très faible marge à la saturation ($\Delta P_{sat} < \text{Min}2p$) qui est obtenu 313,3 secondes après le début de l'accident.

Comme en état C1, de façon conservative, aucune action opérateur n'est réalisée entre l'instant initial de l'accident et 4h15 après le signal d'Injection de Sécurité. La brèche est donc isolée 15307 secondes après le début de l'accident.

Il apparaît que sans aucune action opérateur (avant l'isolement de la brèche) et uniquement à partir des seuls moyens de protection F1A mis en place automatiquement, les paramètres primaires et secondaires sont stabilisés, en particulier :

- l'inventaire en eau du circuit primaire,
- les températures primaires,
- la pression primaire,
- la pression secondaire.

Le niveau d'eau présent dans la cuve ([FIG-15.2.4q.10](#)) assure le non-découvrement du coeur et la stabilité des paramètres primaires ([FIG-15.2.4q.8](#)) montre que la puissance résiduelle est évacuée.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du coeur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

Comme pour l'état C2, les brèches qui n'entraînent pas l'arrêt des trains RIS-RA en mode RA relestés suite au MDTE conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé.

1.5.1.1.4. État C3

1.5.1.1.4.1. Sous-état Cb1

Pour l'accident présenté dans le cadre de l'étude dans l'état Cb1, les hypothèses relatives au MDTE et à la brèche sont identiques à celles de l'accident en état C1 (voir [§ 1.5.1.1.1.](#)).

Les figures [FIG-15.2.4q.13](#) à [FIG-15.2.4q.18](#) présentent les variations des principales grandeurs physiques lors de l'accident de brèche sur un train RIS-RA en mode RA. Dans le sous-état Cb1, le signal d'injection de Sécurité est atteint sur seuil de bas niveau en branche chaude (Min1p) 18 secondes après le début de l'accident. Sur signal d'IS, les événements pressuriseur et cuve initialement ouverts sont refermés. Suite au signal d'Injection de Sécurité, au moins 2 trains ISMP injectent effectivement dans le circuit primaire. Dans l'accident présenté, par conservatisme seule une pompe ISMP injecte dans le primaire.

Deux trains RIS-RA en mode RA en service initialement sont relestés suite au MDTE. Un seul est cependant considéré car l'autre est rupté. Il est arrêté sur signal de très bas niveau en branche chaude (Min2p) qui est obtenu 37,0 secondes après le début de l'accident.

Comme en état C1, de façon conservatrice, aucune action opérateur n'est réalisée entre l'instant initial de l'accident et 4h15 après le signal d'Injection de Sécurité. La brèche est donc isolée 15318 secondes après le début de l'accident.

Il apparaît que sans aucune action opérateur (avant l'isolement de la brèche) et uniquement à partir des seuls moyens de protection F1A mis en place automatiquement, les paramètres primaires sont stabilisés, en particulier :

- l'inventaire en eau du circuit primaire,
- la pression primaire (ainsi que la pression secondaire),
- les températures primaires.

Le niveau d'eau présent dans la cuve ([FIG-15.2.4q.16](#)) assure le non découvrément du coeur et la stabilité des paramètres primaires ([FIG-15.2.4q.14](#)) montre que la puissance résiduelle est évacuée.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrément du coeur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2](#), est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

Il est à noter que les brèches qui n'entraînent pas l'arrêt du train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé. En effet, le train RIS-RA en mode RA restant en service permet d'évacuer la puissance totale dans l'état Cb1 du fait de l'augmentation de la pression primaire via le relestage des pompes ISMP, conduisant à des marges augmentées vis-à-vis des phénomènes de cavitation par rapport à la section 15.2.2w.

1.5.1.1.4.2. Sous-états Cb2/Cb3

Dans les sous-états Cb2/Cb3, le cas pénalisant qui est retenu correspond à celui qui prend en compte un cumul du MDTE (cumulé à l'instant initial conformément à la section 15.0.2).

Deux situations distinctes apparaissent suivant la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA en mode RA :

- **La brèche entraîne l'apparition du signal d'Injection de Sécurité mais ne conduit pas au signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA.** Dans ce cas, le seul train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE reste en fonctionnement. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une repressurisation partielle du circuit primaire (dépendant du degré d'ouverture de celui-ci) et permet une augmentation du niveau d'eau dans le primaire (le signal d'arrêt des trains n'ayant pas été atteint, l'injection des pompes ISMP entraîne une augmentation du niveau dans le primaire). L'inventaire en eau du circuit primaire se stabilise grâce à l'injection de l'ISMP et le niveau d'eau présent dans le circuit primaire lors de l'atteinte de l'état contrôlé assure le non-découvrément du coeur. Un train RIS-RA en mode RA permettant

d'évacuer la puissance totale dans l'état C3 (cf. [§ 1.5.1.1.4.1.](#)), les paramètres primaires et secondaires se stabilisent.

- **La brèche entraîne l'apparition des signaux d'Injection de Sécurité et d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA.** Dans ce cas, l'ensemble des trains RIS-RA en mode RA est arrêté. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une repressurisation partielle du circuit primaire (dépendant du degré d'ouverture celui-ci). Les éléments présentés dans le cadre du sous-état Cb1 sont applicables en états Cb2/Cb3 (cf. [§ 1.5.1.1.4.1.](#)) et les couvrent du fait d'une puissance résiduelle augmentée en état Cb1, en particulier les figures [FIG-15.2.4q.13](#) à [FIG-15.2.4q.18](#) avant l'isolement de la brèche primaire. Ainsi comme démontré dans le sous-état Cb1, la pression, la température et l'inventaire en eau du circuit primaire se stabilisent. Le niveau d'eau présent dans la cuve assure le non-découvrement du coeur et la puissance résiduelle est évacuée.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du coeur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Il apparaît que sans aucune action opérateur et uniquement à partir des seuls moyens de protection F1A mis en place automatiquement, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. Ainsi, l'état contrôlé est atteint dans l'ensemble des configurations présentées.

1.5.1.1.5. État D

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.2.1.5.](#)

Dans l'état D, le cas pénalisant qui est retenu correspond à celui qui prend en compte un cumul du MDTE (postulé à l'instant initial conformément à la section 15.0.2).

Suite à l'ouverture de la brèche sur un train RIS-RA en mode RA, le signal d'Injection de Sécurité apparaît. Cela conduit à la mise en service d'au moins 2 pompes ISMP qui injectent dans le circuit primaire.

Suivant la taille de la brèche qui apparaît sur le train RIS-RA en mode RA, deux situations distinctes se produisent :

- Le débit perdu à la brèche est supérieur au débit injecté dans le primaire (par les pompes ISMP).
- Le débit perdu à la brèche est inférieur ou égal au débit injecté dans le primaire (par les pompes ISMP).

Cas 1 : débit brèche supérieur au débit injecté dans le primaire

Dans le cas où le débit brèche reste supérieur au débit injecté par les pompes ISMP, le niveau d'eau dans le primaire se stabilise au niveau de la génératrice inférieure des branches chaudes. Le coeur reste couvert du fait d'un débit injecté (via les 2 pompes ISMP) supérieur au débit de vaporisation \dot{V} . Dans cette configuration, la puissance résiduelle est évacuée par la brèche et l'IS.

Suivant la taille de brèche, il est possible que le niveau primaire n'augmente pas malgré le démarrage des ISMP ; dans ce cas, l'ISBP en attente peut elle aussi démarrer automatiquement en mode débit réduit (signal F2 conçu pour la perte de source froide et non valorisé dans les études PCC, cf. [§ 1.4.2.3.2.](#)). Dans ce cas, l'injection dans le primaire se compose de 2 pompes ISMP et d'une pompe ISBP en mode automatique. Le débit à la brèche devient inférieur au débit injecté dans le primaire \dot{V} . Ce cas est traité dans le paragraphe suivant.

Cas 2 : débit brèche inférieur ou égal au débit injecté dans le primaire

Dans le cas où le débit brèche est égal au débit injecté par les pompes ISMP, le niveau d'eau dans le primaire reste stable et il n'y a pas de découvrement du coeur. Comme dans le cas 1, il est possible

que l'ISBP en attente démarre en plus des 2 pompes ISMP ce qui conduit à un débit injecté dans le primaire supérieur au débit brèche.

Dans le cas où le débit brèche reste inférieur au débit injecté par les pompes ISMP, le niveau d'eau dans le primaire augmente. Le cœur reste couvert.

Pour les tailles de brèche entraînant l'arrêt des trains RIS-RA sur bas niveau boucle, la puissance est évacuée par la brèche et l'IS. Pour les tailles de brèche n'entraînant pas l'arrêt des trains RIS-RA, la puissance est évacuée par les trains restant en service.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Il apparaît que sans aucune action opérateur, quelle que soit la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA en mode RA et uniquement à partir des seuls moyens de protection F1A mis en place automatiquement, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.2.2. est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.5.1.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

1.5.1.2.1. État C1

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au § 1.6.2.2.1.

L'accident présenté dans le cadre de l'étude dans l'état C1 à moyen terme a les mêmes caractéristiques que l'accident du § 1.5.1.1.1. (cf. FIG-15.2.4q.1 à FIG-15.2.4q.6).

Suite au signal d'Injection de Sécurité, l'opérateur rentre en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA) et réalise un Test d'Intégrité Primaire (T.I.P) afin d'identifier le train rupté et d'isoler la brèche.

Réalisation du T.I.P : L'opérateur procède à un isolement séquentiel de chaque train RIS-RA et observe les variations de niveau.

De façon conservatrice l'isolement de la brèche est retardé, ce qui est pénalisant en terme d'inventaire en eau. Au cours du T.I.P., l'opérateur teste chacun des 4 trains RIS-RA. De manière pénalisante, un délai maximal de 4h15, tenant compte du délai de 30 minutes pour la première action opérateur, des délais d'observation des paramètres primaires et du temps nécessaire pour effectuer les manoeuvres d'isolement et dés-isolement des trains, est considéré.

Suite à l'identification du train rupté, l'opérateur l'isole donc au plus tard 4h15 après le signal d'Injection de Sécurité, à 15350 secondes. La masse primaire augmente alors progressivement du fait de l'injection des pompes ISMP en service, ce qui entraîne l'augmentation de la pression primaire. La pression primaire se stabilise alors au moins à la pression de refoulement de l'ISMP. La pression secondaire se stabilise également. Il n'y a aucun découverture du coeur au cours du T.I.P (FIG-15.2.4q.4).

Parallèlement, l'ouverture des vannes du VDA des 2 GV disponibles dans le but de réaliser un refroidissement du primaire avec un gradient de 50C/h.

Dans l'état C1, aucun des 2 trains RIS-RA en mode RA disponibles initialement ne reste en service pour évacuer la puissance résiduelle suite au MDTE et à l'initiateur. La puissance résiduelle est évacuée par les GV disponibles, les températures des branches chaudes se stabilisent à des valeurs inférieures à °C (FIG-15.2.4q.8), rendant possible le redémarrage d'un train RIS-RA en mode RA en vue de l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme (il a été montré qu'un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale dans l'état C1, section 15.2.4a).

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrément du coeur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié.

L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.1.2.2. État C2

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.2.2.2.](#)

L'accident en état C2 est couvert par celui en état C1. En effet :

- La puissance résiduelle à évacuer est plus faible en état C2.
- Deux des quatre trains RIS-RA en mode RA en service initialement sont disponibles suite au MDTE et à l'initiateur du fait de la prise en compte de l'aggravant un diesel ne démarrant pas sur sollicitation et l'hypothèse faite que le train rupté ne participe pas à l'évacuation de la puissance. Pour les plus grandes tailles de brèche, ils sont arrêtés sur seuil de très faible marge à la saturation (Min2p). Leur fonctionnement jusqu'à leur arrêt automatique est favorable pour le refroidissement du primaire.
- La température initiale du circuit primaire est inférieure en état C2.
- Les appoints en eau disponibles en état C2 pour assurer le non découvrément du coeur sont identiques à ceux disponibles en état C1.

Il est à noter que les brèches pour lesquelles l'arrêt des trains RIS-RA en mode RA retestés suite au MDTE n'est pas réalisé, sont couvertes par la brèche présentée du fait de l'évacuation continue de la puissance totale par les trains restant en fonctionnement.

L'état C2 étant couvert par l'état C1, l'état d'arrêt sûr est également atteint en cas de brèche sur un train RIS-RA en mode RA en état C2.


1.5.1.2.3. État C2 solide


L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.2.2.3.](#)

Le cas présenté dans le cadre de l'étude dans l'état C2 solide à moyen terme a les mêmes caractéristiques que l'accident présenté au [§ 1.5.1.1.3.](#) (cf. [FIG-15.2.4q.7](#) à [FIG-15.2.4q.12](#)).

Suite au signal d'Injection de Sécurité, l'opérateur rentre en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA) et réalise un Test d'Intégrité Primaire (T.I.P) afin d'identifier le train rupté et d'isoler la brèche.

Réalisation du T.I.P en état C2 Solide : la même procédure est appliquée que celle présentée pour l'état C1 (cf. [§ 1.5.1.2.1.](#)).

Suite à la réalisation du T.I.P,  isole la brèche au plus tard 4h15 après le signal d'Injection de Sécurité à 15307 secondes. La masse primaire augmente alors progressivement du fait de l'injection des pompes ISMP en service, ce qui entraîne l'augmentation de la pression primaire. La pression primaire se stabilise alors au moins à la pression de refoulement de l'ISMP. Il n'y a aucun découvrément du coeur au cours du T.I.P ([FIG-15.2.4q.10](#)).

Parallèlement,  demande l'ouverture des vannes du VDA des 2 GV disponibles dans le but de réaliser un refroidissement du primaire avec un gradient de 50°C/h.

Comme en état C2, 2 des 4 trains RIS-RA en mode RA disponibles initialement sont en service pour évacuer la puissance résiduelle suite au MDTE et à l'initiateur. Ils sont arrêtés sur signal de très faible marge à la saturation ($\Delta P_{sat} < \text{Min}2p$) qui est obtenu 313,1 secondes après le début de l'accident.

La puissance résiduelle est évacuée par les GV disponibles, les températures des branches chaudes se stabilisent à des valeurs inférieures à \square °C ([FIG-15.2.4q.8](#)), rendant possible le redémarrage d'un train RIS-RA en mode RA en vue de l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme (il a été montré qu'un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale dans l'état C1 donc également dans l'état C2 solide pour lequel la puissance résiduelle est diminuée, section 15.2.4a).

Il est à noter que les brèches pour lesquelles l'arrêt des trains RIS-RA en mode RA retestés suite au MDTE n'est pas réalisé, sont couvertes par la brèche présentée du fait de l'évacuation continue de la puissance totale par les trains restant en fonctionnement.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du coeur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2](#), est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.1.2.4. État C3

1.5.1.2.4.1. Sous-état Cb1

L'accident analysé dans le cadre de l'étude dans le sous-état Cb1 à moyen terme est présenté dans les figures [FIG-15.2.4q.13](#) à [FIG-15.2.4q.18](#).

Suite au signal d'Injection de Sécurité, l'opérateur rentre en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA) et réalise un Test d'Intégrité Primaire (T.I.P) afin d'identifier le train rupté et d'isoler la brèche.

Réalisation du T.I.P en état Cb1 : la stratégie « Stabilisation appoint primaire pressurisable » est appliquée. L'opérateur procède à un isolement séquentiel de chaque train RIS-RA et observe les variations de niveau. L'opérateur ne teste que 3 trains (la brèche ne peut pas être portée par le train initialement en attente en mode IS) ; la durée du T.I.P est donc réduite mais de façon conservatrice, le temps maximal de 4h15 est retenu.

Suite à la réalisation du T.I.P, l'opérateur isole la brèche au plus tard 4h15 après le signal d'Injection de Sécurité à 15318 secondes. La masse primaire augmente alors progressivement du fait de l'injection des pompes ISMP en service, ce qui entraîne l'augmentation de la pression primaire. La pression primaire se stabilise alors au moins à la pression de refoulement de l'ISMP.

Parallèlement, l'opérateur abaisse la consigne des vannes du VDA des 2 GV disponibles à \square dans le but de réaliser un refroidissement du primaire avec un gradient de 50C/h. De manière conservatrice l'ouverture des vannes n'est valorisée que 4h15 après l'atteinte du signal d'IS.

Dans le sous-état Cb1, un seul des 3 trains RIS-RA en mode RA disponibles initialement est en service pour évacuer la puissance résiduelle suite au MDTE et à l'initiateur. Il est arrêté sur signal de très bas niveau en branche chaude (Min2p) qui est obtenu 37,0 secondes après le début de l'accident.

Il apparaît que bien que les vannes des VDA des 2 GV disponibles soient pleines ouvertes (pour réaliser le refroidissement à 50C/h), les températures des branches chaudes se stabilisent au moins à la température de saturation de la pression de refoulement de la pompe ISMP (\square), ce qui ne permet pas la remise en service des trains RIS-RA en mode RA en vue de l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme. En effet, la présence d'incondensables dans les tubes des GV disponibles bloque la circulation naturelle et ne permet pas l'évacuation complète de la puissance résiduelle : le fluide primaire passe à saturation.

Une fois les paramètres primaires stabilisés (température, pression), \square 2 actions :

- le démarrage d'un train RIS-RA en mode ISBP : Si le train démarré est le train affecté par l'aggravant, l'opérateur redémarre un autre train ISBP de façon à ce qu'un train ISBP injecte effectivement dans le primaire.
- un « Gavé-Ouvert » : L'opérateur ouvre les soupapes du pressuriseur.

La mise en place de ces 2 actions a pour conséquences :

- la dépressurisation du primaire,
- le refroidissement du primaire : Les températures des branches chaudes se stabilisent □ à une valeur inférieure à 180C.

□ peut alors redémarrer un train RIS-RA en mode RA à un débit réduit □ afin d'évacuer la puissance résiduelle à long terme. Si le train démarré est le train affecté par l'aggravant, □ redémarre un autre train RIS-RA en mode RA de façon à ce qu'un train RIS-RA en débit réduit évacue effectivement la puissance dans le primaire. La température du primaire se stabilise alors à une valeur inférieure à □.

Il est à noter que les brèches pour lesquelles l'arrêt du train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE n'est pas réalisé sont couvertes par la brèche présentée du fait de l'évacuation continue de la puissance totale par le train restant en fonctionnement (cf. section 15.2.2w). Dans ce cas la réalisation du Gavé-Ouvert n'est pas nécessaire pour permettre la connexion des trains RIS-RA en mode RA en fin de T.I.P et évacuer la puissance résiduelle à long terme.

Il n'y a pas de découverture du coeur au cours de l'accident ([FIG-15.2.4q.16](#)) ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration initiale en bore du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du coeur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.1.2.4.2. Sous-états Cb2/Cb3

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.2.2.4.3.](#)

Comme indiqué dans le [§ 1.5.1.1.4.2.](#), suivant la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA et le niveau d'eau initialement présent dans le primaire, 2 situations peuvent apparaître dans les sous-états Cb2/Cb3 :

- **La brèche entraîne l'apparition du signal d'Injection de Sécurité mais ne conduit pas au signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA.** Dans ce cas, il n'y a aucun découverture du coeur puisque le seuil d'arrêt des trains RIS-RA sur bas niveau boucle n'est pas atteint et le train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE reste en fonctionnement. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une repressurisation partielle du circuit primaire (dépendant du degré d'ouverture de celui-ci) et permet une augmentation du niveau d'eau dans le primaire (le signal d'arrêt des trains n'ayant pas été atteint, l'injection des pompes ISMP entraîne une augmentation du niveau dans le primaire). Il est à noter que dans les sous-états Cb2/Cb3, le succès d'un T.I.P pour identifier le train rupté ne peut être garanti, en raison de la faible ouverture du couvercle qui peut conduire □. Dans ce cas, le train portant la brèche ne peut être formellement identifié □. De fait, il ne peut être garanti que la brèche, bien qu'isolable, sera effectivement isolée □ au cours de la conduite. Dans le cas présent, l'isolement ou non de la brèche n'a pas d'impact sur l'évacuation de la puissance totale du fait que le train RIS-RA en mode RA relesté n'est pas arrêté. Un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale dans l'état C3 (cf. [§ 1.5.1.1.4.1.](#)). L'évacuation de la puissance totale dans les sous-états Cb2/Cb3 est par conséquent assurée. La recirculation d'eau entre la piscine BR et l'IRWST □ est décrite dans le paragraphe « Vidange de l'IRWST et remplissage de la piscine BR – Recirculation d'eau dans le BR » ci-dessous.

- **La brèche entraîne l'apparition des signaux d'Injection de Sécurité et d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA.** Dans ce cas, l'ensemble des trains RIS-RA en mode RA est arrêté. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une repressurisation partielle du circuit primaire (dépendant du degré d'ouverture de celui-ci). Dans le cadre de l'accident présenté, il est fait l'hypothèse que le primaire est fermé mis à part l'ouverture primaire causée par la brèche, de façon à obtenir l'échauffement du primaire le plus rapide. La brèche la plus pénalisante vis-à-vis de l'échauffement du primaire est la plus grande taille de brèche sur un train vis-à-vis de l'échauffement du primaire est la plus grande taille de brèche sur un train RIS-RA [] car elle conduit à la vidange la plus rapide du primaire et à l'échauffement le plus important. [] demande l'ouverture des vannes du VDA [] des 2 GV disponibles afin de stabiliser la température branche chaude, 30 minutes après le signal d'IS (1818 secondes après le début de l'accident pour cette brèche). [] démarre 2 trains RIS-RA en mode ISBP 30 minutes après le signal d'IS. Suivant les trains ISBP démarrés deux situations distinctes apparaissent :
 - **cas 1** : [] démarre le train rupté ainsi que le train affecté par l'aggravant (diesel ne démarrant pas sur sollicitation) en mode ISBP. Dans ce cas, aucun train RIS-RA en mode ISBP n'injecte effectivement dans le primaire (il est fait l'hypothèse pénalisante que la pompe ISBP du train rupté est perdue du fait de la dégradation des conditions dans le train rupté suite à l'ouverture de la brèche). Ce cas correspond à la configuration 1 du tableau [TAB-15.2.4q.3](#).
 - **cas 2** : toutes les autres configurations que celle présentée dans le Cas 1, le démarrage [] de 2 pompes ISBP conduit à l'injection effective dans le primaire d'au moins une pompe ISBP. Il s'agit des configurations 2 à 6 du tableau [TAB-15.2.4q.3](#).

cas 1 – configuration 1 du tableau [TAB-15.2.4q.3](#)

Dans le cas où [] démarre l'ISBP du train rupté ainsi que le train affecté par l'aggravant (diesel ne démarrant pas sur sollicitation), aucun train RIS-RA en mode ISBP n'injecte effectivement dans le primaire (cf. configuration 1 du tableau [TAB-15.2.4q.3](#)). La brèche est cependant isolée de façon fortuite par []. En effet, par définition de l'accident, la brèche – isolable – est nécessairement localisée sur la tuyauterie RIS-RA entre le deuxième organe d'isolement à l'aspiration [] et en amont du clapet anti-retour []. Le lignage en mode ISBP implique nécessairement la fermeture des vannes d'isolement []. Les clapets [] assurant l'isolement côté branche froide, la brèche est isolée du primaire.

Les figures [FIG-15.2.4q.19](#) à [FIG-15.2.4q.24](#) présentent l'évolution des paramètres physiques au cours d'un accident de brèche DN250 pour lequel la brèche est isolée 30 minutes après le signal d'IS et 2 pompes ISMP injectent dans le primaire. Aucune pompe ISBP n'injecte dans le primaire. Le temps mis par le primaire pour atteindre la température de 168°C en branche chaude est de 30 minutes environ une fois que la brèche a été isolée de façon involontaire par []. Dans le cas d'une brèche située à l'intérieur de l'enceinte et isolée 30 minutes après le signal d'IS, le niveau d'eau dans le primaire redevient supérieur à 3/4 boucle 35 minutes environ après le début de l'accident (5 minutes après l'isolement de la brèche). [] dispose d'une plage de 25 minutes (en supposant que [] réalise les premières actions au plus tard, 30 minutes après le signal d'IS) pour redémarrer 2 trains RIS-RA en mode RA en mode réduit. Dans le cas où les pompes ISBP démarrées sont la pompe affectée par l'aggravant et la pompe du train rupté, les 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit démarrés correspondent aux deux trains sains : ces deux trains démarrent donc effectivement. Suite au redémarrage de 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit, la température des branches chaudes du primaire se stabilise à une valeur inférieure à []°C.

Ainsi, dans cette configuration le cœur reste couvert ([FIG-15.2.4q.22](#)) et l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les trains RIS-RA remis en service par [] en mode RA à débit réduit.

cas 2 – configurations 2 à 6 du tableau [TAB-15.2.4q.3](#)

Dans toutes les autres configurations que celle présentée dans le Cas 1 (configurations 2 à 6 du tableau [TAB-15.2.4q.3](#)), le démarrage [] de 2 pompes ISBP conduit à l'injection effective dans le primaire d'au moins une pompe.

Les configurations 2 et 3 du tableau [TAB-15.2.4q.3](#) pour lesquelles redémarrerait la pompe ISBP du train rupté ainsi que la pompe d'un train sain, conduirait également à l'isolement fortuit de la brèche. Ces cas sont couverts par le Cas 1 (brèche isolée sans injection ISBP), car une pompe ISBP qui injecte dans le primaire conduit à une reconstitution de l'inventaire plus rapide et à une augmentation du délai opérateur pour le redémarrage de 2 trains RIS-RA en mode réduit (l'atteinte des 168°C est retardée du fait du refroidissement réalisé par la pompe ISBP et par l'augmentation de la masse primaire donc de son inertie thermique). Ainsi, comme démontré pour le cas 1, il n'y a pas de découverture du cœur au cours de l'accident. Dans ces deux configurations, les trains RIS-RA démarrés en mode RA à débit réduit sont le train affecté par l'aggravant et un train sain. Un seul train RIS-RA en mode RA à débit réduit est en fonctionnement et permet d'évacuer la puissance résiduelle à long terme et de maintenir les températures des branches chaudes à des valeurs inférieures à °C.

Pour toutes les autres configurations (configurations 4 à 6), au moins un train ISBP injecte dans le primaire et la brèche n'est pas isolée (le T.I.P n'est pas réalisé dans les sous-états Cb2/Cb3). La brèche n'étant pas isolée, suivant la taille de celle-ci, la dynamique d'échauffement du fluide primaire n'est pas identique (l'évacuation de puissance par la brèche dépend du débit extrait du primaire et donc de sa taille). Un spectre de brèche montre que quelle que soit la taille de la brèche qui arrête les trains RIS-RA sur signal de très bas niveau en branche chaude (Min2p), la température du fluide primaire en branche chaude se stabilise à une valeur inférieure à °C. L'atteinte d'un niveau d'eau à 3/4 boucle est réalisée au plus tard environ 40 minutes après le début de l'accident, dans le cas où une seule pompe ISBP injecte dans le primaire en plus des 2 pompes ISMP.

Les figures [FIG-15.2.4q.25](#) à [FIG-15.2.4q.30](#) présentent l'évolution des paramètres physiques au cours de l'accident pour lequel une pompe ISBP injecte dans le primaire et la brèche n'est pas isolée, dans le cas d'une brèche de taille DN250, taille de brèche la plus pénalisante vis-à-vis de la reconstitution de l'inventaire en eau.

n'a pas de contrainte de temps pour redémarrer 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit, dès que le niveau dans le primaire devient supérieur au niveau à 3/4 boucle car la température de stabilisation du primaire est inférieure à 180°C en branches chaudes.

Pour les configurations 4 et 5, l'opérateur démarre un train RIS-RA en mode RA sain à débit réduit ainsi que le train rupté. Un train RIS-RA en mode RA à débit réduit permet d'évacuer la puissance résiduelle à long terme et de maintenir les températures des branches chaudes à des valeurs inférieures à °C.

Pour la configuration 6, démarre les trains 1 et 4 en mode RA à débit réduit. Dans cette situation, aucun train RIS-RA en mode RA ne refroidit le primaire (le train 1 est affecté par l'aggravant et le train 4 est rupté). L'opérateur doit alors basculer un train RIS-RA du mode ISBP au mode RA à débit réduit si le niveau boucle est suffisant. Pendant le basculement, 1 pompe ISBP et 2 pompes ISMP continuent d'injecter dans le primaire permettant de ne pas entraîner une baisse de niveau dans le primaire (les configurations 4 et 5 montrent que l'injection d'une ISBP et de 2 ISMP permet de compenser la brèche même la plus importante DN250). L'échauffement du fluide primaire causé par l'arrêt de la pompe ISBP n'entraîne pas l'atteinte du seuil des 180°C (cf. configurations 4 et 5). Une fois le basculement réalisé, 1 train RIS-RA en mode RA à débit réduit permet d'évacuer la puissance résiduelle à long terme et de refroidir le primaire et de maintenir une température inférieure à °C.

Ainsi, dans l'ensemble des configurations du cas 2, le cœur reste couvert ([FIG-15.2.4q.28](#)), l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par les trains RIS-RA remis en service par en mode RA à débit réduit.

La recirculation d'eau entre la piscine BR et l'IRWST est décrite dans le paragraphe ci-dessous.

vidange de l'IRWST et remplissage de la piscine BR – recirculation d'eau dans le BR

Dans les sous-états Cb2/Cb3, le succès du T.I.P ne peut être garanti et n'est donc pas réalisé, la brèche peut rester connectée au CPP. Afin d'assurer le bon fonctionnement des trains RIS-RA en mode RA, lors de l'état d'arrêt sûr, l'IS doit compenser la brèche pour maintenir un niveau d'eau suffisant dans les branches chaudes. Toutefois, le fonctionnement continu de l'Injection de Sécurité ne

doit pas engendrer une vidange excessive de l'IRWST, en dessous d'un niveau d'eau critique pour l'intégrité des pompes.

Dans les états Cb2 à D, la cuve communique avec la piscine BR ; l'eau apportée par l'IS peut alors transiter par la piscine BR. En cas de retour d'eau insuffisant vers l'IRWST, ceci peut entraîner l'atteinte du niveau IRWST critique. Afin d'éviter cette situation, on valorise les lignes de vidange PTR (des compartiments cuve et internes de la piscine BR). Compte-tenu des masses d'eau disponibles à l'intérieur du BR et des diverses rétentions possibles, ces lignes garantissent un débit gravitaire minimum Q .

Pour les brèches qui n'arrêtent pas les trains RIS-RA en mode RA sur signal de très bas niveau en branche chaude (Min2p), 2 pompes ISMP injectent au minimum dans le primaire. Q adapte le nombre de pompes ISMP en fonctionnement suivant la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA en mode RA en se basant sur le niveau dans la piscine. Le débit maximal d'une pompe ISMP étant de Q $m^3.h^{-1}$ (situation réalisée lorsque tout le débit ISMP injecté dans le primaire remplit la piscine), il reste inférieur à la capacité de recirculation de la piscine Q : Q laissera donc au minimum une pompe ISMP en fonctionnement.

Pour les brèches qui arrêtent les trains RIS-RA en mode RA sur signal de très bas niveau en branche chaude (Min2p), le débit minimal de la brèche correspond à celui de 2 pompes ISMP (au moins 2 ISMP injectent dans le circuit primaire) car suite au signal IS le niveau d'eau dans les boucles primaires continue de diminuer.

Suivant les configurations de démarrage des pompes ISBP (cf. [TAB-15.2.4q.3](#)), plusieurs situations apparaissent :

- La brèche est isolée fortuitement par Q (configurations 1, 2 et 3),
- La brèche n'est pas isolée (configurations 4, 5 et 6).

brèches isolées fortuitement par Q

Dans la configuration 1, seules 2 pompes ISMP injectent dans le primaire. Q arrête une pompe ISMP et laisse en fonctionnement l'autre pompe. Le débit maximal d'une pompe ISMP étant de Q $m^3.h^{-1}$ (situation réalisée lorsque tout le débit ISMP injecté dans le primaire remplit la piscine), il reste inférieur à la capacité des lignes de vidange PTR Q .

Dans les configurations 2 et 3, 2 pompes ISMP et 1 pompe ISBP injectent dans le primaire. Q arrête les 2 pompes ISMP, puis comme le niveau continue d'augmenter (la brèche est isolée fortuitement), il arrête également la pompe ISBP. Il redémarre ensuite 4 pompes ISMP (au minimum 2 injectent dans le primaire) et les arrête progressivement pour n'en laisser qu'une en fonctionnement. Le débit maximal d'une pompe ISMP étant de Q $m^3.h^{-1}$ (situation réalisée lorsque tout le débit ISMP injecté dans le primaire remplit la piscine), il reste inférieur à la capacité de recirculation de la piscine Q .

brèches non isolées

Dans les configurations 4 et 5, 2 pompes ISMP et 1 pompe ISBP injectent dans le primaire. Le débit minimal des brèches qui arrêtent les trains est de Q $m^3.h^{-1}$ (le niveau dans le primaire continue de diminuer bien que 2 ISMP injectent dans le primaire Q). Pour l'évacuation de la puissance sur le long terme, Q arrête progressivement les pompes ISMP et laisse fonctionner une pompe ISBP. Le débit maximal d'une pompe ISBP étant de Q $m^3.h^{-1}$, le débit maximal à recirculer par les lignes de vidange PTR est de Q $m^3.h^{-1}$, ce qui est inférieur au débit de recirculation de Q $m^3.h^{-1}$.

Dans la configuration 6, suite au basculement d'un train RIS-RA de mode ISBP à mode RA, 1 pompe ISBP et 2 pompes ISMP injectent dans le primaire. Q applique alors la conduite des configurations 4 et 5.

Dans l'ensemble des configurations présentées, ci-dessus, il n'y a pas de découverture du cœur, la puissance résiduelle est évacuée par les trains RIS-RA remis en service par Q en mode RA à débit réduit, les rejets radiologiques restent tolérables (pas de découverture du cœur) et la sous-criticité est

garantie (absence d'apport d'eau claire et concentration en bore initiale supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement).

De plus, la mise en place d'une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST permet d'assurer durablement le bon fonctionnement des pompes ISMP et ISBP.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.2.2. est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.1.2.5. État D

L'accident présenté dans le cadre de l'étude de l'état D à moyen terme a les mêmes caractéristiques que l'accident présenté au § 1.5.1.1.5.

Suite au signal d'Injection de Sécurité, [] rentre en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA) et réalise un Test d'Intégrité Primaire (T.I.P) afin d'identifier le train rupté et d'isoler la brèche.

réalisation du T.I.P en état D :

Si le signal d'arrêt des trains RIS-RA n'est pas émis, [] démarre 1 train RIS-RA en mode ISBP au plus tôt 30 minutes après le signal d'IS afin d'atteindre un niveau cible [] dans la piscine et d'initier le T.I.P.

Une fois le niveau cible atteint dans la piscine, [] arrête les appoints d'eau (pompes ISBP et ISMP). [] met ensuite tous les trains RIS-RA en service en mode RA (y compris celui en attente). Il procède alors à la réalisation du T.I.P en isolant séquentiellement les trains RIS-RA en service et en évaluant les variations de niveau de la piscine. Pendant toute la réalisation du T.I.P au moins un train RIS-RA en mode RA à débit nominal reste en fonctionnement garantissant ainsi l'évacuation de la puissance résiduelle. Au plus tard 4h15 après l'émission du signal d'IS, [] localise la brèche et l'isole. Aucun découverture du cœur n'a lieu au cours du T.I.P.

Si le signal d'arrêt des trains RIS-RA est émis, [] démarre 2 trains RIS-RA en mode ISBP au plus tôt 30 minutes après le signal d'IS afin d'atteindre un niveau cible de [] m dans la piscine et d'initier le T.I.P.

Suivant les 2 trains RIS-RA en mode ISBP démarrés, les configurations du primaire peuvent être les suivantes :

- 2 pompes ISBP injectent effectivement dans le primaire. Cette situation se produit lorsque les 2 pompes ISBP démarrées sont celles des trains sains (configuration 6 du tableau [TAB-15.2.4q.3](#)). Le débit injecté dans le primaire est composé de 2 ISBP et de 2 ISMP, ce débit est supérieur au débit de la plus grosse brèche primaire en état D (DN250) et conduit à une augmentation du niveau d'eau.
- 1 pompe ISBP injecte effectivement dans le primaire. Cette situation se produit lorsqu'une pompe ISBP est démarrée sur un train sain et que la deuxième pompe est démarrée sur le train affecté par l'aggravant (non-démarrage d'un diesel sur sollicitation) ou sur le train rupté. Lorsqu'une pompe ISBP est démarrée sur le train rupté et l'autre sur le train affecté par l'aggravant, [] démarrera une troisième pompe de façon à ce qu'au moins une pompe injecte dans le primaire. Dans ce dernier cas la brèche est isolée de façon involontaire par []. Le débit injecté dans le primaire est composé de 1 ISBP et de 2 ISMP, ce débit est supérieur au débit de la plus grosse brèche primaire en état D (DN250) et conduit à une augmentation du niveau d'eau.

Lorsque le niveau boucle repasse au-dessus de []% et si la température en branche chaude est inférieure à []°C, [] démarre un train RIS-RA en mode RA. Une fois le niveau cible atteint dans la piscine, [] arrête les appoints d'eau (pompes ISBP et ISMP). Il procède alors à la réalisation du T.I.P en isolant successivement les trains RIS-RA en service ou en mettant en service les trains isolés et en évaluant les variations de niveau de la piscine, tout en gardant à chaque instant un train RIS-RA en mode RA à débit nominal en fonctionnement. La puissance résiduelle est donc évacuée pendant la réalisation du T.I.P. Au plus tard 4h15 après l'émission du signal d'IS, [] localise la brèche et l'isole. Aucun découverture du cœur n'a lieu au cours du T.I.P.

Une fois la brèche isolée, au moins 1 train RIS-RA en mode RA reste en fonctionnement. Un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale dans l'état D (même en supposant que les 4 pompes ISMP injectent dans le primaire) pour lequel la puissance résiduelle est réduite par rapport à l'état C3 (cf. section 15.2.2w).

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.2. BRÈCHE SITUÉE À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE PRIMAIRE

1.5.2.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

1.5.2.1.1. États C1, C2 et C2 solide

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.3.1.1.](#)

Les hypothèses relatives au MDTE et à la brèche sont identiques à celles réalisées pour l'analyse d'une brèche située à l'intérieur de l'enceinte ([§ 1.5.1.1.1.](#) à [§ 1.5.1.1.3.](#)).

Ces accidents sont traités par argumentaire.

La brèche étant située à l'extérieur de l'enceinte, elle est isolée automatiquement \square secondes après le début de l'accident (le signal de haut niveau dans un des BAS est obtenu 81 secondes après le début de l'accident pour une brèche DN250 dans les états C1, C2 ou C2 solide).

Dans les états C1, C2 et C2 solide, le signal d'Injection de Sécurité est atteint avant l'isolement automatique du train rupté. Il conduit à la repressurisation du circuit primaire une fois que la brèche a été isolée et que les pompes ISMP disponibles sont démarrées. La pression primaire se stabilise au minimum à la pression de refoulement des pompes ISMP.

Dans l'état C1 aucun train RIS-RA en mode RA n'est retesté suite au cumul du MDTE, à l'application de l'aggravant et à l'initiateur. Dans les états C2 et C2 solide, dans la situation la plus pénalisante \square , 2 des 4 trains RIS-RA en mode RA qui sont retestés automatiquement suite au MDTE sont arrêtés sur très faible marge à la saturation en branche chaude ($\Delta P_{sat} < \text{Min}2p$). La puissance résiduelle est alors évacuée par la circulation naturelle qui s'établit dans le circuit primaire via les 2 GV disponibles.

Il apparaît que sans aucune action opérateur et uniquement à partir des seuls moyens de protection F1A mis en place automatiquement, les paramètres primaires et secondaires se stabilisent alors, en particulier :

- l'inventaire en eau du circuit primaire,
- les températures primaires,
- la pression primaire,
- la pression secondaire.

Le niveau d'eau présent dans le circuit primaire assure le non-découverte du cœur.

Il est à noter qu'en état C1, les brèches pour lesquelles le signal d'IS n'apparaît pas avant l'isolement automatique de la brèche conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé via la circulation naturelle qui s'établit avec les 2 GV disponibles.

En états C2 et C2 solide, les brèches pour lesquelles le signal d'IS n'apparaît pas avant l'isolement automatique de la brèche ou encore celles qui n'entraînent pas l'arrêt des trains RIS-RA en mode RA relestés suite au MDTE conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé : les 2 trains RIS-RA en mode RA relestés permettent d'évacuer la puissance totale dans l'état C2 (cf. section 15.2.4a).

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur (brèche isolée automatiquement sur haut niveau BAS et IS en service si le signal de bas $\Delta P_{sat} < Min1p$ a été atteint) ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.5.2.1.2. État C3

1.5.2.1.2.1. Sous-état Cb1

Les hypothèses relatives au MDTE et à la brèche sont identiques à celles réalisées pour l'analyse d'une brèche située à l'intérieur de l'enceinte ([§ 1.5.1.1.4.1.](#)).

Cet accident est traité par argumentaire.

La brèche étant située à l'extérieur de l'enceinte, elle est isolée automatiquement \square secondes après le début de l'accident (le signal de haut niveau dans un des BAS est obtenu \square secondes après le début de l'accident pour une brèche DN250 dans le sous-état Cb1).

Dans le sous-état Cb1, le signal d'Injection de Sécurité ayant été atteint 18 secondes après le début de l'accident, celui-ci conduit à la repressurisation du circuit primaire une fois que les pompes ISMP disponibles sont démarrées et que la brèche a été isolée. La pression primaire se stabilise au minimum à la pression de refoulement des pompes ISMP. Le train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE est arrêté au plus tard sur signal très bas niveau en branche chaude (Min2p) qui se produit 37,7 secondes après le début de l'accident.

La puissance résiduelle est évacuée par la circulation naturelle qui s'établit dans le circuit primaire via les 2 GV disponibles lorsque le primaire devient diphasique (passage à saturation primaire) : la circulation naturelle n'est pas initiée lorsque le primaire est monophasique du fait de la présence d'incondensables (N_2 en particulier) qui sont piégés dans les épingles des tubes GV lors de la repressurisation du primaire. Le passage en diphasique permet d'initier la circulation naturelle.

Il apparaît que sans aucune action opérateur et uniquement à partir des seuls moyens de protection F1A mis en place automatiquement, les paramètres primaires se stabilisent alors, en particulier :

- l'inventaire en eau du circuit primaire,
- la pression primaire (ainsi que la pression secondaire),
- les températures primaires.

Le niveau d'eau présent dans la cuve (brèche isolée automatiquement sur haut niveau BAS et IS en service) assure le non-découvrement du cœur.

Il est à noter que les brèches pour lesquelles le signal d'IS n'apparaît pas avant l'isolement automatique de la brèche ou encore celles qui n'entraînent pas l'arrêt du train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé : le train RIS-RA en mode RA relesté permet d'évacuer la puissance totale dans l'état Cb1 (cf. [§ 1.5.1.1.4.1.](#)).

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.5.2.1.2.2. Sous-états Cb2/Cb3

La brèche étant située à l'extérieur de l'enceinte, elle est isolée automatiquement au plus tôt secondes après le début de l'accident (le signal de haut niveau dans un des BAS est obtenu secondes après le début de l'accident pour une brèche DN250 dans les sous-états Cb2/ Cb3).

Suivant la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA et le niveau d'eau initialement présent dans le primaire 3 situations peuvent apparaître dans les sous-états Cb2/Cb3 :

- **La brèche est isolée automatiquement avant l'atteinte du seuil IS.** Dans ce cas le seul train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE reste en service, du fait de l'aggravant (diesel ne démarrant pas sur sollicitation) et en faisant l'hypothèse que le train rupté est perdu.

Un train RIS-RA en mode RA permettant d'évacuer la puissance totale dans l'état C3 (cf. [§ 1.5.1.1.4.1.](#)), les paramètres primaires et secondaires se stabilisent. La brèche étant isolée avant l'atteinte du seuil d'IS, il n'y a pas de découverture du cœur.

- **La brèche est isolée automatiquement une fois que le signal d'IS est émis mais avant le seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA.** Dans ce cas, comme dans le cas précédent, le seul train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE reste en fonctionnement et assure l'évacuation de la puissance résiduelle. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une repressurisation partielle du circuit primaire (dépendant du degré d'ouverture de celui-ci). Les paramètres primaires et secondaires se stabilisent. La brèche étant isolée avant l'atteinte du seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur bas niveau boucle, il n'y a pas de découverture du cœur.
- **La brèche est isolée automatiquement une fois que les signaux d'IS et d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA ont été émis.** Dans ce cas, l'ensemble des trains RIS-RA en mode RA est arrêté. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une repressurisation partielle du circuit primaire (dépendant du degré d'ouverture celui-ci). Les trains RIS-RA ayant été arrêtés, l'évacuation de la puissance résiduelle est réalisée par l'ouverture primaire et par la circulation naturelle qui s'établit avec les 2 GV disponibles. De la même façon que pour le sous-état Cb1, le primaire passe à saturation avant que la circulation naturelle ne soit amorcée (présence d'incondensables dans les tubes des GV). La circulation naturelle permet alors d'évacuer la puissance résiduelle et les paramètres primaires et secondaires se stabilisent. Le niveau d'eau présent dans le circuit primaire (brèche isolée automatiquement sur haut niveau BAS et IS en service) assure le non-découverture du cœur.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.5.2.1.3. État D

Le cas retenu dans le cadre de la brèche située à l'extérieur de l'enceinte a les mêmes caractéristiques que celui présenté dans le [§ 1.5.1.1.5.](#)

La brèche étant située à l'extérieur de l'enceinte, elle est isolée automatiquement secondes après le début de l'accident (le signal de haut niveau dans un des BAS est obtenu secondes après le début de l'accident pour une brèche DN250 dans l'état D).

Suivant la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA et le niveau d'eau initialement présent dans la piscine, 3 situations peuvent apparaître en état D :

- **La brèche est isolée automatiquement avant l'atteinte du seuil IS.** Dans ce cas le seul train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE, du fait de l'aggravant (diesel ne démarrant pas sur sollicitation) et en faisant l'hypothèse que le train rupté est perdu, reste en service et assure l'évacuation de la puissance résiduelle. La brèche étant isolée avant l'atteinte du seuil d'IS, il n'y a pas de découvrement du cœur.
- **La brèche est isolée automatiquement une fois que le signal d'IS est émis mais avant le seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA.** Dans ce cas, comme dans le cas précédent, le seul train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE reste en fonctionnement et assure l'évacuation de la puissance résiduelle. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une augmentation du niveau de la piscine. La brèche étant isolée avant l'atteinte du seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur bas niveau boucle, il n'y a pas de découvrement du cœur.
- **La brèche est isolée automatiquement une fois que les signaux d'IS et d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA ont été émis.** Dans ce cas, l'ensemble des trains RIS-RA en mode RA est arrêté. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une augmentation du niveau de la piscine (comme expliqué au [§ 1.5.1.1.5.](#), le débit de deux pompes ISMP est supérieur au débit de vaporisation). Le niveau d'eau présent dans le circuit primaire assure le non-découvrement du cœur. Avant l'intervention de l'opérateur, la puissance résiduelle est évacuée par l'IS et les ouvertures du primaire.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Dans toutes les configurations présentées, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.5.2.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

1.5.2.2.1. États C1, C2 et C2 solide

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.3.2.1.](#)

L'accident présenté dans le cadre de l'étude à moyen terme des états C1, C2 et C2 solide a les mêmes caractéristiques que l'accident décrit au [§ 1.5.2.1.1.](#)

Suite à l'isolement automatique de la brèche 111 s après le début de l'accident et à l'activation de l'IS (cf. [§ 1.5.2.1.1.](#)), la pression primaire augmente et se stabilise au moins à la pression de refoulement de l'ISMP. Il n'y a pas de découvrement du cœur comme démontré au [§ 1.5.1.2.1.](#)

Parallèlement, l'opérateur demande l'ouverture des vannes du VDA des 2 GV disponibles dans le but de réaliser un refroidissement du primaire avec un gradient de 50C/h, 30 minutes après le signal d'IS.

Les conditions de fonctionnement à moyen terme sont alors identiques à celles décrites dans les [§ 1.5.1.2.1.](#) et [§ 1.5.1.2.3.](#), une fois que la brèche a été isolée automatiquement. La puissance résiduelle est évacuée par les GV disponibles, les températures des branches chaudes se stabilisent à des valeurs inférieures à \square °C, rendant possible le redémarrage d'un train RIS-RA en mode RA en vue de l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme (il a été montré qu'un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale dans l'état C1, et a fortiori dans les états C2 et C2 solide, section 15.2.4a).

Dans l'état C1, aucun train RIS-RA en mode RA n'est relesté suite au cumul du MDTE, à l'application de l'aggravant et à l'initiateur. Les brèches pour lesquelles le signal d'IS n'apparaît pas avant l'isolement automatique de la brèche conduisent également à l'atteinte de l'état d'arrêt sûr via la circulation naturelle qui s'établit avec les 2 GV disponibles (cf. [§ 1.5.2.1.1.](#)) et à la mise en service \square d'un train RIS-RA en mode RA.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.2.2.2. État C3

1.5.2.2.2.1. Sous-état Cb1

L'accident présenté dans le cadre de l'étude du sous-état Cb1 à moyen terme a les mêmes caractéristiques que l'accident du [§ 1.5.2.1.2.1.](#)

Suite à l'isolement automatique de la brèche s après le début de l'accident et à la mise en place de l'Injection de Sécurité (cf. [§ 1.5.2.1.2.1.](#)), la pression primaire augmente et se stabilise au moins à la pression de refoulement de l'Injection de Sécurité Moyenne Pression. Il n'y a pas de découverture du cœur comme démontré au [§ 1.5.1.2.4.1.](#)

Parallèlement, demande l'ouverture des vannes du VDA des 2 GV disponibles dans le but de réaliser un refroidissement du primaire avec un gradient de 50°C/h, 30 minutes après le signal d'IS (1818 secondes après le début de l'accident).

Dans le sous-état Cb1, un seul des 3 trains RIS-RA en mode RA disponibles initialement est en service pour évacuer la puissance résiduelle suite au MDTE et à l'initiateur du fait de la prise en compte d'un aggravant sur un diesel ne démarrant pas sur sollicitation et l'hypothèse faite que le train rupté ne participe pas à l'évacuation de la puissance. Ce train RIS-RA en mode RA est arrêté sur signal de très bas niveau en branche chaude (Min2p) qui est obtenu 37,0 secondes après le début de l'accident.

Les conditions de fonctionnement à moyen terme sont alors identiques à celles décrites dans le [§ 1.5.1.2.4.1.](#), une fois que la brèche a été isolée automatiquement : entreprend un « Gavé-Ouvert » permettant de stabiliser les températures des branches chaudes à des valeurs inférieures à 180°C.

peut alors redémarrer un train RIS-RA en mode RA à un débit réduit pour assurer l'évacuation de la puissance à long terme. Si le train démarré est le train affecté par l'aggravant, redémarre un autre train RIS-RA en mode RA de façon à ce qu'un train RIS-RA en mode réduit évacue effectivement la puissance dans le primaire. La température du primaire se stabilise alors à une valeur inférieure à °C.

Il est à noter que les brèches pour lesquelles le signal d'IS n'apparaît pas avant l'isolement automatique de la brèche ou encore celles qui n'entraînent pas l'arrêt du train RIS-RA en mode RA retesté suite au MDTE, le train RIS-RA en mode RA retesté permet d'évacuer continuellement la puissance totale dans l'état Cb1 (cf. [§ 1.5.1.1.4.1.](#)). Dans ce cas la réalisation du Gavé-Ouvert n'est pas nécessaire pour permettre la connexion des trains RIS-RA en mode RA en fin de T.I.P et évacuer la puissance résiduelle à long terme.

Il n'y a pas de découverture du cœur au cours de l'accident ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration initiale en bore du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.2.2.2.2. Sous-états Cb2/Cb3

L'analyse présentée dans cette section se base sur un jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B). Cet accident a été réconcilié avec l'état final de conception et détaillé au [§ 1.6.3.2.2.3.](#)

Comme indiqué dans le § 1.5.2.1.2.2., suivant la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA et le niveau d'eau initialement présent dans le primaire, 3 situations peuvent apparaître dans les sous-états Cb2/Cb3 :

- **La brèche est isolée automatiquement avant le seuil d'IS.** Dans ce cas le seul train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE reste en service, du fait de l'aggravant (diesel ne démarrant pas sur sollicitation) et en faisant l'hypothèse que le train rupté est perdu. Il a été montré dans le § 1.5.1.1.4.1., qu'un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale dans l'état C3. La brèche étant isolée avant l'atteinte du seuil d'IS, il n'y a pas de découverture du cœur.
- **La brèche est isolée automatiquement une fois que le signal d'IS est émis mais avant le seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA.** Dans ce cas, comme dans le cas précédent, le seul train RIS-RA en mode RA relesté suite au MDTE reste en fonctionnement. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une repressurisation partielle du circuit primaire (dépendant du degré d'ouverture de celui-ci). Un train RIS-RA en mode RA permettant d'évacuer la puissance totale dans l'état C3 (cf. § 1.5.1.1.4.1.), les paramètres primaires et secondaires se stabilisent. Lorsque le niveau d'eau dans le primaire devient suffisant, [] arrête les pompes ISMP afin de stabiliser le niveau. La brèche étant isolée avant l'atteinte du seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur bas niveau boucle, il n'y a pas de découverture du cœur.
- **La brèche est isolée automatiquement une fois que les signaux d'IS et d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA ont été émis.** Dans ce cas, l'ensemble des trains RIS-RA en mode RA est arrêté. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une repressurisation partielle du circuit primaire (dépendant du degré d'ouverture du primaire). Dans le cadre de l'accident présenté, il est fait l'hypothèse que le primaire est fermé, de façon à obtenir l'échauffement du primaire le plus rapide. La brèche la plus pénalisante vis-à-vis de l'échauffement du primaire est la plus grande taille de brèche sur un train RIS-RA [] car elle conduit à la vidange la plus rapide du primaire et à l'échauffement le plus important. Cette brèche est isolée [] secondes après le début de l'accident. [] demande l'ouverture des vannes du VDA des 2 GV disponibles dans le but de réaliser un refroidissement du primaire avec un gradient de 50°C/h, au plus tard 30 minutes après le signal d'IS (1818 secondes après le début de l'accident pour cette brèche). En supposant de façon conservatrice que [] mette en fonctionnement 2 trains ISBP avant que le signal de haut niveau dans le BAS apparaisse, donc avant que le train rupté soit identifié par [], 6 configurations d'injection ISBP sont possibles (cf. tableau TAB-15.2.4q.4). Sur signal issu du BAS deux situations se produisent :
 - **cas 1** : L'une des 2 pompes ISBP démarrées se trouve sur le train rupté. Il s'agit des configurations 1 à 3 du tableau TAB-15.2.4q.4.
 - **cas 2** : Les 2 pompes ISBP démarrées [] ne se trouvent pas sur le train rupté. Il s'agit des configurations 4 à 6 du tableau TAB-15.2.4q.4.

Cas 1 : configurations 1 à 3 du tableau TAB-15.2.4q.4

Pour les configurations 1 à 3 du tableau TAB-15.2.4q.4, lorsque [] démarre 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit, au moins un train RIS-RA en mode RA à débit réduit fonctionne. Le temps maximal dont dispose l'opérateur pour démarrer les 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit de la configuration 1 (établi à partir du délai d'atteinte des 180°C en branche chaude et d'un niveau dans les boucles primaires supérieur à 3/4 boucle), couvre celui des configurations 2 et 3 pour lesquelles une pompe ISBP injecte dans le primaire et par conséquent le refroidit, augmente son inertie thermique et réduit le temps d'atteinte des 3/4 boucle. Les figures FIG-15.2.4q.31 à FIG-15.2.4q.36 présentent l'évolution des paramètres physiques pour une brèche DN250. Cette brèche est isolée [] s après le début de l'accident suite au signal de haut niveau dans le BAS. Il est fait l'hypothèse pénalisante qu'aucune pompe ISBP n'injecte dans le primaire. Par ailleurs, 2 pompes ISMP injectent dans le primaire.

Le temps mis par le primaire pour atteindre la température de 180°C en branche chaude est de 50 minutes une fois que la brèche a été isolée automatiquement. Le niveau d'eau dans le primaire dans le cas d'une brèche située à l'extérieur de l'enceinte et isolée automatiquement redevient supérieur au niveau à 3/4 boucle 3 minutes environ après le début de l'accident. [] dispose d'une page de 22

minutes (en supposant que réalise ces premières actions au plus tard, 30 minutes après le signal d'IS) pour redémarrer 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit, afin qu'au moins un train soit en fonctionnement. Suite au redémarrage d'un train RIS-RA en mode RA en mode réduit, la puissance résiduelle est évacuée et la température des branches chaudes du primaire se stabilise à une valeur inférieure à °C. Le niveau d'eau présent dans le primaire ([FIG-15.2.4q.34](#)) garantit l'absence de découverture du cœur.

Si le train RIS-RA en mode RA rupté est vu en service par l'opérateur, ce dernier ne demandera pas le basculement d'un train RIS-RA initialement en mode IS en service au mode RA à débit réduit. Le train RIS-RA en mode RA vu en service pouvant être sous-efficace, l'évacuation de la puissance résiduelle pourrait ne pas être garantie suivant la configuration étudiée.

Pour la configuration 1, l'évacuation de la puissance résiduelle est garantie avec deux trains RIS-RA à débit réduit. Pour les configurations 2 et 3, l'opérateur basculera un train RIS-RA initialement en service en mode IS au mode RA à débit réduit et plusieurs cas sont possibles :

- pour la configuration 2 : si le train RIS-RA en mode IS qui est basculé en mode RA est le train sain alors la situation est couverte par la configuration 1 et si le train RIS-RA en mode IS qui est basculé en mode RA est le train rupté alors la situation est couverte par la configuration 4 ;
- pour la configuration 3 : si le train RIS-RA en mode IS qui est basculé en mode RA est le train sain alors la situation est couverte par la configuration 1 et si le train RIS-RA en mode IS qui est basculé en mode RA est le train rupté alors la situation est couverte par la configuration 5 ;

Cas 2 : configurations 4 à 6 du tableau [TAB-15.2.4q.4](#)

Les configurations 4 et 5 du tableau [TAB-15.2.4q.4](#), pour lesquelles une pompe ISBP injecte dans le primaire et un train RIS-RA en mode RA à débit réduit est en fonctionnement suite au démarrage de 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit , sont équivalentes aux configurations 2 et 3 et sont couvertes par la configuration 1 et le calcul présenté ci-dessus. Il n'y a donc pas de découverture du cœur et la puissance résiduelle est évacuée par les trains RIS-RA remis en service .

Pour la configuration 6, démarre les trains 1 et 4 en mode RA à débit réduit. Dans cette situation, aucun train RIS-RA en mode RA ne refroidit le primaire (le train 1 est affecté par l'aggravant et le train 4 est rupté). doit alors basculer un train RIS-RA initialement en mode ISBP en mode RA à débit réduit. La brèche étant isolée, l'inventaire en eau dans le primaire ne diminue pas et il n'y a pas de découverture du cœur. Le temps maximum dont pour réaliser le basculement est supérieur aux 22 minutes de la configuration 1 pour laquelle aucune pompe ISBP n'injecte dans le primaire. En effet, une pompe ISBP continuant d'injecter dans le primaire pendant le basculement, elle permet de refroidir le primaire. Ce temps est suffisant pour réaliser l'opération de basculement. Dans le cas où réaliserait les premières actions plus tôt (avant les 30 minutes après le signal d'IS), le délai de pour redémarrer les 2 trains RIS-RA serait augmenté. Suite au redémarrage d'un train RIS-RA en mode RA en mode réduit, la puissance résiduelle est évacuée durablement et la température des branches chaudes du primaire se stabilise à une valeur inférieure à °C.

Si le train RIS-RA en mode RA rupté est vu en service par l'opérateur, ce dernier ne demandera pas le basculement d'un train RIS-RA initialement en mode IS en service au mode RA à débit réduit. Le train RIS-RA en mode RA vu en service pouvant être sous-efficace, l'évacuation de la puissance résiduelle pourrait ne pas être garantie suivant la configuration étudiée.

Pour les configurations 4 et 5, l'évacuation de la puissance résiduelle est garantie avec un train RIS-RA en mode RA à débit réduit. Pour la configuration 6, l'opérateur basculera un train RIS-RA initialement en service en mode IS au mode RA à débit réduit ce qui correspond à la situation décrite ci-dessus.

Dans toutes les configurations, lorsque le niveau d'eau dans le primaire devient suffisant, arrête les pompes ISMP et ISBP qui injectent afin de stabiliser le niveau.

Dans l'ensemble des configurations présentées, il n'y a pas de découverture du cœur, la puissance résiduelle est évacuée par les trains RIS-RA remis en service par en mode RA à débit réduit, les rejets radiologiques restent tolérables (pas de découverture du cœur) et la sous-criticité est garantie

(absence d'apport d'eau claire et concentration en bore initiale supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement).

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.2.2.3. État D

L'accident présenté dans le cadre de l'étude de l'état D à moyen terme a les mêmes caractéristiques que l'accident présenté au [§ 1.5.2.1.3.](#)

Comme indiqué dans le [§ 1.5.2.1.3.](#), suivant la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA et le niveau d'eau initialement présent dans la piscine, 3 situations peuvent apparaître en état D :

- **La brèche est isolée automatiquement avant le seuil d'IS.** Dans ce cas un seul train RIS-RA en mode RA est retesté suite au MDTE, du fait de l'aggravant (diesel ne démarrant pas sur sollicitation) et en faisant l'hypothèse que le train rupté est perdu. Ce train RIS-RA reste en service et assure l'évacuation de la puissance résiduelle. Il a été montré dans le [§ 1.5.1.2.5.](#), qu'un train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale dans l'état D. La brèche étant isolée avant l'atteinte du seuil d'IS, il n'y a pas de découverture du cœur.
- **La brèche est isolée automatiquement une fois que le signal d'IS est émis mais avant le seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA.** Dans ce cas, comme dans le cas précédent, le seul train RIS-RA en mode RA retesté suite au MDTE reste en fonctionnement et assure l'évacuation de la puissance résiduelle. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire, ce qui entraîne une augmentation du niveau de la piscine. Un train RIS-RA en mode RA permettant d'évacuer la puissance totale dans l'état D (cf. [§ 1.5.1.2.5.](#)), L'opérateur arrête alors les pompes ISMP une fois que le niveau dans la piscine est suffisant. La brèche étant isolée avant l'atteinte du seuil d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur bas niveau boucle, il n'y a pas de découverture du cœur.
- **La brèche est isolée automatiquement une fois que les signaux d'IS et d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA ont été émis.** Dans ce cas, l'ensemble des trains RIS-RA en mode RA est arrêté. Suite au signal d'IS, au moins 2 pompes ISMP injectent dans le primaire. démarre par ailleurs 2 pompes ISBP. Dans le cas où les deux pompes ISBP sont démarrées avant la détection du train rupté par le signal de haut niveau BAS et que les 2 trains démarrés sont le train rupté et le train affecté par l'aggravant, s'assurera qu'au moins un train ISBP injecte en démarrant un train supplémentaire. redémarre un train RIS-RA en mode RA dès que la sous-saturation du primaire est assurée. Un train RIS-RA en mode RA permettant d'évacuer la puissance totale dans l'état D (cf. [§ 1.5.1.2.5.](#)). arrête alors les pompes ISMP et ISBP une fois que le niveau dans la piscine est suffisant. Le niveau d'eau présent dans le circuit primaire assure le non-découverte du cœur.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Dans toutes les configurations présentées, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.5.3. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

L'étude basée sur un jeu d'hypothèses intermédiaires montre que pour l'ensemble des sous-états des états C et D et pour l'ensemble des brèches isolables considérées (à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte), les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) sont vérifiés :

- Il n'y a pas de découverture du cœur.
- La puissance est évacuée à long terme par les trains RIS-RA en mode RA.
- La recirculation entre la piscine BR et l'IRWST est assurée dans les sous-états Cb2/Cb3 et D.

- La sous criticité du cœur est garantie du fait de la concentration de bore initiale du circuit primaire et de l'absence d'apport d'eau claire.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

1.6. MISE EN COHÉRENCE AVEC L'ÉTAT FINAL DE CONCEPTION

1.6.1. LISTE DES MODIFICATIONS

Les modifications impactant l'étude de brèche sur un train RIS-RA et introduites entre le jeu d'hypothèses intermédiaires (Annexe 15B) et celui en cohérence avec l'état final de conception (sous-chapitre 15.1) sont les suivantes :

- prise en compte de la fuite aux joints des GMPP. En effet, la continuité de fonctionnement du RCV (non classé F1) n'étant pas assurée, l'injection aux joints doit être considérée comme inopérante et une fuite aux joints des GMPP doit être considérée. La fuite aux joints est considérée dès le début de l'accident étudié pour les états C1, C2 et C2 solide.
- modification du seuil de consigne de régulation du niveau GV par l'ASG,
- modification des débits RIS,
- passage à 2 trains ISMP disponibles pour l'injection (1 train est perdu à la brèche et 1 autre est affecté par l'aggravant) pour les états C1 et C2 solide,
- modification des débits de recirculation par les lignes de fond de piscine,
- augmentation du temps d'ouverture des disjoncteurs des GMPP,
- passage de deux à quatre GMPP initialement en service pour les états C1, C2 et C2 solide,
- passage de quatre à trois trains RIS-RA initialement en service dans les états C2 et C2 solide,
- augmentation de l'incertitude en ambiance dégradée de la chaîne de protection des GMPP (arrêt des GMPP sur bas ΔP aux bornes des pompes + signal IS),
- mise à jour des conduites pour les états C1, C2 et C2 solide,
- modification de la temporisation pour le démarrage de l'ISBP sur signal de bas niveau boucle,
- La stratégie « Stabilisation appoint primaire pressurisable » est renommée en « Stabilisation appoint primaire refermable ».
- ajout de la couverture de l'état Ca4.

1.6.2. BRÈCHE SITUÉE A L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE PRIMAIRE

1.6.2.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

1.6.2.1.1. ÉTAT C1

L'accident présenté dans le cadre de l'étude dans l'état C1 a les caractéristiques suivantes :

- Le MDTE est postulé à l'instant initial.
- La brèche simulée apparaît à l'instant initial de l'accident et correspond à la plus grande taille de brèche sur un train RIS-RA (la plus pénalisante vis-à-vis de la vidange du primaire).

Les figures [FIG-15.2.4q.37](#) à [FIG-15.2.4q.42](#) présentent les variations des principales grandeurs physiques lors de l'accident de brèche sur un train RIS-RA en mode RA. Dans l'état C1, le signal d'Injection de Sécurité est atteint sur seuil de faible marge à la saturation en branche chaude (Min1p) 51 secondes après le début de l'accident. Suite au signal d'Injection de Sécurité, au moins 2 trains ISMP injectent, 1 train est perdu à la brèche et l'autre est affecté par l'aggravant.

Dans l'accident présenté sur les figures [FIG-15.2.4q.37](#) à [FIG-15.2.4q.42](#), avant l'atteinte d'un état contrôlé (§ 1.6.2.2.1.). Toutefois, sans la température primaire monterait pour se stabiliser à une température d'équilibre avec les GV. Ces derniers peuvent alors évacuer la puissance résiduelle. Sans

action opérateur, le niveau d'eau dans le primaire se stabiliserait au plus bas au niveau de la génératrice inférieure des branches chaudes ; il n'y a donc pas de découvrement du cœur.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.6.2.1.2. ÉTAT C2

L'accident en état C2 est couvert par celui en état C1. En effet :

- La puissance résiduelle à évacuer est plus faible en état C2.
- Un des trois trains RIS-RA en mode RA en service initialement est disponible suite au MDTE et à l'initiateur du fait de la prise en compte d'un aggravant sur un diesel ne démarrant pas sur sollicitation et l'hypothèse faite que le train rupté ne participe pas à l'évacuation de la puissance. Ce train est relesté 45 secondes après l'initiateur. Pour les plus grandes tailles de brèche, il est arrêté sur seuil de très faible marge à la saturation (Min2p). Son fonctionnement jusqu'à son arrêt automatique est favorable pour le refroidissement du primaire.
- La température initiale du circuit primaire est inférieure en état C2.
- Les appoints en eau disponibles en état C2 pour assurer le non découvrement du cœur sont identiques à ceux disponibles en état C1.

L'état C2 étant couvert par l'état C1, l'état contrôlé est également atteint en cas de brèche sur un train RIS-RA en mode RA en état C2.

Il est à noter que les brèches qui n'entraînent pas l'arrêt des trains RIS-RA en mode RA relestés suite au MDTE conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé : dans ce cas le train RIS-RA en mode RA sain relesté automatiquement permet d'évacuer la puissance totale dans l'état C2 (cf. section 15.2.4a).

1.6.2.1.3. ÉTAT C2 solide

L'accident présenté dans le cadre de l'étude dans l'état C2 solide a les caractéristiques suivantes :

- Le MDTE est postulé à l'instant initial.
- La brèche simulée apparaît à l'instant initial de l'accident et correspond à la plus grande taille de brèche sur un train RIS-RA \square (la plus pénalisante vis-à-vis de la vidange du primaire).

De manière analogue à l'état C1, sans action opérateur la température primaire monterait pour se stabiliser à une température d'équilibre avec les GV. Ces derniers peuvent alors évacuer la puissance résiduelle. Sans action opérateur, le niveau d'eau dans le primaire se stabiliserait au plus bas au niveau de la génératrice inférieure des branches chaudes ; il n'y a donc pas de découvrement du cœur.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

Comme pour l'état C2, les brèches qui n'entraînent pas l'arrêt des trains RIS-RA en mode RA relestés suite au MDTE conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé.

1.6.2.1.4. ÉTAT C3

1.6.2.1.4.1. Sous état Ca4

Dans le sous état Ca4, l'état contrôlé est identique à l'état contrôlé présenté au § 1.5.1.1.4.1. Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.2.2. restent respectés ; l'état contrôlé est atteint.

Il est à noter que les brèches qui n'entraînent pas l'arrêt du train RIS-RA en mode RA retesté suite au MDTE conduisent également à l'atteinte de l'état contrôlé comme présenté au § 1.5.1.1.4.1.

1.6.2.1.4.2. Sous-état Cb1

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du § 1.5.1.1.4.1. Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.2.2. restent respectés ; l'état contrôlé est atteint.

1.6.2.1.4.3. Sous-état Cb2/Cb3

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du § 1.5.1.1.4.2. Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.2.2. restent respectés ; l'état contrôlé est atteint.

1.6.2.1.5. ÉTAT D

Dans l'état D, le cas pénalisant qui est retenu correspond à celui avec cumul du MDTE (conformément à la section 15.0.2, le MDTE est postulé à l'instant initial).

Suite à l'ouverture de la brèche sur un train RIS-RA en mode RA, le signal d'Injection de Sécurité apparaît. Cela conduit à la mise en service d'au moins 2 pompes ISMP qui injectent dans le circuit primaire.

Suivant la taille de la brèche qui apparaît sur le train RIS-RA en mode RA, deux situations distinctes se produisent :

- Le débit perdu à la brèche est supérieur au débit injecté dans le primaire (par les pompes ISMP).
- Le débit perdu à la brèche est inférieur ou égal au débit injecté dans le primaire (par les pompes ISMP).

cas 1 : débit brèche supérieur au débit injecté dans le primaire

Dans le cas où le débit brèche reste supérieur au débit injecté par les pompes ISMP, le niveau d'eau dans le primaire se stabilise au niveau de la génératrice inférieure des branches chaudes. Le cœur reste couvert du fait d'un débit injecté (via les 2 pompes ISMP) supérieur au débit de vaporisation \dot{Q} (valeur calculée à partir de la puissance totale maximale à l'entrée dans l'état D). En effet, le débit minimal injecté via les 2 pompes ISMP en service sous 6,0 bar est de 188,4 m³.h⁻¹ (51,6 kg.s⁻¹). Or la pression dans le primaire se trouve à une valeur largement inférieure à 6 bar dans l'état D (même piscine pleine). Le débit injecté permet donc d'assurer le non-découvrement du cœur. Dans cette configuration, la puissance résiduelle est évacuée par la brèche et l'IS.

Suivant la taille de brèche, il est possible que le niveau primaire n'augmente pas malgré le démarrage des ISMP ; dans ce cas, l'ISBP en attente peut elle aussi démarrer automatiquement en mode débit réduit (signal F2 conçu pour la perte de source froide et non valorisé dans les études PCC, cf § 1.6.1.). Dans ce cas, l'injection dans le primaire est assurée par 2 pompes ISMP et une pompe ISBP. Le débit à la brèche devient inférieur au débit injecté dans le primaire (le débit minimal d'une pompe ISBP en mode automatique est \dot{Q} m³.h⁻¹ sous \dot{P} bar, ce qui cumulé aux débits des 2 pompes ISMP conduit à un débit supérieur au débit maximal créé par une brèche DN250 en état D) Ce cas est traité dans le paragraphe suivant.

cas 2 : débit brèche inférieur ou égal au débit injecté dans le primaire

Dans le cas où le débit brèche est égal au débit injecté par les pompes ISMP, le niveau d'eau dans le primaire reste stable et il n'y a pas de découverture du cœur. Comme dans le cas 1, il est possible

que l'ISBP en attente démarre en plus des 2 pompes ISMP ce qui conduit à un débit injecté dans le primaire supérieur au débit brèche.

Dans le cas où le débit brèche reste inférieur au débit injecté par les pompes ISMP, le niveau d'eau dans le primaire augmente. Le cœur reste couvert.

Pour les tailles de brèche entraînant l'arrêt des trains RIS-RA sur bas niveau boucle, la puissance est évacuée par la brèche et l'IS. Pour les tailles de brèche n'entraînant pas l'arrêt des trains RIS-RA, la puissance est évacuée par les trains RIS-RA restant en service.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Il apparaît que sans aucune action opérateur, quelle que soit la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA en mode RA et uniquement à partir des seuls moyens de protection F1A mis en place automatiquement, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.6.2.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR

1.6.2.2.1. ÉTAT C1

L'accident présenté dans le cadre de l'étude dans l'état C1 à moyen terme a les mêmes caractéristiques que l'accident présenté au [§ 1.6.2.1.1](#). (cf. figures [FIG-15.2.4q.37](#) à [FIG-15.2.4q.42](#)).

30 minutes après le signal d'Injection de Sécurité, rentre en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA). L'opérateur commence par arrêter les GMPP s'ils n'ont pas déjà été arrêtés puis valide le permissif P15 et abaisse le point de consigne des VDA disponibles de manière à équilibrer primaire et secondaire. Le niveau d'eau dans les boucles primaires ne permet pas à de mettre en service les trains RIS-RA disponibles (y compris ceux en attente) en mode RA à débit réduit. De manière conservatrice dans l'accident présenté dans cette section, l'opérateur tente de restaurer la marge à la saturation pendant 1h30 sans succès. L'opérateur isole alors tous les trains RIS-RA (et donc la brèche).

Dans ce cas réalisera un T.I.P par dés-isolement séquentiel des trains RIS-RA.

réalisation du T.I.P :

Une fois les trains RIS-RA isolés, laisse le niveau PZR remonter et la pression se stabiliser à la pression de refoulement de l'ISMP. Le T.I.P est réalisé par désisolement séquentiel des trains RIS-RA. Pour cela ouvre les lignes sans remettre les pompes ISBP en fonctionnement si bien que l'évacuation de puissance par le RIS-RA n'est pas rétablie.

observe une variation de la pression primaire pour identifier le train RIS-RA affecté. Si la pression chute lors du dés-isolement d'un train RIS-RA, peut déclarer le train RIS-RA qu'il vient de connecter non intègre. Si le train testé est au contraire intègre, isole à nouveau le train RIS-RA et passe au suivant.

De façon conservatrice, on suppose que le train rupté est le dernier train testé. Afin de couvrir l'état C2, les quatre trains RIS-RA sont testés (En état C2, 3 ou 4 trains RIS-RA en mode RA peuvent être en service initialement).

Une fois le train rupté identifié et isolé, remet en service les autres trains RIS-RA en mode RA à débit réduit. Le cœur reste couvert pendant toute la durée de l'accident ([FIG-15.2.4q.41](#)).

Dans l'état C1, aucun des 2 trains RIS-RA en mode RA disponibles initialement ne reste en service pour évacuer la puissance résiduelle suite au MDTE et à l'initiateur. Une demi-heure après le premier signal significatif et pendant toute la durée du T.I.P, les températures des branches chaudes sont à des

valeurs inférieures à 100°C , rendant possible le redémarrage des trains RIS-RA en mode RA à débit réduit en vue de l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

Dans le cas d'une taille de brèche plus petite permettant la remise en service des trains RIS-RA à débit réduit et la restauration de la marge à saturation avant 1h30, \square serait amené à effectuer un T.I.P par isolement successif des trains RIS-RA comme présenté dans la section 15.2.4g. Dans ce cas, la puissance résiduelle reste évacuée par au moins un train RIS-RA en mode RA à débit réduit pendant le T.I.P et l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.2.2.2. ÉTAT C2

L'accident en état C2 est couvert par celui en état C1. En effet :

- La puissance résiduelle à évacuer est plus faible en état C2.
- Un des trois trains RIS-RA en mode RA en service initialement est disponible suite au MDTE et à l'initiateur du fait de la prise en compte d'un aggravant sur un diesel ne démarrant pas sur sollicitation et l'hypothèse faite que le train rupté ne participe pas à l'évacuation de la puissance. Pour les plus grandes tailles de brèche, ils sont arrêtés sur seuil de très faible marge à la saturation (Min2p). Leur fonctionnement jusqu'à leur arrêt automatique est favorable pour le refroidissement du primaire.
- La température initiale du circuit primaire est inférieure en état C2.
- Les appoints en eau disponibles en état C2 pour assurer le non découverture du cœur sont identiques à ceux disponibles en état C1.

L'état C2 étant couvert par l'état C1, l'état d'arrêt sûr est également atteint en cas de brèche sur un train RIS-RA en mode RA en état C2.

De la même manière que pour l'état C1, dans le cas d'une taille de brèche plus petite permettant la restauration de la marge à saturation avant 1h30, \square serait amené à effectuer un T.I.P par isolement successif des 4 trains RIS-RA comme présenté dans la section 15.2.4g. Dans ce cas l'état d'arrêt sûr est atteint comme démontré pour l'état C1.

1.6.2.2.3. ÉTAT C2 Solide

La phase moyen terme de l'accident en état C2 solide est présentée au [§ 1.6.2.1.3.](#) (cf. [FIG-15.2.4q.43](#) à [FIG-15.2.4q.48](#)).

30 minutes après le signal d'Injection de Sécurité, \square entre en Conduite Incidentelle Accidentelle (CIA). \square commence par arrêter les GMPP s'ils n'ont pas déjà été arrêtés puis valide le permissif P15. Ensuite il met en service tous les trains RIS-RA disponibles (y compris ceux en attente) en mode RA à débit réduit et abaisse le point de consigne des VDA disponibles de manière à équilibrer primaire et secondaire.

\square suit l'évolution de la marge à la saturation. Si 1h30 après le signal d'IS la marge à la saturation n'a pas été restaurée, \square isole tous les trains RIS-RA et réalisera un T.I.P par dés-isolement séquentiel des trains RIS-RA.

Une fois les trains RIS-RA isolés, \square laisse le niveau pressuriseur remonter \square et la pression se stabiliser à la pression de refoulement de l'ISMP. En état C2 solide, compte tenu des conditions initiales, le pressuriseur se remplit entièrement avant l'atteinte de la pression de refoulement de l'ISMP. Une fois le pressuriseur plein, la pression monte fortement jusqu'à la sollicitation de la première soupape PZR.

Une fois celle-ci refermée, la pression chute à la pression de refoulement de l'ISMP. Les conditions sont donc réunies pour que l'opérateur puisse effectuer le T.I.P.

réalisation du T.I.P. :

Le T.I.P est réalisé par dés-isolément séquentiel des trains RIS-RA. Pour cela ouvre les lignes des trains RIS-RA sans remettre les pompes ISBP en fonctionnement si bien que l'évacuation de puissance par le RIS-RA n'est pas rétablie.

L'opérateur observe une variation de la pression primaire pour identifier le train RIS-RA affecté. Si la pression chute lors du dés-isolément d'un train RIS-RA, l'opérateur peut déclarer le train RIS-RA qu'il vient de connecter non intègre. Si le train testé est au contraire intègre, l'opérateur isole à nouveau le train RIS-RA et passe au suivant.

De façon conservatrice, on suppose que le train rupté est le dernier train testé. Afin de couvrir un fonctionnement avec 4 trains RIS-RA initialement connecté, les quatre trains RIS-RA sont testés (En état C2, 3 ou 4 trains RIS-RA peuvent être en service initialement).

Une fois le train rupté identifié et isolé, remet en service les autres trains RIS-RA en mode RA à débit réduit. Le cœur reste couvert pendant toute la durée de l'accident ([FIG-15.2.4q.46](#)).

Dans l'état C2 solide, aucun des 3 trains RIS-RA en mode RA disponibles initialement ne reste en service pour évacuer la puissance résiduelle au cours de l'accident. Une demi-heure après le premier signal significatif et pendant toute la durée du T.I.P, les températures des branches chaudes sont à des valeurs inférieures à °C, rendant possible le redémarrage des trains RIS-RA en mode RA à débit réduit en vue de l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2](#), est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.2.2.4. ÉTAT C3

1.6.2.2.4.1. Sous-état Ca4

cas des brèches conduisant à l'arrêt des trains RIS-RA :

30 minutes après le signal d'Injection de Sécurité sur le seuil de bas niveau boucle Min1p, entre en CIA. En état Ca4 les GMPP sont à l'arrêt et le permissif P15 est déjà validé.

Si le niveau boucle le permet met en service tous les trains RIS-RA disponibles (y compris ceux en attente) en mode RA à débit réduit pour restaurer la marge à la saturation et abaisse le point de consigne des VDA. Si au bout de 1h30 après le signal d'IS la marge à la saturation n'a pas été restaurée, alors isole tous les trains RIS-RA et réalisera un T.I.P par dés-isolément séquentiel des trains RIS-RA. La réalisation du T.I.P est identique à l'état C2 solide au [§ 1.6.2.2.3](#). Dans ce cas, l'état d'arrêt sûr est atteint comme démontré pour l'état C2 solide.

Dans le cas d'une taille de brèche plus petite permettant la restauration de la marge à saturation avant 1h30, serait amené à effectuer un T.I.P par isolement successif des trains RIS-RA comme présenté dans la section 15.2.4g.

Si le niveau boucle ne permet pas la mise en service des trains RIS-RA à débit réduit (de manière analogue à l'état C1), attendra 1h30 pour isoler tous les trains RIS-RA (et donc la brèche). La réalisation du T.I.P est identique à celle décrite ci-dessus. Dans ce cas, l'état d'arrêt sûr est atteint comme démontré pour l'état C1.

Ainsi, les critères techniques d'acceptation (non découvrément du cœur, évacuation de la puissance résiduelle, cœur sous-critique et rejets radiologiques tolérables) sont donc vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

cas des brèches ne conduisant pas à l'arrêt des trains RIS-RA :

Dans le cas d'une taille de brèche n'entraînant pas l'arrêt des trains RIS-RA sur bas niveau boucle Min2p, suite à la restauration de la marge à la saturation effectuée un T.I.P par isolement successif des trains RIS-RA comme présenté dans la section 15.2.4g. Dans ce cas, le seuil d'arrêt des trains RIS-RA sur bas niveau boucle n'étant pas atteint, le non découvrément du cœur est garanti, la puissance résiduelle reste évacuée par au moins un train RIS-RA en mode RA pendant le T.I.P et l'état d'arrêt sûr est atteint.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Ainsi, les critères techniques d'acceptation (non découvrément du cœur, évacuation de la puissance résiduelle, cœur sous-critique et rejets radiologiques tolérables) sont vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.2.2.4.2. Sous-état Cb1

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du [§ 1.5.1.2.4.1.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) restent respectés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.2.2.4.3. Sous-état Cb2/Cb3

cas 1 – configuration 1 du tableau TAB-15.2.4q.3

La mise en cohérence avec l'état final de conception n'a pas d'impact négatif sur le délai dont dispose pour redémarrer 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit avant l'atteinte du seuil . La remise en service des trains RIS-RA en mode RA à débit réduit garantit l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme.

Les figures [FIG-15.2.4q.49](#) à [FIG-15.2.4q.54](#) présentent l'évolution des paramètres physiques pour cette configuration.

Il n'y a pas de découvrément du cœur ([FIG-15.2.4q.53](#)) ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié.

cas 2 – configuration 2 à 6 du tableau TAB-15.2.4q.3

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du [§ 1.5.1.2.4.2.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) restent respectés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

vidange de l'IRWST et remplissage de la piscine BR – recirculation d'eau dans le BR

Dans les sous-états Cb2/Cb3, le succès du T.I.P ne peut être garanti et n'est donc pas réalisé, la brèche peut rester connectée au CPP. Afin d'assurer le bon fonctionnement des trains RIS-RA en mode RA, lors de l'état d'arrêt sûr, l'IS doit compenser la brèche pour maintenir un niveau d'eau suffisant dans les branches chaudes. Toutefois, le fonctionnement continu de l'Injection de Sécurité ne doit pas engendrer une vidange excessive de l'IRWST, en dessous d'un niveau d'eau critique pour l'intégrité des pompes.

Dans les états Cb2 à D, la cuve communique avec la piscine BR ; l'eau apportée par l'IS peut alors transiter par la piscine BR. En cas de retour d'eau insuffisant vers l'IRWST, ceci peut entraîner l'atteinte du niveau IRWST critique. Afin d'éviter cette situation, on valorise l'ouverture des lignes de vidange PTR (des compartiments cuve et internes de la piscine BR []). Compte-tenu des masses d'eau disponibles à l'intérieur du BR et des diverses rétentions possibles, ces lignes garantissent un débit gravitaire minimum [].

Pour les brèches qui n'arrêtent pas les trains RIS-RA en mode RA sur signal de très bas niveau en branche chaude (Min2p), 2 pompes ISMP injectent au minimum dans le primaire. [] adapte le nombre de pompes ISMP en fonctionnement suivant la taille de la brèche apparue sur le train RIS-RA en mode RA sur information du niveau dans la piscine. Le débit maximal d'une pompe ISMP étant de [] $m^3 \cdot h^{-1}$ (situation réalisée lorsque tout le débit ISMP injecté dans le primaire remplit la piscine), il reste inférieur à la capacité de recirculation de la piscine [] : [] laissera donc au minimum une pompe ISMP en fonctionnement.

Pour les brèches qui arrêtent les trains RIS-RA en mode RA sur signal de très bas niveau en branche chaude (Min2p), le débit minimal de la brèche correspond à celui de 2 pompes ISMP (au moins 2 ISMP injectent dans le circuit primaire) car suite au signal IS le niveau d'eau dans les boucles primaires continue de diminuer.

Suivant les configurations de démarrage des pompes ISBP (cf. tableau [TAB-15.2.4q.3](#)), plusieurs situations apparaissent :

- La brèche est isolée fortuitement par [] (configurations 1, 2 et 3).
- La brèche n'est pas isolée (configurations 4, 5 et 6).

brèches isolées fortuitement par []

Dans la configuration 1, seules 2 pompes ISMP injectent dans le primaire. [] arrête une pompe ISMP et laisse en fonctionnement l'autre pompe. Le débit maximal d'une pompe ISMP étant de [] $m^3 \cdot h^{-1}$ (situation réalisée lorsque tout le débit ISMP injecté dans le primaire remplit la piscine), il reste inférieur à la capacité des lignes de vidange PTR [].

Dans les configurations 2 et 3, 2 pompes ISMP et 1 pompe ISBP injectent dans le primaire. [] arrête les 2 pompes ISMP, puis comme le niveau continue d'augmenter (la brèche est isolée fortuitement), il arrête également la pompe ISBP. Il redémarre ensuite 4 pompes ISMP (au minimum 2 injectent dans le primaire) et les arrête progressivement pour n'en laisser qu'une en fonctionnement. Le débit maximal d'une pompe ISMP étant de [] $m^3 \cdot h^{-1}$ (situation réalisée lorsque tout le débit ISMP injecté dans le primaire remplit la piscine), il reste inférieur à la capacité de recirculation de la piscine [].

brèches non isolées

Dans les configurations 4 et 5, 2 pompes ISMP et 1 pompe ISBP injectent dans le primaire. Le débit minimal des brèches qui arrêtent les trains est de [] $m^3 \cdot h^{-1}$ (le niveau dans le primaire continue de diminuer bien que 2 ISMP injectent dans le primaire []). Pour l'évacuation de la puissance sur le long terme, [] arrête progressivement les pompes ISMP et laisse fonctionner une pompe ISBP. Le débit maximal d'une pompe ISBP étant de [] $m^3 \cdot h^{-1}$, le débit maximal à recirculer par les lignes de vidange PTR est de [] $m^3 \cdot h^{-1}$, ce qui est inférieur au débit de recirculation [].

La dernière configuration (configuration 6) n'est pas impactée par la mise en cohérence avec l'état final de conception.

Dans l'ensemble des configurations présentées ci-dessus, il n'y a pas de découvrément du cœur, la puissance résiduelle est évacuée par les trains RIS-RA remis en service [] en mode RA à débit réduit, les rejets radiologiques restent tolérables (pas de découvrément du cœur) et la sous-criticité est garantie (absence d'apport d'eau claire et concentration en bore initiale supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement).

De plus, la mise en place d'une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST permet d'assurer le bon fonctionnement des pompes ISMP et ISBP.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.2.2.5. ÉTAT D

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du [§ 1.5.1.2.5.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) restent respectés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.3. BRECHE SITUÉE A L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE PRIMAIRE

1.6.3.1. ATTEINTE DE L'ÉTAT CONTRÔLÉ

1.6.3.1.1. ÉTAT C1, C2 et C2 solide

Avec la mise en cohérence avec l'état final de conception, en états C2 et C2 solide, tous les trains RIS-RA sont relestés suite au MDTE ; mais un seul permet de refroidir le primaire.

En état C1, du fait de l'initiateur et de l'aggravant, après le MDTE, il ne reste plus de trains RIS-RA en mode RA pour évacuer la puissance résiduelle. La puissance résiduelle est alors évacuée par les GV qui restent disponibles. L'inventaire en eau du circuit primaire se stabilise suite à l'isolement automatique de la brèche et il n'y a pas de découverture du cœur.

En états C2 et C2 solide pour les brèches ne conduisant pas à l'arrêt des trains RIS-RA sur faible marge à la saturation, la puissance résiduelle est évacuée par les trains RIS-RA restant en service. En effet un seul train RIS-RA en mode RA permet d'évacuer la puissance totale dans les états C2 et C2 solide (cf. section 15.2.4a).

Les brèches, dans les états C2 et C2 solide, conduisant à l'arrêt des trains RIS-RA sur faible marge à la saturation, sont couvertes par les brèches en état C1 comme démontré au [§ 1.6.2.1.2.](#)

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découverture du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état contrôlé est atteint.

1.6.3.1.2. ÉTAT C3

1.6.3.1.2.1. Sous état Ca4

Dans le sous-état Ca4, l'état contrôlé est identique à l'état contrôlé présenté au [§ 1.5.2.1.2.1.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) sont respectés ; l'état contrôlé est atteint.

Dans le cas où le primaire est initialement plein l'isolement automatique de la brèche sur haut niveau dans le BAS intervient avant l'atteinte du seuil de bas niveau boucle Min1p. L'inventaire en eau du primaire est stable (la brèche étant isolée) et la puissance est évacuée par au moins un train RIS-RA (cf. section 15.2.2w)

Dans ce cas l'état contrôlé est également atteint. En effet, la puissance résiduelle est évacuée par au moins un train RIS-RA, il n'y a pas de découverture du cœur (brèche isolée avant l'atteinte du seuil de bas niveau boucle Min1p), les rejets radiologiques restent tolérables (pas de découverture du cœur) et la sous-criticité du cœur est garantie (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt pour rechargement et pas d'apport d'eau claire).

1.6.3.1.2.2. Sous-état Cb1

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du [§ 1.5.2.1.2.1.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) restent respectés ; l'état contrôlé est atteint.

1.6.3.1.2.3. Sous-état Cb2/Cb3

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du [§ 1.5.2.2.2.2.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) restent respectés ; l'état contrôlé est atteint.

1.6.3.1.3. ÉTAT D

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du [§ 1.5.2.1.3.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) restent respectés ; l'état contrôlé est atteint.

1.6.3.2. ATTEINTE DE L'ÉTAT D'ARRÊT SÛR**1.6.3.2.1. ÉTAT C1, C2 et C2 solide**

L'accident présenté dans le cadre de l'étude à moyen terme des états C1, C2 et C2 solide a les mêmes caractéristiques que l'accident décrit au [§ 1.6.3.1.1.](#)

Suite à l'isolement automatique de la brèche s après le début de l'accident et à l'activation de l'IS (cf. [§ 1.6.3.1.1.](#)), la pression primaire augmente et se stabilise au moins à la pression de refoulement de l'ISMP. L'isolement automatique de la brèche et le démarrage de l'IS assurent le non-découvrement du cœur.

Parallèlement, 30 minutes après le signal d'IS, stabilise Tric si la marge à la saturation est suffisante. Dans le cas contraire il effectue l'abaissement du point de consigne des vannes du VDA des 2 GV disponibles dans le but de réaliser un refroidissement du primaire avec un gradient de 50°C/h..

Les conditions de fonctionnement à moyen terme sont alors identiques à celles décrites dans la section 15.2.4g. Une fois que la brèche a été isolée, la marge à la saturation est restaurée. effectue alors un T.I.P par isolement séquentiel des trains RIS-RA. Pendant toute la durée du T.I.P, au moins un train RIS-RA est disponible en mode RA à débit réduit. L'évacuation de puissance résiduelle est donc assurée.

Dans l'état C1, aucun train RIS-RA en mode RA n'est retesté suite au cumul du MDTE, à l'application de l'aggravant et à l'initiateur. Dans le cas des brèches pour lesquelles le signal d'IS n'apparaît pas avant l'isolement automatique de la brèche, l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée via la circulation naturelle qui s'établit avec les 2 GV disponibles puis par la mise en service d'un train RIS-RA en mode RA à débit réduit.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration d'arrêt à froid), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrement du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.3.2.2. ÉTAT C3s**1.6.3.2.2.1. Sous-état Ca4**

Suite à l'isolement automatique de la brèche et à l'activation de l'IS, la pression primaire augmente et se stabilise au moins à la pression de refoulement de l'ISMP. L'isolement automatique de la brèche et le démarrage de l'IS assurent le non-découvrement du cœur.

Comme décrit au [§ 1.6.3.2.1.](#), 30 minutes après le signal d'IS, stabilise Tric si la marge à la saturation est suffisante. Dans le cas contraire, il effectue l'abaissement du point de consigne des

vannes du VDA des 2 GV disponibles dans le but de réaliser un refroidissement du primaire avec un gradient de 50°C/h.

Les conditions de fonctionnement à moyen terme sont alors identiques à celles décrites dans la section 15.2.4g. Suite à la restauration de la marge à la saturation, effectue alors un T.I.P par isolement séquentiel des trains RIS-RA. Pendant toute la durée du T.I.P, au moins un train RIS-RA est disponible en mode RA à débit réduit. L'évacuation de puissance résiduelle est donc assurée.

Dans le cas où le primaire est initialement plein l'isolement automatique de la brèche sur haut niveau dans le BAS intervient avant l'atteinte du seuil de bas niveau boucle Min1p. L'inventaire en eau du primaire est donc stable et le non découvrément du cœur est assuré. Puisque le seuil de bas niveau boucle Min1p sollicitant l'IS n'est pas atteint, le seuil Min2p arrêtant les trains RIS-RA ne l'est pas non plus. La puissance est donc évacuée par au moins un train RIS-RA (cf. section 15.2.2w).

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (grappes insérées, concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Il n'y a pas de découvrément du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) est vérifié. L'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.3.2.2.2. Sous-état Cb1

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du [§ 1.5.2.2.2.2.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) restent respectés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.3.2.2.3. Sous-état Cb2/Cb3

La mise en cohérence avec l'état final de conception n'a pas d'impact négatif sur le délai dont dispose pour redémarrer 2 trains RIS-RA en mode RA à débit réduit avant l'atteinte du seuil . La remise en service des trains RIS-RA garantit l'évacuation de la puissance résiduelle à long terme.

Les figures [FIG-15.2.4q.55](#) à [FIG-15.2.4q.60](#) présentent l'évolution des paramètres physiques pour une brèche DN250. Cette brèche est isolée s après le début de l'accident suite au signal de haut niveau dans le BAS. Il est fait l'hypothèse pénalisante qu'aucune pompe ISBP n'injecte dans le primaire. Par ailleurs, 2 pompes ISMP injectent dans le primaire. Il n'y a pas de découvrément du cœur ([FIG-15.2.4q.59](#)) ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Dans toutes les configurations, lorsque le niveau d'eau dans le primaire devient suffisant, l'opérateur arrête les pompes ISMP et ISBP qui injectent afin de stabiliser le niveau.

Compte tenu des conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement), la sous-criticité du cœur est garantie (pas d'apport d'eau claire).

Dans l'ensemble des configurations présentées ci-dessus, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) sont vérifiés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.3.2.3. ÉTAT D

La mise en cohérence avec l'état final de conception ne modifie pas le contenu du [§ 1.5.2.2.3.](#) Ainsi, les critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 1.2.2.](#) restent respectés ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

1.6.4. PRISE EN COMPTE DE MODIFICATIONS COMPLEMENTAIRES EN COHERENCE AVEC L'ETAT FINAL DE CONCEPTION**1.6.4.1. Augmentation du temps de récupération du refroidissement du RIS-RA suite à un MDTE**

Le délai nécessaire à la récupération de la fonction de refroidissement d'un train RIS-RA en mode RA à la suite d'un MDTE est augmenté [1]. Cette augmentation impacte les états pour lesquels un train RIS-RA sain est relesté en mode RA suite au cumul MDTE pour un accident de brèche sur un train RIS-RA (états C2, C3 et D).

Considérant que la durée supplémentaire avant de récupérer le refroidissement du train RIS-RA en mode RA suite à un MDTE est de quelques secondes, l'impact de cette modification est négligeable. En effet, comparativement à la durée des accidents étudiés ici, ce délai supplémentaire est très faible. Par conséquent, cette modification ne remet pas en cause le respect des critères techniques d'acceptation pour les états de fonctionnement concernés.

1.6.4.2. Prise en compte de l'échauffement des colonnes de référence

L'échauffement des colonnes de référence consécutif à des conditions d'ambiance accidentelle implique l'apparition d'un biais sur la mesure, non pris en compte dans le remontage d'incertitudes des mesures de niveau. L'ajout de ce poste supplémentaire peut conduire à un dépassement du requis en ambiance dégradée pris en compte dans cette étude.

Une analyse d'impact a été menée (cf. [1]) et a démontré l'absence d'impact sûreté de cette modification.

1.6.4.3. Analyse d'acceptabilité de la non robustesse de la disposition de sûreté « Mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA (F1B manu) »

Une analyse a été réalisée afin de vérifier la robustesse des différentes fonctions de sûreté F1 (cf. [1]) à l'application du CDU telle que requise dans le sous-chapitre 3.2 du Rapport de Sûreté de l'EPR Flamanville. Lors de cette analyse, la disposition de sûreté « Mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA (F1B manu) » depuis la salle de commande a été identifiée comme non robuste au CDU.

Lors de la réalisation du T.I.P., l'opérateur demande l'arrêt d'un train RIS-RA en mode RA. En cas de défaillance (aggravant), la pompe ne peut pas s'arrêter depuis la salle de commande. L'opérateur pourrait alors fermer la ligne d'aspiration du train sans vérifier l'arrêt effectif de la pompe ce qui peut mener à l'endommagement du train et à l'apparition d'une fuite pouvant fausser le résultat du T.I.P. Pour éviter cette situation, l'opérateur doit vérifier que la pompe est bien arrêtée. Si ce n'est pas le cas, un arrêt en local est nécessaire allongeant la durée du T.I.P. de 30 minutes. L'analyse d'impact menée (cf. [1]) a démontré l'acceptabilité, dans les états C et D, d'une action en local de 30 minutes pour arrêter le train RIS-RA en mode RA affecté par la défaillance à l'arrêt manuel depuis la salle de commande.

1.7. CONCLUSION

L'étude basée sur l'état final de conception montre que pour l'ensemble des sous-états des états C et D et pour l'ensemble des brèches isolables considérées (à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte), les critères techniques d'acceptation mentionnés au § 1.2.2. sont vérifiés :

- Il n'y a pas de découverture du cœur.
- La puissance est évacuée à long terme par les trains RIS-RA en mode RA.
- La recirculation entre la piscine BR et l'IRWST est assurée dans les sous-états Cb2/Cb3 et D.
- La sous criticité du cœur est garantie du fait de la concentration de bore initiale du circuit primaire et de l'absence d'apport d'eau claire.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

2. ÉTAT E

2.1. DÉFINITION DE L'ACCIDENT

La brèche sur le RIS en mode RA est définie comme une brèche équivalente à une brèche de diamètre nominal inférieur ou égal à \square mm \square , située dans l'enveloppe du circuit RIS-RA en mode RA. La brèche est supposée isolable, ce qui signifie qu'elle est localisée :

- en aval du 2^{ème} organe d'isolement \square , sur la ligne d'aspiration RRA connectée en branche chaude,
- et en amont du clapet anti-retour \square , sur la ligne de refoulement, connectée au piquage d'injection RIS en branche froide.

La brèche peut être située soit à l'intérieur de l'enceinte du Bâtiment Réacteur, soit à l'extérieur, dans le BAS (Bâtiment des Auxiliaires de Sauvegarde).

Les débits brèche retenus lors de l'analyse de sûreté sont compris entre \square m³/h et \square m³/h.

L'état E est un état d'arrêt à froid. La cuve du réacteur est ouverte, le circuit primaire est dépressurisé, la piscine BR est pleine et la température du primaire est inférieure à 55°C avec toutes les pompes primaires arrêtées. L'état E peut se décomposer en deux sous-états :

- état E hors manutention combustible : Les assemblages de combustible sont dans la cuve et les assemblages usés sont dans la piscine BK. Le tube de transfert entre les deux piscines peut être ouvert (commande groupée activée) ou fermé (commande groupée non activée). Pour assurer le refroidissement de la piscine BR, trois trains RIS-RA sont en service. Le 4^{ème} train RIS-RA est en stand-by. La piscine BK est refroidie par un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine. L'état hors manutention combustible débute au plus tôt 45,5h après l'arrêt du réacteur et dure minimum 20h.
- état E chargement – déchargement (commande groupée activée) : Côté BR, un assemblage de combustible est extrait de la cuve. Il transite soit dans la piscine réacteur « principale », soit dans l'un des compartiments de transfert ou dans le tube de transfert. Côté BK, un assemblage de combustible peut être en cours de manutention dans la piscine BK. Compte tenu du niveau de puissance résiduelle retenue trois trains RIS-RA sont en service pour assurer le refroidissement de la piscine. La piscine BK est, elle, refroidie par deux trains PTR. Le tube de transfert entre BR et BK est ouvert. L'état chargement-déchargement débute au plus tôt 65,5h après l'arrêt du réacteur. L'état E se termine au plus tôt à 111h.

Une brèche sur un train RIS-RA en mode RA a les conséquences suivantes :

- perte de réfrigérant primaire, éventuellement accompagnée d'une élévation de température du cœur du réacteur,
- vidange des piscines BR et BK si le tube de transfert est ouvert et augmentation de leurs températures,
- chargement de l'enceinte par une surpression due à l'émission de masse et d'énergie.

2.2. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT : PHÉNOMÈNES REDOUTÉS ET CRITÈRES D'ÉTUDES

2.2.1. Description de l'accident

La description des différents scénarios pouvant se dérouler est exposée ci-après.

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. La fermeture du tube de transfert \square , elle n'est pas valorisable avant \square h après le premier signal significatif. Pour ce scénario, lorsque le tube de transfert est ouvert initialement, sa fermeture au cours de la séquence accidentelle n'est pas prise en compte pour la démonstration de sûreté.

2.2.1.1. Cas « Tube de transfert fermé (état E hors manutention combustible, commande groupée non activée) »

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert initialement fermé), la brèche située sur un train RIS-RA en mode RA entraîne la perte de l'inventaire en eau de la piscine BR. L'inventaire en eau de la piscine de désactivation (piscine BK) n'est pas dégradé suite à l'apparition de la brèche sur le train RIS-RA puisque les deux piscines sont isolées.

La séquence des événements suite à l'apparition de la brèche est la suivante :

- perte du train RIS-RA portant la brèche. Le MDTE cumulé à l'évènement initiateur implique la perte des systèmes de refroidissement pendant [] s pour la piscine BR,
- Deux trains RIS-RA sont retestés automatiquement, dont l'un à la boucle rompue. Un train RIS-RA fonctionne de manière efficace (le 3^{ème} train RIS-RA est affecté par l'aggravant).
- démarrage de l'injection de sécurité suite à l'atteinte du seuil Min1p « bas niveau boucle »,
- Côté BK, le train PTR principal initialement en service est perdu par l'aggravant. Le second train PTR principal est redémarré [] pour assurer le refroidissement de la piscine BK.

2.2.1.2. Cas « Tube de transfert initialement ouvert et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Avec le tube de transfert initialement ouvert et maintenu ouvert, la brèche entraîne la perte de l'inventaire en eau de la piscine BR et de la piscine BK.

La séquence des événements suite à l'apparition de la brèche est la suivante :

- perte du train RIS-RA portant la brèche : Le MDTE est cumulé à l'évènement initiateur. Même si par conception les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux, il est considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR [] et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Côté BR, le MDTE implique la perte des systèmes de refroidissement pendant [] s ;
- Un train PTR et deux trains RIS-RA sont retestés automatiquement, dont l'un connecté à la boucle rompue. Un train RIS-RA et un train principal PTR fonctionnent de manière efficace (le 3^{ème} train RIS-RA et le 2^{ème} train principal PTR sont affectés par l'aggravant) ;
- atteinte du niveau [] m dans les piscines BR et BK : isolement automatique des trains RIS-RA et perte de refroidissement de la piscine BR. La perte de refroidissement de la piscine BK intervient suite au déclenchement des trains PTR lorsque le niveau d'eau dans la piscine BK passe en dessous de [] m lors du TIP (Test d'Intégrité Primaire).

2.2.2. Critères d'études

En état E commande groupée non activée (Etat E « hors manutention combustible »), les assemblages sont dans la cuve et il n'y a pas de communication entre les piscines BR et BK. Ainsi, les critères techniques d'acceptation à respecter côté BR sont ceux de la section 15.0.2 et sont identiques à ceux de l'état D (voir paragraphe 2.2.3). Les critères applicables pour la piscine BK sont ceux de la section 15.0.3 et sont identiques à ceux énoncés ci-dessous pour l'état E commande groupée activée.

En état E commande groupée activée, les critères techniques d'acceptation à vérifier sont ceux définis dans la section 15.0.3 relative à la piscine combustible :

- maintien permanent de la sous-criticité,
- absence de dénoyage des assemblages de combustible :
 - non-découvrement du cœur en état E hors manutention combustible,
 - non-dénoyage du combustible en cours de manutention [] en état E chargement-déchargement,

- évacuation de la puissance résiduelle BR par le système RIS-RA,
- évacuation de la puissance résiduelle BK par le ou les trains PTR principaux,
- Les rejets radiologiques restent tolérables.

Ainsi que les critères complémentaires suivants :

- non ébullition dans la piscine BR,
- non ébullition dans la piscine BK,
- maintien d'une marge suffisante vis-à-vis de l'ébullition de l'eau des piscines BR et BK \square : Pour les situations PCC de vidange, le dépassement transitoire de température \square est admissible \square .

2.3. MOYENS DE PROTECTIONS

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), les signaux de protection crédités sont le signal automatique d'Injection de Sécurité et le signal d'arrêt automatique des trains RIS-RA en mode RA. Dans cette configuration le signal d'IS est émis sur l'atteinte du seuil Min1p : « bas niveau boucle et le signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA est émis à l'atteinte du seuil Min2p : « bas niveau boucle ».

En état E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), la fermeture des vannes d'isolement RIS-RA classée F1A intervient sur l'atteinte du seuil Min 1 : « bas niveau piscine transfert BR » (cf. figure [FIG-15.2.4q.61](#)).

Le temps de fermeture automatique de la vanne d'isolement RIS-RA considéré est de \square s.

En cas de brèche sur un train RIS-RA en mode RA située à l'extérieur de l'enceinte, le signal d'isolement est émis à l'atteinte du seuil Max2p : « haut niveau dans le BAS ».

Le ou les trains principaux PTR initialement en service pour le refroidissement de la piscine de désactivation sont arrêtés automatiquement sur l'atteinte du seuil Min 4 BK « bas niveau piscine BK » \square .

À l'atteinte du niveau piscine \square m (MIN1 BR ou MIN3 BK), les vannes de pied de compartiment piscine sont fermées suite à l'émission de l'ordre d'isolement automatique classé F1A.

2.4. HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

2.4.1. État initial

En état E, à pression atmosphérique dans l'enceinte, la température du circuit primaire et de la piscine BR est de $\square^{\circ}\text{C}$ \square . L'évacuation de la puissance résiduelle du primaire est assurée par trois trains RIS-RA en mode RA.

La température initiale de la piscine BK est de $\square^{\circ}\text{C}$ (critère STE), et le refroidissement de la piscine de désactivation est assuré par un train PTR principal lorsque la commande groupée est non activée et par deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine.

En état E, la concentration initiale en bore des piscines BR et BK est supérieure ou égale à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement.

Dans les études d'accidents, le niveau d'eau initial pour les piscines BR et BK considéré est de \square m.

Le tube de transfert entre les piscines BR et BK peut être ouvert ou fermé. Lorsqu'il est ouvert initialement, il est supposé ouvert pendant toute la séquence accidentelle.

L'activation des protections valorisées dans les séquences accidentelles, par rapport à la position initiale du tube de transfert sont décrites au [§ 2.3.](#)

2.4.2. Choix du critère de l'aggravant

Compte tenu de la prise en compte du MDTE à l'instant initial de l'accident, un aggravant possible est la perte d'un diesel de secours principal, ne démarrant pas sur sollicitation et impliquant côté BR la perte d'un train RIS-RA, d'un train ISMP et côté BK d'un train PTR.

Un autre aggravant possible serait la prise en compte de la défaillance à l'arrêt manuel du train RIS-RA en mode RA sur le train portant la brèche. Ce scénario est détaillé spécifiquement en [□](#).

Les résultats concernant les deux aggravants possibles sont présentés par la suite.

2.4.3. Choix de la maintenance préventive

L'indisponibilité d'un système de sauvegarde ou d'un système de refroidissement de la piscine de désactivation pour cause de maintenance préventive n'est pas postulée de façon déterministe dans l'analyse de sûreté des conditions de fonctionnement PCC dans les états d'arrêt (C à F).

En état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, une maintenance est prise en compte sur un train ISMP.

En état E commande groupée activée, une maintenance préventive est postulée sur une division électrique, se traduisant par l'indisponibilité d'un train ISMP et d'un train RIS-RA.

2.4.4. Hypothèses spécifiques

2.4.4.1. Puissance résiduelle

Les puissances résiduelles des piscines BR et BK sont supposées constantes sur toute la durée de la séquence accidentelle.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BR, pour les calculs réalisés avec une puissance nominale de 4300 MW est égale à [□](#) MW en état E « hors manutention combustible » et [□](#) MW en état E « chargement-déchargement ».

La puissance résiduelle BR retenue est basée sur la courbe de puissance pénalisée figurant dans le sous-chapitre 15.1 [□](#) ainsi que sur le découpage du planning d'arrêt de tranche. La puissance totale à extraire du primaire par les trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement, est la somme de la puissance résiduelle et de la puissance transmise au fluide primaire par les pompes ISBP en service.

La puissance résiduelle retenue dans la piscine BK est égale à [□](#) MW en état « chargement-déchargement ». Elle est maximale juste après le déchargement du dernier assemblage combustible du réacteur. Cette puissance a été obtenue à partir de la puissance résiduelle côté BR [□](#) à laquelle on ajoute la puissance liée au combustible usagé présent dans la piscine de désactivation en fin de cycle [□](#).

2.4.4.2. Hypothèses systèmes fluides et régulations

trains RIS-RA :

En état E hors manutention combustible, on considère que trois trains RIS-RA en mode RA sont en service avant l'apparition de la brèche. Le 4^{ème} train est en stand-by.

En état E chargement/déchargement (commande groupée activée), compte tenu du niveau de puissance résiduelle retenue, trois trains RIS-RA sont supposés en fonctionnement à l'instant initial.

On postule la perte du train RIS-RA portant la brèche. Ce train n'est pas valorisé pour le refroidissement du primaire. Un second train RIS-RA est perdu du fait de l'aggravant dans le cas où

l'aggravant postulé est la perte d'un diesel principal. Si l'aggravant postulé est la défaillance à l'arrêt manuel du train RIS-RA en mode RA depuis la salle de commande, le second train RIS-RA est considéré disponible pour évacuer la puissance résiduelle.

Ainsi en état E « hors manutention combustible » avec la commande groupée non activée, deux trains RIS-RA restent disponibles pour évacuer la puissance contre un seul pour l'état E pour « chargement/déchargement » (commande groupée activée).

GMPP :

En état E, tous les GMPP sont à l'arrêt.

IS :

L'aggravant appliqué à un diesel de secours principal (cumul MDTE) entraîne la perte d'un train ISMP. Un 2^{ème} train ISMP est indisponible suite à la maintenance. Le train connecté à la brèche est supposé perdu à la brèche. Seul un train ISMP est donc disponible pour gérer l'accident.

En état E, le débit d'injection des pompes ISMP est pris à sa valeur minimale \square pour la démonstration de sûreté. L'analyse de la recirculation est elle effectuée avec le débit maximal de l'ISMP \square . La température initiale de l'IS est identique à celle de l'IRWST \square .

PTR :

Le refroidissement de la piscine BK est assuré un train PTR lorsque la commande groupée est non activée et par les deux trains PTR principaux lorsque la commande groupée est activée ou qu'au moins un assemblage combustible a été déchargé en piscine. Les trains PTR principaux sont refroidis par le RRI. Le 3^{ème} train PTR, refroidi par EVU intermédiaire n'est pas valorisé dans la séquence accidentelle étudiée. Aucune maintenance préventive n'est prévue sur les trains PTR principaux.

La prise en compte de l'aggravant sur un diesel de secours principal (en cas de MDTE) entraîne la perte d'un train principal PTR. Un seul train PTR principal est alors disponible pour le refroidissement de la piscine BK.

Les caractéristiques thermohydrauliques du PTR sont mentionnées en [A- -15.2.4q.1](#).

Le délai de remise en service des trains PTR et d'atteinte du plein débit est de \square min depuis la salle de commande.

vannes de fond de piscine BR :

Les trois vannes F1A de pied de compartiments (cuve, internes, transfert) sont pré-positionnées ouvertes en état E. Les deux vannes communes en aval des vannes de pied de compartiments vers l'IRWST sont fermées et assorties d'une condamnation administrative après l'activation de la commande groupée.

Pour la mise en place de la recirculation en état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), l'ouverture des deux vannes communes en aval des vannes de pied de compartiments vers l'IRWST (cuve, internes, transfert) est demandée. Cependant, l'ouverture d'une des deux vannes suffit à garantir le débit de recirculation minimal requis.

MDTE :

Le MDTE est postulé dès l'événement initiateur conformément à la section 15.0.2.

IRWST :

Avant l'activation de la commande groupée, le volume minimal disponible dans l'IRWST est considéré de manière conservatrice à 0 m^3 . Une fois la commande groupée activée, le volume minimal disponible passe à 0 m^3 . Sa température initiale est la même que celle de la piscine BR 0 .

Le fonctionnement de l'ISMP et de l'ISBP requiert un niveau minimal 0 dans l'IRWST pour éviter les phénomènes de cavitation et de vortex, soit un volume minimal 0 .

Une recirculation entre l'IRWST et la piscine BR est mise en place, pour assurer une réalimentation constante.

En états E « chargement-déchargement » et « hors manutention combustible » avec la commande groupée activée (tube de transfert ouvert), la recirculation est mise en place par l'ouverture des vannes d'isolement, classées F1A, de la ligne de trop-plein compartiment cuve vers l'IRWST. La tuyauterie de la ligne de trop-plein de la piscine BR 0 , permet un débit de recirculation maximal 0 lorsque celle-ci est noyée.

En état E hors manutention combustible avec la commande groupée non activée (tube de transfert fermé), une recirculation peut être réalisée par les lignes de fond de piscine BR comme en état D. Dans cette situation la recirculation par les lignes de fond de piscine est acceptable étant donné que tous les assemblages sont dans la cuve et que les piscines BR et BK sont isolées.

La démonstration de la capacité à mettre en place une recirculation entre la piscine BR et l'IRWST a été faite en prenant en compte un volume de rétention conservatif égal à celui des scénarios RRC-A 0 .

2.4.4.3. Autres systèmes

JAC/JPI :

En conditions PCC, l'intégralité du volume JAC/JPI ne peut être considérée dans la mesure où il est nécessaire de garantir la disponibilité d'une réserve d'eau suffisante en cas de cumul incendie. La réserve d'eau « libre » pour restaurer le niveau d'eau dans le PTR est de 0 . Le débit d'injection du JAC/JPI (classé F1B) est pris à sa valeur minimal soit 0 . Le JAC/JPI peut être nécessaire pour remonter le niveau de la piscine BK 0 afin de reconnecter les trains PTR principaux.

casé-siphons :

Les tuyauteries connectées à la piscine de désactivation sont équipées de dispositifs passifs permettant l'arrêt de la vidange.

Les altimétries de désamorçage des casé-siphons sur les trains PTR principaux sont situées 0 à l'aspiration, et 0 au refoulement.

Le circuit de purification du BK porte des casé-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées 0 à l'aspiration et au refoulement.

Le circuit de purification du BR porte des casé-siphons dont les altimétries de désamorçage sont situées 0 au niveau du refoulement.

Ces altimétries de désamorçage garantissent l'isolement de la brèche lorsqu'elles sont franchies.

2.5. ANALYSE – ÉTAT E

2.5.1. Cas « brèche à l'intérieur de l'enceinte »

2.5.1.1. Cas « Tube de transfert fermé (état E hors manutention combustible commande groupée non activée) »

Les piscines BR et BK sont totalement découplées, le tube de transfert est fermé.

Côté BK, il n'y a pas de perte d'inventaire en eau et, suite à la perte du train PTR initialement en service (aggravant), [] mettra en service le second train PTR pour évacuer la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Côté BR, l'état D est enveloppe de l'état E hors manutention combustible tube de transfert initialement fermé. La démonstration de l'atteinte de l'état d'arrêt sûr réalisée dans le § 1. en état D garantit l'atteinte de l'état d'arrêt sûr en état E hors manutention combustible avec le tube de transfert initialement fermé (commande groupée nonactivée).

La puissance résiduelle en état D est supérieure à la puissance résiduelle en état E tandis que le nombre de trains RIS-RA valorisés pour évacuer la puissance est identique.

Le TIP réalisé par [] en état E hors manutention combustible tube de transfert initialement fermé est identique au TIP réalisé en état D. En fin de TIP, l'opérateur connecte les trains RIS-RA sains pour assurer l'évacuation de puissance résiduelle à long terme (voir section 15.2.2w). La brèche étant isolée, aucune recirculation par les lignes de fond de piscine ne sera mise en place.

Côté BR, le maintien permanent de la sous-criticité est garanti par les conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement) et l'absence d'apport d'eau claire.

Comme démontré en état D, il n'y a pas de découverture du cœur, les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Dans cette configuration, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. est respecté ; l'état d'arrêt sûr est alors atteint.

2.5.1.2. Cas « Tube de transfert ouvert initialement et maintenu ouvert pendant toute la séquence accidentelle (états E chargement-déchargement et hors manutention combustible commande groupée activée) »

Suite au MDTE postulé au moment de l'initiateur, par conception les trains PTR sont retestés automatiquement suite au démarrage des diesels principaux. Il est toutefois considéré de façon conservatrice un démarrage manuel des trains PTR [] et une perte de refroidissement de la piscine de désactivation associée []. Côte BR, le MDTE implique la perte momentanée des systèmes de refroidissement [].

Dans ce scénario, entre l'apparition de la brèche et 30 min après le signal consécutif à l'atteinte du niveau piscine de [] m, le lancement de la recherche de fuite en local côté BK et le redémarrage manuel des trains PTR sont les seules actions valorisées.

Suite à la perte de deux trains RIS-RA (aggravant et brèche) dès l'instant initial, un train reste disponible pour évacuer la puissance du primaire. Ce train RIS-RA ne permet pas de maintenir la température du primaire à []°C. On considère donc qu'il y a échauffement de la piscine BR jusqu'à l'atteinte de la température de stabilisation. Cet échauffement est pris en compte dans l'analyse de sûreté.

Lors de la réalisation de la 1^{ère} action opérateur considérée 30 min après le signal d'isolement automatique des trains RIS-RA, [] se base sur le niveau piscine pour choisir la logique de recherche de fuite à suivre. [] procède au TIP permettant d'identifier le train RIS-RA portant la brèche.

Le cas le plus pénalisant, celui qui entraîne la plus longue perte de refroidissement de la piscine BR, est obtenu lorsque [] teste en premier le train portant la brèche indépendamment de l'aggravant considéré. En effet, le TIP état réalisé par dès-isolement séquentiel des trains RIS-RA, si [] teste en premier le train sain, la capacité d'évacuation de la puissance résiduelle sera immédiatement récupérée et ne sera plus perdue.

Suite à l'identification du train portant la brèche, l'opérateur procède à la restauration de l'inventaire en eau via le JAC/JPI et l'ISMP pour la reconnexion d'un train PTR [] (dans les cas où le niveau de la

piscine BK passe en dessous de [] m au cours du TIP). [] met ensuite en place une recirculation pour refroidir plus rapidement la piscine BR par la ligne de trop plein.

Le niveau minimum atteint dans les piscines BR et BK pendant le TIP, avant l'identification du train rupté et l'isolement de la brèche par [] est de [] m, le critère technique d'acceptation relatif au non-dénoyage des assemblages en manutention [] est donc respecté.

Côté BK, la température moyenne maximale atteinte avant la remise en service d'un train PTR est égale à []°C en état « hors manutention combustible » et []°C en état « chargement-déchargement ». Elle reste inférieure à la température limite relative au respect du critère mentionné au § 2.2.2. []. Avec un train PTR assurant le maintien de la température de la piscine BK en dessous de []°C, la température finale de la piscine BK reste inférieure à []°C.

Côté BR, concernant les critères de température, l'état E « hors manutention combustible » est enveloppe de l'état « chargement-déchargement » puisque la puissance résiduelle en état E « hors manutention combustible » est plus élevée. La température moyenne maximale atteinte au cours de la séquence accidentelle est [] en état E « hors manutention combustible » et de [] en état E « chargement-déchargement ». Les températures maximales atteintes dans la piscine BR au cours de l'accident restent donc inférieures au critère [] mentionné au § 2.2.2. Pour une puissance résiduelle de [] MW (Etat E « hors manutention combustible » à 4300 MW et []%), la température de stabilisation est de []°C. La température finale de la piscine BR reste donc inférieure à 80°C.

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible et pas d'ébullition dans les piscines BR et BK ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

Côté BK, le maintien permanent de la sous-criticité est garanti par conception par les râteliers de stockage et par le respect du critère de non-découvrement des assemblages de combustible.

Côté BR, la concentration en bore est supérieure à la concentration en bore de l'arrêt pour rechargement. Par ailleurs, une fois la brèche isolée, l'appoint en eau est effectué par l'ISMP. Le maintien de la sous-criticité est donc assuré.

Les résultats de ce cas d'analyse sont mentionnés dans les tableaux [TAB-15.2.4q.16](#) et [TAB-15.2.4q.17](#). Ces tableaux présentent les températures des piscines avant la remise en service du train RIS-RA sain. Ainsi, pour les débits brèches les plus élevés, compte tenu de la rapidité du T.I.P., les températures des piscines BR et BK peuvent être plus faibles que la température de stabilisation à la fin de l'accident.

Dans le cas de l'analyse de l'aggravant sur le non arrêt d'un train RIS-RA en mode RA (cf. []), les résultats sont mentionnés dans les tableaux [TAB-15.2.4q.18](#) et [TAB-15.2.4q.19](#). La température maximale atteinte dans les piscines BR et BK reste inférieure à 100 °C. Deux trains RIS-RA en mode RA sont en service et permettent de maintenir la piscine BR sous 80 °C. De même, les deux trains PTR en service maintiennent la piscine BK sous 80 °C.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au § 2.2.2. est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint.

2.5.2. Cas « brèche à l'extérieur de l'enceinte »

2.5.2.1. Cas « Tube de transfert initialement fermé avec commande groupée non activée »

Les piscines BR et BK sont totalement découplées, le tube de transfert étant fermé (commande groupée non activée).

Côté BK, il n'y a pas de perte d'inventaire en eau et, suite à la perte du train PTR initialement en service (aggravant), [] mettra en service le second train PTR pour évacuer la puissance résiduelle. L'état d'arrêt sûr est donc atteint.

Côté BR, l'arrêt de la vidange de la piscine suite à l'isolement automatique du train RIS-RA rupté sur « haut niveau dans le BAS », a lieu avant l'atteinte du signal d'entrée en CIA sur « bas niveau boucle »

(MIN1p). Il n'y a donc aucun découvrement du cœur et le train RIS-RA sain retesté automatiquement reste en service (seuil de bas niveau boucle MIN2p non atteint) et assure l'évacuation de la puissance résiduelle.

Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR est garanti par les conditions initiales de cet accident (concentration en bore initiale du primaire supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement) et l'absence d'apport d'eau claire.

Il n'y a pas de découvrement du cœur ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

L'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) est respecté ; l'état d'arrêt sûr est atteint.

2.5.2.2. Cas « Tube de transfert maintenu ouvert commande groupée activée »

L'arrêt de la vidange des piscines BR et BK, suite à l'isolement automatique du train RIS-RA rupté, intervient avant l'atteinte du seuil d'isolement automatique de tous les trains RIS-RA [], n'entraînant donc ni la perte de refroidissement de la piscine de désactivation ni la perte du refroidissement du primaire. La puissance résiduelle reste donc évacuée côté BR et BK et le critère relatif aux températures des piscines, mentionné [§ 2.2.2.](#), est respecté.

Le niveau minimum atteint étant supérieur au seuil d'isolement des trains RIS-RA [], il n'y a pas de dénoyage des assemblages en cours de manutention.

Le JAC/JPI n'étant pas valorisé au cours de l'accident il n'y a pas d'apport d'eau claire côté piscine BK. Le maintien permanent de la sous-criticité côté BR et BK est garanti, compte tenu de la concentration en bore initiale des piscines BR et BK (supérieure ou égale à la concentration de l'arrêt pour rechargement).

Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible et pas d'ébullition dans les piscines BR et BK ; les rejets radiologiques restent donc tolérables.

En cas de brèche sur un train RIS-RA localisée à l'extérieur de l'enceinte en état E avec le tube de transfert maintenu ouvert ou refermé pendant l'accident, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) est respecté

L'état d'arrêt sûr est atteint.

2.6. CONCLUSION – ÉTAT E

L'étude de brèche isolable sur un train RIS-RA en mode RA en état E montre que malgré la prise en compte d'un aggravant sur un diesel de secours ou sur l'arrêt manuel d'un train RIS-RA en mode RA, l'ensemble des critères techniques d'acceptation mentionnés au [§ 2.2.2.](#) est respecté. L'état d'arrêt sûr est atteint :

- Il n'y a pas de dénoyage des assemblages de combustible.
- Le maintien permanent de la sous-criticité est garanti.
- La puissance résiduelle est évacuée côté BR par le ou les trains RIS-RA en service en mode RA et côté BK par un train PTR.
- Les rejets radiologiques restent tolérables.
- Pour l'état E commande groupée activée[].



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4Q

PAGE 63/148

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

TAB-15.2.4Q.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE LORS DES ÉTATS D'ARRÊT C, D ET E **BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES**

	C1	C2	C2 Solide	C3	D	E
GMPP en fonctionnement	2 / 4	2 / 4	2 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 4
GV disponibles	2 / 4	2 / 4	2 / 4	2 / 4	0 / 4	0 / 4
Température primaire	120°C	100°C	80°C	55°C	55°C	55°C
État du primaire	Fermé	Fermé	Fermé	Refermable ou Partiellement repressurisable	Non repressurisable	Non repressurisable
Pression primaire	32 bar	32 bar	32 bar	1 bar (0,8 bar lors du balayage azote du primaire, voire 0,2 bar à la mise au vide, à la remontée en puissance)	1 bar	1 bar
Trains RIS-RA en mode RA initialement en fonctionnement	2 / 4 (2 en attente)	4 / 4	4 / 4	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP)	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP)	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP pour l'état E « commande groupée non activée »)



	C1	C2	C2 Solide	C3	D	E
Débit dans les trains RIS-RA en mode RA	□	□	□	□	□	□
Circuit primaire	PZR à charge nulle	PZR à charge nulle	PZR solide	3/4 boucle □	3/4 boucle □	Piscine BR pleine □

TAB-15.2.4Q.2 MOMENTS D'ENTRÉE DANS LES ÉTATS C, D ET E

	État C1	État C2	État C2 solide	État C3	État D	État E
Entrée dans l'état considéré	t = 8 h après l'arrêt	t = 9 h après l'arrêt	t = 12 h après l'arrêt	t = 18,5 h après l'arrêt – Cb1 t = 21 h Rupture de l'intégrité primaire – Cb2	t = 36,0 h après l'arrêt : début de la levée du couvercle	t = 45,5 h après l'arrêt Activation de la commande groupée à t = 65,5 h après l'arrêt

**TAB-15.2.4Q.3 CONFIGURATIONS DE DÉMARRAGE PAR L'OPÉRATEUR DES POMPES ISBP
 ET DES TRAINS RIS-RA EN MODE RA À DÉBIT RÉDUIT POUR LES BRÈCHES ARRÊTANT
 LES TRAINS RIS-RA – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE**

Hypothèses		Train 1	Train 2	Train 3	Train 4
		Train affecté par l'aggravant	Train sain	Train sain	Train rupté
Cas 1	Configuration 1	ISBP	RRA réduit	RRA réduit	ISBP
	Configuration 2	RRA réduit	ISBP	RRA réduit	ISBP
Cas 2	Configuration 3	RRA réduit	RRA réduit	ISBP	ISBP
	Configuration 4	ISBP	ISBP	RRA réduit	RRA réduit
	Configuration 5	ISBP	RRA réduit	ISBP	RRA réduit
	Configuration 6	RRA réduit	ISBP	ISBP	RRA réduit

**TAB-15.2.4Q.4 CONFIGURATIONS DE DÉMARRAGE PAR L'OPÉRATEUR DES POMPES ISBP
 ET DES TRAINS RIS-RA EN MODE RA À DÉBIT RÉDUIT POUR LES BRÈCHES ARRÊTANT
 LES TRAINS RIS-RA – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE**

Hypothèses		Train 1	Train 2	Train 3	Train 4
		Train affecté par l'aggravant	Train sain	Train sain	Train rupté
Cas 1	Configuration 1	ISBP	RRA réduit	RRA réduit	ISBP
	Configuration 2	RRA réduit	ISBP	RRA réduit	ISBP
	Configuration 3	RRA réduit	RRA réduit	ISBP	ISBP
Cas 2	Configuration 4	ISBP	ISBP	RRA réduit	RRA réduit
	Configuration 5	ISBP	RRA réduit	ISBP	RRA réduit
	Configuration 6	RRA réduit	ISBP	ISBP	RRA réduit

TAB-15.2.4Q.5 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT C1 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des GMPP - Arrêt des 2 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
50,3	Signal d'IS sur faible marge à la saturation en BC (Min1p) ΔP_{sat} \square
\square	Démarrage d'une pompe ISMP
15350	- Isolement de la brèche suite au TIP - Début du refroidissement primaire à -50°C/h via les GV – Ouverture des vannes d'isolement des VDA des GV
50000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4Q.6 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE
INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN
TERME (BASE SUR UN JEU D’HYPOTHESES
INTERMEDIAIRE)**

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des GMPP - Arrêt des 4 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
7,1	Signal d’IS sur faible marge à la saturation en BC (Min1p) ΔP_{sat} \square
\square	Relestage de 2 trains RIS-RA en mode RA
\square	Démarrage d’une pompe ISMP
313,3	Signal d’arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur très faible marge à la saturation en BC (Min2p) ΔP_{sat} \square
\square	Arrêt des 2 trains RIS-RA en mode RA
15307	- Isolement de la brèche suite au TIP - Refroidissement primaire à -50°C/h via les GV entrepris – Ouverture des vannes d’isolement des VDA des GV
50000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4Q.7 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE
INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT CB1 MOYEN
TERME (BASE SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRE)**

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des 3 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
18,0	Signal d’IS sur bas niveau BC (Min1p)
37,0	Signal d’arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur très bas niveau en BC (Min2p)
□	Relestage d’un train RIS-RA en mode RA
48,0	Isolement du circuit primaire (évènements pressuriseur et cuve)
□	Démarrage d’une pompe ISMP
□	Arrêt du train RIS-RA en mode RA
15318	- Isolement de la brèche suite au TIP - Début du refroidissement primaire à -50°C/h via les GV – Ouverture des vannes d’isolement des VDA des GV
25000	- Réalisation du Gavé Ouvert - Démarrage d’un train RIS-RA en mode ISBP
40000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4Q.8 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE
INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS-ÉTATS CB2/CB3
MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT
PAR L'OPÉRATEUR (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRE)**

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des 3 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
18,0	Signal d'IS sur bas niveau BC (Min1p)
37,0	Signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur très bas niveau en BC (Min2p)
□	Relestage d'un train RIS-RA en mode RA
48,0	Isolement de l'évènement pressuriseur
□	Démarrage de 2 pompes ISMP
□	Arrêt du train RIS-RA en mode RA
1818	Brèche isolée fortuitement par l'opérateur
10000	Fin du calcul

TAB-15.2.4Q.9 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE)

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des 3 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
18,0	Signal d'IS sur bas niveau BC (Min1p)
37,0	Signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur très bas niveau en BC (Min2p)
□	Relestage d'un train RIS-RA en mode RA
48,0	Isolement de l'évent pressuriseur
□	Démarrage de 2 pompes ISMP
□	Arrêt du train RIS-RA en mode RA
1818	1 train RIS-RA en mode ISBP injecte effectivement dans le primaire
10000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4Q.10 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE
EXTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS- ÉTATS CB2/CB3
MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUÉMENT (BASÉ SUR UN JEU D’HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRE)**

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des 3 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
18,0	Signal d'IS sur bas niveau BC (Min1p)
37,0	Signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur très bas niveau en BC (Min2p)
□	Relestage d'un train RIS-RA en mode RA
48,0	Isolement de l'événement pressuriseur
□	Démarrage de 2 pompes ISMP
□	Arrêt du train RIS-RA en mode RA
□	Signal d'isolement du train RIS-RA affecté sur haut niveau puisard BAS
□	Brèche isolée
10000	Fin du calcul

TAB-15.2.4Q.11 CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE LORS DES ÉTATS D'ARRÊT C, D ET E

	C1	C2	C2 Solide	C3	D	E
GMPP en fonctionnement	4 / 4	4 / 4	4 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 4
GV disponibles	2 / 4	2 / 4	2 / 4	2 / 4	0 / 4	0 / 4
Température primaire	120°C	100°C	80°C	55°C	55°C	55°C
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	100°C	80°C	15°C	15°C	15°C	15°C
État du primaire	Fermé	Fermé	Fermé	Refermable ou Partiellement repressurisable	Non repressurisable	Non repressurisable
Pression primaire	32 bar	32 bar	32 bar	25 bar ↓ 1 bar (0,8 bar lors du balayage azote du primaire, voire 0,2 bar à la mise au vide, à la remontée en puissance)	1 bar	1 bar

	C1	C2	C2 Solide	C3	D	E
Trains RIS-RA en mode RA initialement en fonctionnement	2 / 4 (2 en attente)	3 / 4 (1 en attente)	3 / 4 (1 en attente)	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP)	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP)	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP pour l'état E « commande groupée non activée »)
Débit dans les trains RIS-RA en mode RA	□	□	□	□	□	□
Circuit primaire	PZR à charge nulle	PZR à charge nulle	PZR solide	PZR solide ↓ 3/4 boucle □	3/4 boucle □	Piscine BR pleine □

TAB-15.2.4Q.12 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT C1 MOYEN TERME

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des GMPP - Arrêt des 2 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
51	Signal d'IS sur faible marge à la saturation en BC (Min1p) ΔP_{sat} \square
\square	Démarrage des pompes ISMP
1851	Début des actions opérateur : - démarrage des trains RIS-RA 2 et 3 en mode RA à débit réduit - abaissement du point de consigne des VDA disponible
5451	1h30 après le signal d'IS, isolement des trains RIS-RA (la restauration de la marge à saturation n'est pas atteinte)
9781	Début du TIP
17581	Test du train rupté (Train 4)
20881	- Isolement de la brèche suite au TIP - Fin du TIP
21781	- Remise en service des trains RIS-RA disponible en mode RA à débit réduit (trains 2&3)
50000	Fin du calcul

TAB-15.2.4Q.13 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des GMPP - Arrêt des 3 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
7	Signal d'IS sur faible marge à la saturation en BC (Min1p) ΔP_{sat} □
□	Démarrage des pompes ISMP
600	Signal d'arrêt des trains RIS-RA sur faible marge à la saturation en BC (Min2p) ΔP_{sat} □
1807	Début des actions opérateur : - démarrage des trains RIS-RA 2 et 3 en mode RA à débit réduit - abaissement du point de consigne des VDA disponible
5407	1h30 après le signal d'IS, isolement des trains RIS-RA (la restauration de la marge à saturation n'est pas atteinte)
14221	Début du TIP
22021	Test du train rupté (Train 4)
25321	- Isolement de la brèche suite au TIP - Fin du TIP
26222	- Remise en service des trains RIS-RA disponible en mode RA à débit réduit (trains 2&3)
45000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4Q.14 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE
INTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS-ÉTATS CB2/CB3
MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE FORTUITEMENT
PAR L'OPÉRATEUR**

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des 3 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
17,0	Signal d'IS sur bas niveau BC (Min1p)
28,0	Signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur très bas niveau en BC (Min2p)
□	Relestage d'un train RIS-RA en mode RA
□	Démarrage des pompes ISMP
□	Arrêt du train RIS-RA en mode RA
1817	Brèche isolée fortuitement par l'opérateur
10000	Fin du calcul

**TAB-15.2.4Q.15 SÉQUENCE DES ÉVÈNEMENTS – BRÈCHE
EXTÉRIEUR ENCEINTE – DN250 – SOUS- ÉTATS CB2/CB3
MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUEMENT**

Temps (s)	Evènement
0,0	Ouverture de la brèche Instant du cumul MDTE : - Arrêt des 3 trains RIS-RA en mode RA en fonctionnement
17,0	Signal d'IS sur bas niveau BC (Min1p)
28,0	Signal d'arrêt des trains RIS-RA en mode RA sur très bas niveau en BC (Min2p)
□	Relestage d'un train RIS-RA en mode RA
47,0	Isolement de l'évent pressuriseur
□	Démarrage des pompes ISMP
□	Arrêt du train RIS-RA en mode RA
□	Signal d'isolement du train RIS-RA affecté sur haut niveau puisard BAS
□	Brèche isolée
10000	Fin du calcul

TAB-15.2.4Q.16 CAS HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE TUBE DE TRANSFERT
MAINTENU OUVERT BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE EN CAS DE PERTE D'UN DIESEL DE
SECOURS PRINCIPAL

□

**TAB-15.2.4Q.17 CAS CHARGEMENT- DÉCHARGEMENT TUBE DE TRANSFERT MAINTENU
OUVERT BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE EN CAS DE PERTE D'UN DIESEL DE SECOURS
PRINCIPAL**

□

TAB-15.2.4Q.18 CAS HORS MANUTENTION COMBUSTIBLE TUBE DE TRANSFERT
MAINTENU OUVERT BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE EN CAS DE DEFAILLANCE A L'ARRET
MANUEL D'UN TRAIN RIS-RA

□

**TAB-15.2.4Q.19 CAS CHARGEMENT- DÉCHARGEMENT TUBE DE TRANSFERT MAINTENU
OUVERT BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE EN CAS DE DEFAILLANCE A L'ARRET MANUEL
D'UN TRAIN RIS-RA**

□

**FIG-15.2.4Q.1 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE
RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE
(ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1
MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE
LA MARGE À LA SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.2 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE
RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE
(ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1
MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES
TEMPÉRATURES EN BRANCHES CHAUDES**

□

**FIG-15.2.4Q.3 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE
RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE
(ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1
MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES)**

□

**FIG-15.2.4Q.4 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE
RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE
(ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1
MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHESES
INTERMÉDIAIRE) – ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU
DÉBIT A LA BRÈCHE**

□

**FIG-15.2.4Q.5 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE
RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE
(ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1
MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION DANS LES GV
ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE**

□

**FIG-15.2.4Q.6 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE
RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE
(ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C1
MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DU DEBIT DE L'ISMP**

□

**FIG-15.2.4Q.7 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE
RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE
(ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2
SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE
LA MARGE À LA SATURATION**

□

FIG-15.2.4Q.8 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (<DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPÉRATURES EN BRANCHES CHAUDES

□

**FIG-15.2.4Q.9 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE
RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE
(ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE – ÉTAT C2
SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES
INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA PRESSION
PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.4Q.10 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DU NIVEAU
DANS LA CUVE ET DU DÉBIT À LA BRÈCHE**

□

**FIG-15.2.4Q.11 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA
PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE**

□

**FIG-15.2.4Q.12 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DU DÉBIT DE
L'ISMP**

□

**FIG-15.2.4Q.13 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA MASSE
PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.14 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME
(BASÉ SUR UN JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) –
ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPÉRATURES EN
BRANCHES CHAUDES**

□

**FIG-15.2.4Q.15 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA
PRESSION PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS LES BOUCLES
PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.4Q.16 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (<DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DU NIVEAU
DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA BRÈCHE**

□

**FIG-15.2.4Q.17 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DE LA
PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE**

□

**FIG-15.2.4Q.18 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTAT CB1 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – ÉVOLUTION DES DÉBITS
ISMP ET ISBP**

□

**FIG-15.2.4Q.19 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA MASSE
PRIMAIRE ET DE LA MARGE A LA SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.20 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA
PRESSION ET DES TEMPERATURES EN BRANCHES CHAUDES**

□

□

**FIG-15.2.4Q.21 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRE) – BRÈCHE DN250 ISOLEE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – BRÈCHE DN250 ISOLEE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA
PRESSION PRESSURISEUR ET DES DEBITS DANS LES BOUCLES
PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.4Q.22 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DU NIVEAU
DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA BRÈCHE**

□

**FIG-15.2.4Q.23 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA
PRESSION DANS LES GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE**

□

**FIG-15.2.4Q.24 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLEE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DU DÉBIT DE
L'ISMP**

□

**FIG-15.2.4Q.25 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE
– ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA
SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.26 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) - BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE
– ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES TEMPERATURES EN
BRANCHE CHAUDE**

□

□

**FIG-15.2.4Q.27 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASE SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) — BRÈCHE DN250 NON
ISOLÉE – ÉVOLUTION DE LA PRESSION PRESSURISEUR ET DES
DÉBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.4Q.28 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE
– ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA
BRÈCHE**

□

**FIG-15.2.4Q.29 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE
– ÉVOLUTION DE LA PRESSION DANS LES GV ET DE LA
PUISSANCE RÉSIDUELLE**

□

**FIG-15.2.4Q.30 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 NON ISOLÉE
– ÉVOLUTION DES DÉBITS ISMP ET ISBP**

□

**FIG-15.2.4Q.31 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLEE
AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET
DE LA MARGE A LA SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.32 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUÉMENT – ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DES
TEMPÉRATURES EN BRANCHES CHAUDES**

□

□

**FIG-15.2.4Q.33 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DE LA PRESSION
PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES**

□

**FIG-15.2.4Q.34 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DE LA PRESSION
PRESSURISEUR ET DES DÉBITS DANS LES BOUCLES PRIMAIRES
– ÉVOLUTION DU NIVEAU DANS LA CUVE ET DU DÉBIT A LA
BRÈCHE**

□

**FIG-15.2.4Q.35 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUÉMENT – ÉVOLUTION DE LA PRESSION DANS LES
GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE**

□

**FIG-15.2.4Q.36 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME (BASÉ SUR UN JEU
D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES) – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DU DÉBIT DE L'ISMP**

□

**FIG-15.2.4Q.37 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE
ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.38 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES EN
BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES**

□

**FIG-15.2.4Q.39 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DES DÉBITS BOUCLES ET
DE LA PRESSION PRIMAIRE**

□

**FIG-15.2.4Q.40 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DU DÉBIT BRÈCHE ET DE
LA PRESSION PZR**

□

**FIG-15.2.4Q.41 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE
RÉSIDUELLE ET DU NIVEAU CUVE**

□

**FIG-15.2.4Q.42 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C1 MOYEN TERME – ÉVOLUTION DES DÉBITS ISMP ET DE
LA PRESSION GV**

□

**FIG-15.2.4Q.43 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA MASSE
PRIMAIRE ET DE LA MARGE A LA SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.44 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA PRESSION
PRIMAIRE ET DES TEMPÉRATURES EN BRANCHES CHAUDES**

□

**FIG-15.2.4Q.45 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA PRESSION
PZR ET DES DÉBITS BOUCLES**

□

**FIG-15.2.4Q.46 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DU NIVEAU CUVE
ET DU DÉBIT BRÈCHE**

□

**FIG-15.2.4Q.47 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DE LA PRESSION
GV ET DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE**

□

**FIG-15.2.4Q.48 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
ÉTAT C2 SOLIDE MOYEN TERME – ÉVOLUTION DES DÉBITS ISMP
ET DU DÉBIT SOUPAPE PZR**

□

**FIG-15.2.4Q.49 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLEE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA MASSE
PRIMAIRE ET DE LA MARGE À LA SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.50 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DES
TEMPÉRATURES EN BRANCHES FROIDES ET BRANCHES
CHAUDES**

□

**FIG-15.2.4Q.51 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DES DÉBITS
BOUCLES ET DE LA PRESSION PRIMAIRE**

□

**FIG-15.2.4Q.52 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DU DÉBIT
BRÈCHE ET DE LA PRESSION PZR**

□

**FIG-15.2.4Q.53 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DE LA
PUISSANCE RÉSIDUELLE ET DU NIVEAU CUVE**

□

**FIG-15.2.4Q.54 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE INTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
FORTUITEMENT PAR L'OPÉRATEUR – ÉVOLUTION DES DÉBITS
ISMP ET DE LA PRESSION GV**

□

**FIG-15.2.4Q.55 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUÉMENT – ÉVOLUTION DE LA MASSE PRIMAIRE ET
DE LA MARGE À LA SATURATION BC**

□

**FIG-15.2.4Q.56 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUÉMENT – ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES EN
BRANCHES FROIDES ET BRANCHES CHAUDES**

□

**FIG-15.2.4Q.57 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DES DÉBITS BOUCLES ET DE
LA PRESSION PRIMAIRE**

□

**FIG-15.2.4Q.58 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUÉMENT – ÉVOLUTION DU DÉBIT BRÈCHE ET DE LA
PRESSION PZR**

□

**FIG-15.2.4Q.59 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTERIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE
RÉSIDUELLE ET DU NIVEAU CUVE**

□

**FIG-15.2.4Q.60 BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN
MODE RA (\leq DN250) À L'INTÉRIEUR OU À L'EXTÉRIEUR DE
L'ENCEINTE (ÉTATS C ET D) – BRÈCHE EXTÉRIEUR ENCEINTE –
SOUS-ÉTATS CB2/CB3 MOYEN TERME – BRÈCHE DN250 ISOLÉE
AUTOMATIQUEMENT – ÉVOLUTION DES DÉBITS ISMP ET DE LA
PRESSION GV**

□

**FIG-15.2.4Q.61 ÉTAGEMENT DES SEUILS DE NIVEAU DES
PISCINES BR ET BK**



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4Q

PAGE 146/148

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A- -15.2.4Q.1 ANNEXE : DÉTAIL DES CALCULS EFFECTUÉS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4Q

PAGE 147/148

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4Q

PAGE 148/148

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4R

PAGE 1/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

**.15.2.4R PETITE BRECHE PRIMAIRE NON ISOLABLE (<= DN 50) OU
BRECHE ISOLABLE SUR LE SYSTEME RIS EN MODE RA (<= DN250),
ASPECT VIDANGE PISCINE (ETAT E) 2**

.15.2.4R PETITE BRECHE PRIMAIRE NON ISOLABLE (<= DN 50) OU BRECHE ISOLABLE SUR LE SYSTEME RIS EN MODE RA (<= DN250), ASPECT VIDANGE PISCINE (ETAT E)

En état E, le tube de transfert est généralement ouvert et une brèche peut affecter la réfrigération de la piscine de désactivation.

Une rupture de tuyauterie est considérée sur :

- le circuit de refroidissement en DN250 du primaire (ligne du RIS en mode RA),
- une tuyauterie d'un diamètre inférieur au DN50 connectée au primaire en amont du premier organe d'isolement.

L'analyse de la gestion côté bâtiment combustible d'une rupture d'une tuyauterie du RIS en mode RA en état E est réalisée par l'étude présentée dans la section 15.2.4q "Brèche isolable sur le système RIS en mode RA (DN≤250) à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte".

L'analyse de la gestion côté bâtiment combustible d'une rupture non isolable connectée au primaire en état E est réalisée par l'étude présentée dans la section 15.2.4g "APRP petites brèches (DN≤50)".



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4S

PAGE 1/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

**.15.2.4S DÉFAILLANCE MULTIPLE DES SYSTEMES DANS LE BATIMENT
DES AUXILIAIRES NUCLEAIRES (BAN) ET LE BATIMENT DE TRAITEMENT
DES EFFLUENTS (BTE) SOUS SEISME. 2**



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 2.4S

PAGE 2/2

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

.15.2.4S DEFAILLANCE MULTIPLE DES SYSTEMES DANS LE BATIMENT DES AUXILIAIRES NUCLEAIRES (BAN) ET LE BATIMENT DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS (BTE) SOUS SEISME

Ce transitoire n'est représentatif que pour les aspects conséquences radiologiques. Les calculs correspondants sont présentés dans le sous-chapitre 15.3 « Conséquences radiologiques » (voir paragraphe 4.16 du sous-chapitre 15.3).

SOMMAIRE

.15.3	CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES	8
0.	EXIGENCES DE SÛRETÉ	8
0.1.	OBJECTIFS DE SÛRETÉ	8
0.2.	EXIGENCES EN MATIÈRE DE CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES	8
0.2.1.	LIMITES DE DOSES	8
0.2.2.	RÉSULTATS DES ÉVALUATIONS	9
0.3.	RÈGLES ET MÉTHODES D'ÉTUDES	9
0.3.1.	RÈGLES D'ÉTUDES	9
0.3.2.	MÉTHODES D'ÉTUDE	10
1.	HYPOTHÈSES DE CALCUL	11
1.1.	HYPOTHÈSES GÉNÉRALES	11
1.1.1.	CALCUL DES ACTIVITÉS DANS L'EAU PRIMAIRE ET DANS L'EAU SECONDAIRE AVANT L'ACCIDENT	11
1.1.2.	FRACTION DES PRODUITS DE FISSION DISPONIBLES DANS L'ESPACE GAINÉ-COMBUSTIBLE AVANT L'ACCIDENT	11
1.1.3.	CALCUL DES DOSES EN FONCTION DU TEMPS ET DE LA DISTANCE	12
2.	TRANSITOIRES PCC-2	13
2.1.	ARRÊT INTEMPESTIF DU RÉACTEUR (ÉTAT A)	13
2.2.	DÉFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT À UNE RÉDUCTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU ALIMENTAIRE (ÉTATS A, B)	14
2.3.	DÉFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT À UNE AUGMENTATION DU DÉBIT D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTATS A, B)	14
2.4.	AUGMENTATION EXCESSIVE DU DÉBIT VAPEUR (ÉTAT A)	14
2.5.	DÉCLENCHÉMENT TURBINE (ÉTAT A)	15
2.6.	PERTE DU VIDE AU CONDENSEUR	15
2.6.1.	HYPOTHÈSES DE CALCUL	15
2.6.2.	RÉSULTATS	16
2.6.3.	ANALYSE DE SENSIBILITÉ	19

2.7. PERTE TOTALE D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE EXTERNE DE COURTE DURÉE (< 2H) (ÉTATS A, C, D ET E)	19
2.8. PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE (PERTE DES 4 POMPES ARE ET DE LA POMPE AAD)	19
2.9. PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE SANS AAR PARTIEL	19
2.10. RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTAT A)	20
2.11. MAUVAIS POSITIONNEMENT ET CHUTE DE GRAPPE(S), SANS LIMITATION	20
2.12. DÉMARRAGE D'UNE BOUCLE PRIMAIRE INACTIVE À UNE TEMPERATURE INCORRECTE	20
2.13. DEFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E)	21
2.14. DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE AUGMENTATION OU UNE DIMINUTION DE L'INVENTAIRE DU CIRCUIT PRIMAIRE (ÉTATS A À E)	21
2.15. TRANSITOIRES DE PRESSION DU COTÉ PRIMAIRE (ASPERSION INTEMPESTIVE AU PRESSURISEUR, RÉCHAUFFEMENT INTEMPESTIF DU PRESSURISEUR)	21
2.15.1. MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DES CHAUFFERETTES DU PRESSURISEUR	21
2.15.2. MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION DU PRESSURISEUR	21
2.16. BAISSÉ INCONTRÔLÉE DU NIVEAU PRIMAIRE (ÉTATS C3, D ET E)	22
2.17. PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D ET E)	22
2.18. PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR OU D'UN SYSTÈME SUPPORT DU PTR (ÉTAT A)	22
3. INCIDENTS PCC-3	22
3.1. PETITE BRÈCHE VAPEUR OU D'EAU ALIMENTAIRE (< DN50) INCLUANT LES RUPTURES DES LIGNES CONNECTÉES AUX GV (≤DN50) (ÉTATS A, B)	22
3.2. PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES D'UNE DURÉE SUPÉRIEURE À 2 HEURES (ÉTAT A)	22

3.3. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPEPE DU PRESSURISEUR (ÉTAT A)	23
3.4. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHERE OU D'UNE SOUPEPE GV (ÉTAT A)	23
3.5. APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A ET B (PCC-3)	23
3.6. RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR 1 TUBE (ÉTAT A)	24
3.6.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	24
3.6.2. RÉSULTATS	25
3.7. FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE OU DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR	28
3.8. NON CONFORMITÉ DU COEUR	28
3.9. RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES)	28
3.10. DÉFAILLANCE DES CIRCUITS DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS LIQUIDES OU GAZEUX	29
3.10.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	29
3.10.2. RÉSULTATS	29
3.11. RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTATS B, C ET D)	31
3.12. RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE (ÉTAT A)	31
3.13. RUPTURE D'UNE LIGNE VÉHICULANT DU FLUIDE PRIMAIRE À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE	32
3.13.1. RUPTURE D'UNE LIGNE REN DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE	32
3.13.2. RUPTURE D'UNE LIGNE RCV DANS LE BÂTIMENT DES AUXILIAIRES NUCLÉAIRES	35
3.14. PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES (>2HEURES) ASPECT REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE BK (ÉTAT A)	40
3.15. PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT DU PTR OU D'UN SYSTÈME SUPPORT DU PTR (ÉTAT F)	40
3.16. RUPTURE DE TUYAUTERIE ISOLABLE SUR UN CIRCUIT CONNECTÉ À LA PISCINE DE DÉSACTIVATION (ÉTATS A À F)	40
4. ACCIDENTS PCC-4	40

4.1. PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES (> 2HEURES) (ÉTAT C)	40
4.2. RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR	40
4.2.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	41
4.2.2. RÉSULTATS	42
4.3. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE	44
4.4. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHÈRE OU D'UNE SOUPEPE GV (ÉTAT B)	44
4.5. ÉJECTION DE GRAPPE (ÉTATS A ET B)	44
4.5.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	45
4.5.2. RÉSULTATS	47
4.6. APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES (ÉTATS A ET B)	50
4.6.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	50
4.6.2. RÉSULTATS	53
4.6.3. SENSIBILITÉ	55
4.7. APRP PETITES BRÈCHES (\leq DN50) (ÉTATS C, D ET E)	56
4.8. DÉFAILLANCE D'UNE POMPE PRIMAIRE (ROTOR BLOQUÉ)	56
4.8.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	56
4.8.2. RÉSULTATS	57
4.9. RUPTURE DE L'ARBRE D'UNE POMPE PRIMAIRE	60
4.10. RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR – 2 TUBES DANS UN GV (ÉTAT A)	61
4.10.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	61
4.10.2. RÉSULTATS	62
4.11. ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE	65
4.11.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	65
4.11.2. RÉSULTATS	67
4.12. DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON ISOLABLE D'UN TUBE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR (ÉTATS C, D, E)	70
4.13. BRÈCHE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (JUSQU'À DN 250), À L'EXTÉRIEUR OU À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C, D ET E)	70

4.13.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	71
4.13.2. RÉSULTATS	72
4.14. PETITE BRÈCHE PRIMAIRE NON-ISOLABLE (\leq DN50) OU BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (\leq DN250), ASPECT VIDANGE PISCINE (ÉTAT E)	75
4.15. DÉFAILLANCE MULTIPLE DES SYSTÈMES DANS LE BÂTIMENT DES AUXILIAIRES NUCLÉAIRES (BAN) ET LE BÂTIMENT DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS (BTE) SOUS SÉISME	75
4.15.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL	76
4.15.2. RÉSULTATS	76
5. TRANSITOIRES PCC-2 AVEC CUMUL MDTE	79
5.1. RÉSULTATS	80
5.1.1. CALCUL DES DOSES	80
5.1.2. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES	83
6. CONCLUSION	83
LISTE DES RÉFÉRENCES	89

TABLEAUX :

TAB-15.3.1	ACTIVITÉS PRIMAIRES EN PRODUITS DE FISSION ET PRODUITS DE CORROSION – EPR.....	91
TAB-15.3.2	ACTIVITÉ SECONDAIRE EN RÉGIME PERMANENT (EN GBQ ET GBQ/T).....	93
TAB-15.3.3	ACTIVITÉ REJETÉE À L’ATMOSPHÈRE POUR LETRANSITOIRE DE PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR (EN GBQ)	95
TAB-15.3.4	ACTIVITÉ REJETÉE À L’ATMOSPHÈRE POUR L’INCIDENT DE RTGV 1 TUBE (EN GBQ)	96
TAB-15.3.5	ACTIVITÉS MAXIMALES DU TEG EN FIN DE CYCLE EN BQ – PALIER EPR.....	97
TAB-15.3.6	ACTIVITÉ REJETÉE À L’ATMOSPHÈRE POUR L’INCIDENT DE RUPTURE D’UNE LIGNE REN AVEC VENTILATION ET FILTRATION PIÈGE À IODE (EN GBQ)	98
TAB-15.3.7	ACTIVITÉ REJETÉE À L’ATMOSPHÈRE POUR L’INCIDENT DE RUPTURE D’UNE LIGNE REN SANS VENTILATION & FILTRATION (EN GBQ).....	99
TAB-15.3.8	ACTIVITÉ REJETÉE À L’ATMOSPHÈRE POUR L’INCIDENT DE RUPTURE D’UNE LIGNE RCV AVEC VENTILATION ET FILTRATION PIÈGE À IODE (EN GBQ)	100
TAB-15.3.9	ACTIVITÉ REJETÉE À L’ATMOSPHÈRE POUR L’INCIDENT DE RUPTURE D’UNE LIGNE RCV AVEC VENTILATION ET FILTRATION PIÈGE À IODE (EN GBQ)	101
TAB-15.3.10	ACTIVITÉ REJETÉE À L’ATMOSPHÈRE SUITE À UN ACCIDENT DE RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - RTV (EN GBQ).....	102
TAB-15.3.11	ACTIVITÉ CŒUR EN PRODUITS DE FISSION – GESTION UOX (EN BQ)	103
TAB-15.3.12	TAUX DE RELÂCHEMENT APPLICABLE AU CYCLE EN FONCTION DE L’IRRADIATION MOYENNE.....	105
TAB-15.3.13	CONSTANTE DE RABATTEMENT (H⁻¹) DANS L’ENCEINTE DE CONFINEMENT	106
TAB-15.3.14	VALEURS DES FACTEURS D’ENTRAÎNEMENT PAR DÉGAZAGE.....	107
TAB-15.3.15	CARACTÉRISTIQUES DE L’ÉVAPORATION	108

TAB-15.3.16	ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À L'ACCIDENT D'ÉJECTION D'UNE GRAPPE DE RÉGULATION (SANS REJET GV) – PCC-4	109
TAB-15.3.17	ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE PERTE DE RÉFRIGÉRANT PRIMAIRE - PCC-4	110
TAB-15.3.18	ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE DÉFAILLANCE D'UNE POMPE PRIMAIRE - PCC-4	111
TAB-15.3.19	ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHERE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE RUPTURE DE DEUX TUBES DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR	112
TAB-15.3.20	ACTIVITÉ DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE – ACTIVITÉS INITIALES EN PRODUIT DE FISSION	113
TAB-15.3.21	ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE – CAS 1	115
TAB-15.3.22	ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE – CAS 2	116
TAB-15.3.23	ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE BRÈCHE ISOLABLE SUR LES SYSTÈMES RIS EN MODE RA (\leq DN 250) À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C, D)	117
TAB-15.3.24	ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE DÉFAILLANCE MULTIPLE DES SYSTÈMES DANS LE BAN & BTE SOUS SÉISME	118
TAB-15.3.25	FACTEURS CORRECTIFS	119

FIGURES :

FIG-15.3.1	COMPARAISON DES ACTIVITÉS VOLUMIQUES INTÉGRÉES CORRESPONDANT À LA CONDITION MÉTÉOROLOGIQUE STANDARD « DF2 SEC » D'UNE PART ET AU PERCENTILE 90 POUR LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE D'AUTRE PART	121
-------------------	--	------------

.15.3 CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES

0. EXIGENCES DE SÛRETÉ

0.1. OBJECTIFS DE SÛRETÉ

L'approche de sûreté appliquée aux réacteurs EPR est une approche déterministe, complétée par des analyses probabilistes, basée sur le concept de défense en profondeur. Selon cette démarche, les événements représentatifs et enveloppes des situations potentiellement rencontrées pendant l'exploitation du réacteur sont regroupés en 4 catégories selon leur fréquence d'occurrence (PCC-1 à 4). Le traitement déterministe des événements ainsi identifiés conduit à dimensionner des systèmes qui permettent de les maîtriser, et ainsi, notamment, de limiter le relâchement de substances radioactives dans l'installation et dans l'environnement.

L'objectif des calculs de conséquences radiologiques pour les différentes conditions de fonctionnement du réacteur (PCC-2, PCC-3 et PCC-4) est de démontrer que les relâchements de produits radioactifs à l'extérieur de la centrale, consécutifs à ces transitoires, ont des conséquences limitées pour les personnes du public et pour l'environnement.

Ces études contribuent à la vérification du bien fondé des dispositions prises à la conception des tranches et lors de leur exploitation, notamment en matière de confinement des produits radioactifs.

0.2. EXIGENCES EN MATIÈRE DE CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES

0.2.1. LIMITES DE DOSES

Afin de vérifier que les situations de dimensionnement ont des conséquences radiologiques limitées sur la population, il est nécessaire de comparer les résultats des calculs de doses à des limites de doses adaptées à la situation étudiée.

D'une façon générale, les conséquences radiologiques des transitoires, incidents et accidents de référence doivent être d'autant plus faibles que leur fréquence d'occurrence est plus élevée. Par ailleurs, un des objectifs du réacteur EPR est d'obtenir, par rapport aux tranches de conception antérieure, une réduction significative des rejets pouvant résulter des situations accidentelles considérées.

A chacune des quatre catégories d'évènements identifiées - hors conditions fonctionnement de type PCC-1 - sont associées les exigences suivantes en termes de conséquences radiologiques :

- Les conditions de fonctionnement de type PCC-2 ne font pas l'objet d'exigences particulières. Les limites relatives au fonctionnement normal de la tranche couvrent ces événements. À titre indicatif, ces transitoires sont couverts par les limites relatives au fonctionnement normal de la tranche, en particulier la limite global de 0,3 mSv/an, couvrent ces événements.
- Les exigences associées aux conditions de fonctionnement PCC-3 et PCC-4 découlent des Directives Techniques ([Réf \[1\]](#)) lesquelles spécifient que, pour ces situations accidentelles, des mesures de protection des populations vivant au voisinage de la centrale ne doivent pas être nécessaires (pas de mise à l'abri, pas d'évacuation). De telles mesures portent sur la phase court-terme des accidents, soit 7 jours.

Par ailleurs, bien que les Directives Techniques ([Réf \[1\]](#)) ne mentionnent pas explicitement l'administration d'iode stable parmi les mesures de protection de la population, il a été jugé pertinent de se positionner également par rapport à celle-ci. La prise d'iode stable ne doit pas être nécessaire pour les conditions de fonctionnement PCC-3 et PCC-4.

Au-delà de la phase court-terme, des mesures de protection relatives à la gestion post-accidentelle telles que le relogement provisoire ou définitif des populations devraient également être exclues pour

ces conditions de fonctionnement. Des restrictions de consommation concernant certaines denrées alimentaires produites au voisinage de l'installation, ne sont, par contre, pas exclues à priori.

En France, des niveaux de d'intervention ont été fixés par les pouvoirs publics pour la mise en œuvre des mesures de protection de la population en situation d'urgence radiologique. Ces niveaux d'intervention ont fait l'objet d'une décision de l'Autorité de sûreté nucléaire, homologuée par l'arrêté du 20 novembre 2009. Ils sont rappelés ci-après :

- 10 mSv en dose efficace pour la mise à l'abri,
- 50 mSv en dose efficace pour l'évacuation,
- 50 mSv en dose équivalente à la thyroïde pour l'administration d'iode stable¹.

Sur la base de ces éléments, les limites de doses associées à la phase court terme (limitée à 7 jours) des conditions de fonctionnement PCC-3 et PCC-4 sont les suivantes :

Dose efficace 10 mSv

Dose équivalente à la thyroïde 50 mSv

Les limites prises en compte pour juger de l'éventualité de restrictions alimentaires sont les limites de commercialisation européenne (cf. [Réf \[2\]](#)).

0.2.2. RÉSULTATS DES ÉVALUATIONS

L'analyse des résultats d'évaluation des conséquences radiologiques comprend d'abord la vérification du respect des limites de doses associées aux conditions de fonctionnement PCC-3 et PCC-4. Cette vérification s'adresse à la phase court-terme (7 jours) des accidents.

Afin de pouvoir apprécier de manière plus complète l'impact des rejets radioactifs sur l'homme et sur l'environnement, le calcul des doses efficaces totales à court et long-terme, et, le cas échéant, de la dose équivalente à la thyroïde court-terme, est ensuite complété par une évaluation de la contamination des denrées alimentaires au regard des limites de commercialisation en vigueur dans l'Union Européenne, ainsi que des périmètres et surfaces concernées par cette contamination.

0.3. RÈGLES ET MÉTHODES D'ÉTUDES

0.3.1. RÈGLES D'ÉTUDES

L'ensemble des transitoires thermohydrauliques de dimensionnement présenté dans le sous-chapitre 15.2 font l'objet d'une étude du point de vue de leurs conséquences radiologiques, qu'ils aient ou non un impact sur le fonctionnement de la chaudière. En ce qui concerne les transitoires touchant au process chaudière, l'évaluation de leurs conséquences radiologiques est réalisée avec des hypothèses identiques à celles retenues pour la vérification des critères relatifs au comportement du cœur (mêmes états initiaux, mêmes aggravants et règles d'études). Pour les scénarios étudiés du seul point de vue de leurs conséquences radiologiques (accident de manutention du combustible, défaillance dans les systèmes de traitement des effluents liquides ou gazeux), des règles pénalisantes similaires sont appliquées, notamment en ce qui concerne le fonctionnement des systèmes de ventilation/filtration (seuls sont valorisés les systèmes classés F1).

Nota : Lorsque les conditions de fonctionnement PCC-2 sont étudiées en considérant le cumul MDTE, les exigences retenues sont celles des conditions de fonctionnement de 4^{ème} catégorie (cf. [§ 0.2.](#)).

1. Le niveau de dose retenu pour l'administration d'iode stable a été abaissé de 100 à 50 mSv par arrêté du 20 novembre 2009.

0.3.2. MÉTHODES D'ÉTUDE

D'une façon générale, l'approche adoptée pour étudier les conséquences radiologiques des scénarios étudiés est une approche raisonnablement conservatrice en ce qui concerne le choix des conditions aux limites associées à ces scénarios, le choix des caractéristiques de l'installation (taux de fuite de l'enceinte de confinement, efficacité des filtrations,...), et les hypothèses retenues pour l'évaluation de l'activité rejetée dans l'environnement (activité primaire, taux de ruptures de gaines, dépôts des produits de fission, évaluation des rétentions,...).

L'évaluation des doses correspondantes, exprimées en termes de dose efficace et de dose à la thyroïde, auxquelles les personnes et l'environnement sont susceptibles d'être exposés, est réalisée en distinguant l'adulte et l'enfant de 1 an et en considérant les différentes voies d'exposition :

- exposition au panache radioactif,
- inhalation du panache,
- exposition aux dépôts,
- ingestion de denrées contaminées.

Les scénarios d'exposition sont par ailleurs fondés sur des paramètres réalistes.

Pour tenir compte des spécificités du site de Flamanville, les conditions météorologiques du site et la distance des habitations les plus proches sont prises en compte dans l'évaluation des doses.

En ce qui concerne les autres paramètres intervenant dans l'évaluation des doses : les habitudes de vie, les conditions d'exposition, le temps d'intégration et le transfert des radionucléides dans l'environnement, les valeurs proposées dans la méthodologie EDF sont des valeurs réalistes applicables à l'ensemble des sites français ; aucune spécificité associée au site de Flamanville, qui serait à faire valoir dans l'évaluation des doses, n'a été identifiée pour ces différents paramètres.

La contamination éventuelle des denrées alimentaires, représentative de la contamination de l'environnement, est évaluée sur une sélection d'aliments : légumes feuilles, céréales, lait de vache et viande bovine.

Cette contamination est évaluée, selon la méthodologie décrite (cf. [Réf \[10\]](#)) afin d'évaluer la contamination résiduelle après que l'ensemble des denrées végétales cultivées a été récolté au moins une première fois.

La contamination des denrées est comparée avec les limites de commercialisation des denrées alimentaires en vigueur dans l'Union Européenne.

La distance (et la surface correspondante) en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse potentiellement les niveaux maximaux admissibles (NMA) définis par la réglementation européenne est évaluée.

Nota : L'évaluation des distances et surfaces contaminées un an environ après l'accident, permet également d'estimer une valeur enveloppe des distances et surfaces restant contaminées à plus long terme (50 ans) par des éléments à faible décroissance radioactive. En effet, la contamination des denrées végétales à plus long terme résultant essentiellement du transfert des radionucléides par voie racinaire, les surfaces impactées par les limitations de commercialisation à long terme peuvent être considérées comme sensiblement identiques aux valeurs calculées à moyen terme et, en tout état de cause, très inférieures aux résultats obtenus à court terme.

1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

Les études de conséquences radiologiques ont été réalisées en prenant en compte le nouveau référentiel conséquences radiologiques décrit dans le recueil d'hypothèses (cf. [Réf \[3\]](#)). Les principales hypothèses sont rappelées ci-dessous.

1.1. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES

1.1.1. CALCUL DES ACTIVITÉS DANS L'EAU PRIMAIRE ET DANS L'EAU SECONDAIRE AVANT L'ACCIDENT

1.1.1.1. ACTIVITÉ DE L'EAU PRIMAIRE

Pour les produits de fission, les valeurs d'activités sont normalisées aux spécifications radiochimiques du parc (20 GBq/t en I131 équivalent² en fonctionnement stabilisé et 150 GBq/t en I131_{équivalent} en transitoire de puissance) et couvrent la totalité des spectrométries mesurées sur les paliers 1300 MWe et N4 de manière à prendre en compte la possibilité de défauts de gaines combustible.

Pour les produits de corrosion, les valeurs d'activité retenues correspondent aux valeurs maximales mesurées par spectrométrie sur le palier N4. Le retour d'expérience du palier 1300 MWe n'est pas retenu compte tenu des différences des matériaux de conception des tubes de générateur de vapeur (cf. [Réf \[4\]](#)).

Les valeurs des activités de l'eau du circuit primaire sont données dans le tableau [TAB-15.3.1](#).

1.1.1.2. ACTIVITÉ DE L'EAU SECONDAIRE

Avant le transitoire de puissance, les activités maximales de l'eau et de la vapeur au secondaire sont calculées à partir des hypothèses suivantes (cf. [Réf \[3\]](#)) :

- un débit de fuite primaire-secondaire de 20 L/h sur un GV et de 3 L/h sur chacun des autres GV,
- une activité de l'eau primaire établie comme définie au [§ 1.1.1.1.](#),
- un débit de purge de l'ensemble des générateurs de vapeur correspondant à un fonctionnement de l'installation à puissance nominale.

Les valeurs de l'activité secondaire des GV qui en résultent sont données dans le tableau [TAB-15.3.2](#). L'accroissement de la contamination de l'eau secondaire entre le début du transitoire et l'instant où se produit l'accident est traité en tenant compte de l'accroissement des activités primaires entre le fonctionnement de base et celui en transitoire.

1.1.2. FRACTION DES PRODUITS DE FISSION DISPONIBLES DANS L'ESPACE GAINE-COMBUSTIBLE AVANT L'ACCIDENT

Au cours d'un accident, des gaines peuvent perdre leur étanchéité et une partie de l'activité en produits de fission être relâchée dans le circuit primaire.

On désigne par taux de relâchement la fraction de l'inventaire du crayon en produits de fission supposée émise dans le circuit après la perte d'étanchéité d'une gaine.

Le relâchement total est constitué :

- des produits de fission accumulés dans le jeu gaine/combustible pendant l'exploitation avant l'accident,
- le cas échéant, du fait du transitoire thermique subi par le combustible pendant l'accident, d'une fraction des produits radioactifs présents dans l'oxyde d'uranium.

2. $I131_{eq} = I131 + I132/30 + I133/4 + I134/50 + I135/10$

Les taux de relâchement enveloppe retenus pour les évaluations des rejets sont donnés dans le tableau [TAB-15.3.12](#).

La première gestion combustible, gestion UOx enrichi à 4,2%, est prise en compte pour les études d'accident avec rupture de gaine.

Le devenir physico-chimique des produits radioactifs relâchés dépend de l'accident concerné. Les produits radioactifs relâchés peuvent être :

- solubles ou insolubles,
- particulaires ou gazeux (notamment dans le cas de l'iode).

On distingue en général trois familles pour lesquelles l'efficacité de l'aspersion et les lois de dépôt sont différentes :

- gaz rares et iode organique,
- iode moléculaire,
- aérosols et iode particulaire.

1.1.3. CALCUL DES DOSES EN FONCTION DU TEMPS ET DE LA DISTANCE

Les doses à évaluer correspondent aux voies d'exposition suivantes :

- inhalation dans le panache,
- exposition par irradiation dans le panache,
- exposition au dépôt au sol,
- ingestion de denrées contaminées.

La dose efficace par irradiation et inhalation dans le panache et la dose équivalente à la thyroïde de l'adulte et l'enfant par inhalation sont évaluées à partir de la dispersion de l'activité rejetée dans l'atmosphère et des facteurs de conversion en dose.

La dose efficace totale est la résultante de la dose efficace due à l'exposition externe (panache et dépôt) et de la dose efficace reçue par ingestion et inhalation.

Il a été retenu un débit respiratoire moyen pour l'adulte de 29 m³ par jour, et pour l'enfant de 5 m³ par jour (cf. [Réf \[5\]](#)).

1.1.3.1. DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE DE L'ACTIVITÉ RELÂCHÉE DANS L'ENVIRONNEMENT

La concentration atmosphérique intégrée sur la durée du passage du panache est obtenue à partir de l'équation différentielle de dispersion atmosphérique. Dans un modèle panache gaussien, les écarts types s'expriment en fonction de la distance à la source. Le modèle utilisé pour l'évaluation des écarts types est le modèle de Doury à 2 classes. Les calculs sont effectués en considérant la condition météorologique « DF2 sec » à savoir diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s pour un site standard. Des facteurs de battement du vent compris entre 1 et 3 sont définis pour chaque accident en fonction de la durée du rejet.

La condition météorologique « DF2 sec » retenue, ainsi que les facteurs de battement du vent appliqués, permettent de couvrir 90 % des situations météorologiques rencontrées sur le site de Flamanville. La figure [FIG-15.3.1](#) présente notamment une comparaison, pour différentes distances du lieu du rejet, entre les activités intégrées sur une durée de 1h (en Bq/m³) obtenues sur la base de la condition météorologique standard « DF2 sec », et le percentile 90 des activités intégrées obtenues avec un modèle de panache gaussien de seconde génération (ADMS), sur la base de la dispersion atmosphérique locale, correspondant à cinq années de données météorologiques observées sur le site de Flamanville. Cette comparaison permet de montrer que les résultats obtenus avec la condition

météorologique standard « DF2 sec » sont enveloppes de ceux obtenus avec le percentile 90 des situations météorologiques observées sur le site de Flamanville, hors vents calmes.

1.1.3.2. FACTEURS DE CONVERSION EN DOSE

Les références des facteurs de conversion de dose sont :

- FD_{panache} : Federal Guidance (cf. [Réf \[6\]](#)),
- $FD_{\text{inhalation}}$: CIPR 71 et directive européenne 96/29/EURATOM (cf. [Réf \[2\]](#) et [Réf \[7\]](#)),
- $FD_{\text{inhalation thyroïde}}$: CIPR 71 (cf. [Réf \[7\]](#)),
- $FD_{\text{dépôt}}$: Federal Guidance (cf. [Réf \[6\]](#)),
- $FD_{\text{ingestion}}$: CIPR 72 et directive européenne 96/29/EURATOM (cf. [Réf \[2\]](#) et [Réf \[9\]](#)).

1.1.3.3. ÉVALUATIONS DES DOSES

Les résultats des évaluations de doses présentent :

- La dose efficace totale (inhalation, exposition externe au panache, exposition au dépôt) court terme (7j au maximum) reçue par un individu situé sous le vent en provenance de la tranche accidentée, à 500 m et 650 m du point de rejet (voisinage du site et village le plus proche).
- La dose équivalente à la thyroïde reçue par un individu situé sous le vent en provenance de la tranche accidentée, à 500 m et 650 m du point de rejet (voisinage du site et village le plus proche).
- La dose efficace totale reçue à 1 an pour les 4 voies d'exposition (inhalation, exposition externe au panache, exposition au dépôt et ingestion), par un individu dont l'habitation est située sous le vent à une distance de 650 m (village le plus proche) et 2000 m du site.
- La dose efficace reçue sur 50 ans pour les quatre voies d'exposition (inhalation, exposition externe au panache, exposition au dépôt et ingestion), reçue par un individu dont l'habitation est située sous le vent à une distance de 650 m (village le plus proche) et 2000 m du site.

2. TRANSITOIRES PCC-2

En situation PCC-2 sans cumul MDTE, les transitoires ne conduisent pas à une détérioration du gainage du combustible ou du circuit primaire. Il en résulte uniquement un accroissement transitoire de l'activité de l'eau primaire provenant du transitoire d'arrêt d'urgence et une légère contamination soit du bâtiment réacteur, soit du circuit secondaire par les fuites du circuit primaire, et ce dans les limites des spécifications techniques d'exploitation. L'analyse des conséquences radiologiques de ces transitoires est présentée ci-après.

2.1. ARRÊT INTEMPESTIF DU RÉACTEUR (ÉTAT A)

Ce transitoire est défini comme un arrêt intempestif du réacteur ou un signal d'Arrêt Automatique du Réacteur se produisant alors que les paramètres neutroniques et thermo-hydrauliques de la tranche sont à leur valeur de fonctionnement nominale (y compris les fluctuations normales et les incertitudes).

L'étude thermohydraulique montre que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RIS-RA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au §

1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. [§ 2.6.](#)).

2.2. DÉFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT À UNE RÉDUCTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU ALIMENTAIRE (ÉTATS A, B)

Le scénario de mauvais fonctionnement de l'eau alimentaire normale des générateurs de vapeur (ARE) provoque une augmentation de la capacité d'extraction de la chaleur primaire par le circuit secondaire.

L'étude thermohydraulique montre que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RRA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au [§ 1.1.1.1.](#) Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. [§ 2.6.](#)).

2.3. DÉFAILLANCE DE L'ARE CONDUISANT À UNE AUGMENTATION DU DÉBIT D'EAU ALIMENTAIRE (ÉTATS A, B)

Les différents cas de défaillance envisagés pour ce transitoire entraînent une baisse de la température moyenne du réfrigérant primaire et donc une augmentation de la réactivité et du flux nucléaire mais ne conduisent pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RIS-RA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité des baches ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au [§ 1.1.1.1.](#) Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire « Perte du Vide au condenseur » (cf. [§ 2.6.](#)).

2.4. AUGMENTATION EXCESSIVE DU DÉBIT VAPEUR (ÉTAT A)

Ce transitoire est défini comme une augmentation rapide du débit de vapeur dans les GV, ce qui cause un déséquilibre entre la puissance thermique du cœur et la charge des GV, et entraîne une augmentation du flux neutronique.

Les études thermohydrauliques montrent que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RRA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au [§ 1.1.1.1.](#) Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. [§ 2.6.](#)).

2.5. DÉCLENCHEMENT TURBINE (ÉTAT A)

La diminution rapide du débit admis à la turbine consécutif à un "déclenchement de la turbine" conduit à une augmentation des pressions et températures du circuit secondaire puis à une augmentation des températures et pressions du circuit primaire.

Ce transitoire réduit la capacité du secondaire à évacuer l'énergie transportée par le circuit primaire principal. Il peut donc conduire à un risque de crise d'ébullition et d'endommagement de la gaine du combustible.

Les études thermohydrauliques montrent que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte (l'ouverture limitée des soupapes de sûreté du pressuriseur ne conduit pas à l'ouverture du réservoir de décharge du pressuriseur).

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § [1.1.1.1.](#) Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. [§ 2.6.](#)).

2.6. PERTE DU VIDE AU CONDENSEUR

La perte du vide au condenseur entraîne le déclenchement de la turbine et le blocage du contournement au condenseur (GCT-c). Les trains de décharge vapeur (VDA) sont activés pour l'évacuation de la puissance et l'Arrêt automatique du Réacteur (AAR) est déclenché.

Durant ce transitoire, un rejet de vapeur secondaire à l'atmosphère peut avoir lieu par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère et des soupapes de sûreté GV si le débit des vannes n'est pas suffisant.

L'activité de l'eau et de la vapeur présente dans le circuit secondaire avant le transitoire est déterminée à partir d'un débit de fuite préexistant entre les circuits primaire et secondaire.

Les hypothèses de calcul de ce transitoire sont données dans la [Réf \[3\]](#) et sont rappelées ci-après.

2.6.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

2.6.1.1. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE ET DE L'EAU SECONDAIRE AVANT LE TRANSITOIRE PCC-2

Les valeurs des activités de l'eau du circuit primaire sont définies dans le [§ 1.1.1.1.](#) et données dans le tableau [TAB-15.3.1](#).

L'activité dans le circuit secondaire est déterminée en tenant compte :

- d'une fuite préexistante entre le circuit primaire et le circuit secondaire de 29 L/h (20 L/h + 3 x 3 L/h) pour l'ensemble des 4 GV,
- du débit d'eau alimentaire normale (ARE),
- du débit de purge de l'ensemble des GV, celui-ci étant pris égal au débit en fonctionnement à pleine puissance,
- de la filtration sur APG,
- du transfert de la vapeur dans les GV correspondant au débit de vapeur à la turbine.

2.6.1.2. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE ET DE L'EAU SECONDAIRE PENDANT LE TRANSITOIRE PCC-2

- Activité de l'eau primaire

L'activité dans le circuit primaire tient compte du pic d'activité lié au régime transitoire (développement consécutif à l'arrêt automatique du réacteur) (voir [TAB-15.3.1](#)).

- Transferts d'activité dans les GV

Il est postulé une fuite entre le circuit primaire et le circuit secondaire de 29 L/h pendant tout le transitoire.

Afin de prendre en compte la répartition des radioéléments entre les phases liquide et vapeur des GV, les facteurs d'entraînement suivants sont considérés :

- Gaz rares : 100% des gaz rares sont transmis instantanément vers la phase vapeur.
- Autres radionucléides : 0,25% des iodes sont entraînés dans la phase vapeur.

2.6.1.3. VOIE DE REJET DANS L'ENVIRONNEMENT

La voie de rejet concernée est la vanne de décharge et les soupapes des générateurs de vapeur. La répartition de l'iode est de 10% sous forme moléculaire et de 90% sous forme particulaire.

Le calcul est réalisé en considérant que la totalité du volume d'eau de la bache ASG est consommée.

L'hypothèse d'une vidange complète de cette bache est pénalisante du point de vue des conséquences radiologiques dans la mesure où les études du chapitre 15.2 vérifient pour l'ensemble des transitoires PCC-2, la suffisance de ce volume pour l'atteinte de l'état sûr.

L'étude de conséquences radiologiques présentée dans ce paragraphe et utilisée pour couvrir l'impact du PCC-2 « Perte du vide au condenseur » et de plusieurs autres transitoires PCC-2 est donc une étude découplée. Elle considère une vidange complète de la bache ASG maximisant ainsi les rejets à l'environnement.

2.6.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de ce transitoire sont évaluées (cf. [Réf \[11\]](#)).

2.6.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les rejets atmosphériques s'établissent pendant la vidange totale de la bache ASG en 10 h.

L'évolution de l'activité rejetée à l'atmosphère pour les différents isotopes est donnée dans le tableau [TAB-15.3.3](#).

2.6.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s). Un facteur de battement du vent de 3 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 10 h	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	1,2E-04mSv	1,5E-04mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,7E-04mSv	2,7E-04mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,6E-05mSv	1,6E-05mSv

Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	4,1E-04mSv	4,4E-04mSv
Dose équivalente à la thyroïde	1,6E-03mSv	2,8E-03mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 10 h	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	7,5E-05mSv	9,7E-05mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,8E-04mSv	1,8E-04mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,0E-05mSv	1,0E-05mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	2,6E-04mSv	2,8E-04mSv
Dose équivalente à la thyroïde	1,0E-03mSv	1,7E-03mSv

 Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	7,5E-05mSv	1,2E-05mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,8E-04mSv	1,8E-04mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	7,6E-04mSv	4,7E-04mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	2,6E-03mSv	2,0E-03mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,6E-03mSv	2,7E-03mSv

Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	9,3E-06mSv	1,2E-05mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,7E-05mSv	2,7E-05mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	9,5E-05mSv	5,9E-05mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	3,2E-04mSv	2,5E-04mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,5E-04mSv	3,5E-04mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	7,5E-05mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,8E-04mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	5,7E-03mSv
Dose efficace par ingestion	2,9E-03mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	8,9E-03mSv

Doses long terme à 2km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	9,3E-06mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,7E-05mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	7,2E-04mSv
Dose efficace par ingestion	3,6E-04mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,1E-03mSv

2.6.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

Aucune surface agricole à l'extérieur du site n'est touchée par les limites de commercialisation des denrées issues de l'agriculture.

2.6.3. ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le délai de passage sur RRA ne fait pas l'objet de critère de découplage explicite dans les études thermohydrauliques de ce transitoire : une sensibilité sur un délai de 24 heures au lieu de 10 heures, tout en gardant les fuites primaires-secondaires constantes à leur valeur maximale, conduirait au maximum à majorer l'activité transférée du primaire vers le secondaire d'un facteur 2,4 (24 h/10 h). Les rejets à l'atmosphère, pour un taux d'entraînement constant dans les GV, seraient majorés d'un facteur 2,4 également.

2.7. PERTE TOTALE D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE EXTERNE DE COURTE DURÉE (< 2H) (ÉTATS A, C, D ET E)

Ce transitoire entraîne la perte d'alimentation de tous les auxiliaires de l'installation. Cet évènement réduit la capacité du secondaire et du primaire à évacuer la puissance résiduelle.

L'étude thermohydraulique montre que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'au retour à un fonctionnement normal en puissance sous 2 heures sont assurées par l'ASG et les VDA.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire de "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

Les conséquences radiologiques de ce transitoire en état E sont couvertes par celles du transitoire de perte d'un train RIS-RA en mode RA (état E) (cf. § 2.17.).

2.8. PERTE DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE (PERTE DES 4 POMPES ARE ET DE LA POMPE AAD)

Ce transitoire a pour conséquence une réduction de la capacité du secondaire à évacuer la chaleur primaire. La diminution de la masse d'eau dans les GV, allant jusqu'au découverture des tubes, limite l'échange entre le circuit primaire et le secondaire. Un échauffement et une montée en pression dans le circuit primaire se produisent, provoquant une augmentation du niveau pressuriseur et une décharge par les soupapes de sûreté.

Les études thermohydrauliques montrent que les différents moyens de protection permettent l'arrêt automatique du réacteur par haute pression pressuriseur, et que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RRA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire de "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

2.9. PERTE D'UNE POMPE PRIMAIRE SANS AAR PARTIEL

Ce transitoire initié en puissance conduit à un échauffement du cœur.

Les études thermohydrauliques montrent que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RRA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

2.10. RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTAT A)

Ce transitoire provoque un accroissement du flux de chaleur dans le cœur. Jusqu'à l'ouverture des vannes de décharge du circuit secondaire, le déséquilibre entre la chaleur extraite par les GV et la puissance dégagée dans le circuit primaire augmente ; il en résulte un accroissement de la température et de la pression du circuit primaire.

L'étude thermohydraulique du transitoire (en puissance ou à puissance nulle) montre que les différents moyens de protection du réacteur permettent l'arrêt automatique du réacteur, et que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RRA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

2.11. MAUVAIS POSITIONNEMENT ET CHUTE DE GRAPPE(S), SANS LIMITATION

Ce transitoire peut entraîner une distribution pénalisante de puissance dans le cœur, un déséquilibre entre la puissance fournie par le cœur et celle évacuée par le circuit secondaire, et entraîner une augmentation de la puissance neutronique par effet des contre-réactions et de la régulation de température.

L'étude thermohydraulique montre que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RRA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

2.12. DÉMARRAGE D'UNE BOUCLE PRIMAIRE INACTIVE À UNE TEMPÉRATURE INCORRECTE

Le transitoire de démarrage d'une boucle inactive du circuit primaire à une température incorrecte n'est pas analysé car les conséquences en terme d'insertion de réactivité sont enveloppées par celles des autres événements de réactivité pour lesquels la protection est garantie de manière inhérente par la conception des fonctions dédiées d'arrêt automatique du réacteur.

Ce type de transitoire n'entraîne pas de conséquences radiologiques particulières.

2.13. DEFAILLANCE DU RCV CONDUISANT À UNE DIMINUTION DE LA CONCENTRATION EN BORE DU FLUIDE PRIMAIRE (ÉTATS A À E)

Les études thermohydrauliques montrent que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte. Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RIS-RA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité des bâches ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

2.14. DYSFONCTIONNEMENT DU RCV ENTRAÎNANT UNE AUGMENTATION OU UNE DIMINUTION DE L'INVENTAIRE DU CIRCUIT PRIMAIRE (ÉTATS A À E)

Les études thermohydrauliques montrent que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte. Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RRA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

2.15. TRANSITOIRES DE PRESSION DU COTÉ PRIMAIRE (ASPERSION INTEMPESTIVE AU PRESSURISEUR, RÉCHAUFFEMENT INTEMPESTIF DU PRESSURISEUR)**2.15.1. MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DES CHAUFFERETTES DU PRESSURISEUR**

La mise en service intempestive des chaufferettes du pressuriseur provoque une augmentation de la pression primaire. L'aspersion normale est rapidement mise en service automatiquement. L'ouverture des vannes d'aspersion permet de mettre fin à cette augmentation de la pression primaire, qui va de nouveau se stabiliser autour de la pression de consigne.

Aucun signal de protection n'est généré et les soupapes du pressuriseur ne sont pas sollicitées, le réacteur revient à son état de fonctionnement initial. Il n'y a donc pas de rejets dans l'enceinte. Si les chaufferettes n'ont pas été arrêtées automatiquement, l'opérateur pourra les arrêter après avoir détecté leur fonctionnement intempestif. En cas d'échec de cette action manuelle, il pourra arrêter le réacteur, et passer en état d'arrêt à froid si une intervention s'avère nécessaire.

Les éventuels rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

2.15.2. MISE EN SERVICE INTEMPESTIVE DE L'ASPERSION DU PRESSURISEUR

La mise en service intempestive de l'aspersion (normale ou auxiliaire) provoque une diminution de la pression primaire. Si le système de régulation de la pression par les chaufferettes fonctionne normalement, les chaufferettes proportionnelles puis les chaufferettes tout ou rien sont mises en service automatiquement. Les fonctions d'aide à l'opérateur demandent d'arrêter l'aspersion normale et l'aspersion auxiliaire, et de mettre en service les chaufferettes. On suppose la défaillance de la régulation et des actions opérateurs. Dans le cœur, si le réacteur est en puissance, la baisse de pression primaire provoque une légère diminution de la densité du modérateur, donc de la réactivité ; la contre-réaction par effet Doppler et l'extraction des grappes de contrôle compensent l'effet du modérateur en insérant de la réactivité ; en conséquence, la puissance dans le cœur reste constante, alors que la pression primaire diminue ; il existe donc un risque vis-à-vis de la crise d'ébullition.

Les études thermohydrauliques montrent que ce transitoire ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un relâchement de fluide primaire dans l'enceinte. Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RIS-RA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité de la bache ASG, sont assurées.

Les rejets de ce transitoire ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § [1.1.1.1](#). Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. § [2.6](#)).

2.16. BAISSÉ INCONTRÔLÉE DU NIVEAU PRIMAIRE (ÉTATS C3, D ET E)

En cas de baisse incontrôlée du niveau primaire dans les états C3, D et E, les actions automatiques permettent a minima de maintenir l'inventaire en eau.

De cette façon, les moyens d'évacuation de la puissance totale ne sont pas stoppés et l'état sûr est garanti.

Ce transitoire n'a pas d'impact particulier vis à vis des conséquences radiologiques.

2.17. PERTE D'UN TRAIN RIS-RA EN MODE RA (ÉTATS C3, D ET E)

L'étude thermohydraulique considère la défaillance de l'un des trains RIS-RA en mode RA et la prise en compte d'un train RIS-RA en stand-by en états C3 et D. Cette étude montre que les deux trains RIS-RA subsistant permettent de maintenir une température primaire dans une gamme qui assure la poursuite du bon fonctionnement, sans mesure palliative supplémentaire.

En état E, l'étude thermique montre qu'il n'y a pas d'ébullition et pas de dégradation du combustible.

Ce transitoire ne conduit pas à des rejets dans l'environnement.

2.18. PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT PTR OU D'UN SYSTÈME SUPPORT DU PTR (ÉTAT A)

L'étude thermique montre qu'il n'y a pas d'ébullition de la piscine BK ni de dégradation des assemblages combustibles stockés. Ce transitoire n'a pas d'impact particulier vis à vis des conséquences radiologiques.

3. INCIDENTS PCC-3

3.1. PETITE BRÈCHE VAPEUR OU D'EAU ALIMENTAIRE (< DN50) INCLUANT LES RUPTURES DES LIGNES CONNECTÉES AUX GV (≤DN50) (ÉTATS A, B)

Cet accident est défini comme une rupture de tuyauterie vapeur ou d'eau alimentaire avec une brèche dont le diamètre équivalent est inférieur à DN50 (20 cm²).

Les conséquences radiologiques de ces incidents de petite RTV ou de petite RTE sont enveloppées par les accidents PCC-4 similaires.

3.2. PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES D'UNE DURÉE SUPÉRIEURE A 2 HEURES (ÉTAT A)

Cet incident entraîne la perte d'alimentation de tous les auxiliaires de l'installation. Cet événement réduit la capacité du secondaire et du primaire à évacuer la puissance résiduelle. L'étude thermohydraulique montre que cet incident ne conduit pas à une dégradation du combustible.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RIS-RA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité des baches ASG, sont assurées.

Les rejets de cette situation incidentelle sont donc liés aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire "Perte du Vide au condenseur" (cf. § 2.6.).

De façon complémentaire, les conséquences radiologiques des rejets de fluide primaire dans l'enceinte via le RDP sont enveloppées par les conséquences radiologiques de l' « APRP Petites brèches en état A et B (PCC-3) » (cf. § 3.5.).

3.3. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE SOUPEPE DU PRESSURISEUR (ÉTAT A)

L'ouverture intempestive d'une soupape du pressuriseur se traduit immédiatement par une dépressurisation du circuit primaire et donc à une diminution de puissance liée au coefficient de densité du modérateur. L'effet Doppler tend à contrebalancer cette diminution. Le maintien de la pleine puissance à pression réduite risque de conduire à la crise d'ébullition dans le cœur.

Du point de vue des conséquences radiologiques, ce rejet de fluide primaire dans l'enceinte s'apparente à une petite brèche primaire dans l'enceinte avec crise d'ébullition dans le coeur.

Les conséquences radiologiques de cet incident sont donc enveloppées par l'étude de l'accident d'APRP PCC-4 (cf. § 4.6.).

3.4. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHERE OU D'UNE SOUPEPE GV (ÉTAT A)

Le rejet de vapeur résultant de l'ouverture d'une vanne d'isolement du VDA ou d'une soupape de sûreté sur une ligne vapeur conduit à une augmentation de la puissance échangée, et en conséquence provoque une diminution des températures dans les branches froides et de la pression du circuit primaire.

Avec un coefficient de température du modérateur négatif, le refroidissement du fluide primaire à l'entrée du cœur provoque une insertion de réactivité ; il en résulte une augmentation de la puissance dans le cœur si le réacteur était initialement en puissance, ou un risque de retour à la criticité avec une possible excursion de puissance si le cœur était initialement en arrêt à chaud.

L'étude thermohydraulique montre que cet incident ne conduit pas à une dégradation du combustible ni à un retour en criticité.

Les conditions d'évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à la mise en service du circuit RIS-RA, prenant en compte une masse d'eau secondaire limitée à la capacité des bâches ASG, sont assurées.

Les rejets de cette situation incidentelle ne sont donc liés qu'aux fuites primaire/secondaire des GV par ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère, pour une activité du circuit primaire inférieure aux limites des STE. Une analyse enveloppe de ces rejets est donnée par application des hypothèses de découplage du transitoire « Perte du Vide au Condenseur » (cf. § 2.6.).

3.5. APRP PETITES BRÈCHES EN ÉTAT A ET B (PCC-3)

Un Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) est classé comme évènement PCC-3 ou PCC-4 en fonction de la taille de brèche et de l'état initial du réacteur. Cette section traite des APRP petites brèches en état A, qui sont classés comme des incidents PCC-3. L'APRP PCC-3 est défini comme étant une brèche de tuyauterie primaire ayant un diamètre équivalent inférieur ou égal à 50 mm et non compensable par le Circuit de contrôle Chimique et Volumétrique (RCV) en état A ou B.

Les études thermohydrauliques montrent que ces incidents ne conduisent pas à la dégradation du combustible.

Une évaluation enveloppe des conséquences radiologiques de cet incident est obtenue en extrapolant les résultats de l'APRP 4 (cf. § 4.6.) pour une activité primaire relâchée en limite des STE.

En ordre de grandeur, les évaluations des doses efficaces et des doses équivalentes à la thyroïde à court terme (500 m, 7 jours) dans cette situation sont inférieures d'un facteur 130 aux résultats de l'APRP 4 (cf. § 4.6.).

3.6. RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR 1 TUBE (ÉTAT A)

L'incident est dû à une rupture guillotine complète, entièrement débattue, d'un tube de générateur de vapeur (GV). Cette rupture induit un relâchement de l'activité vers l'extérieur au travers des vannes de décharge du GV défaillant due à la contamination du secondaire par le primaire au travers de la brèche des tubes GV.

Les hypothèses de calcul de cet incident sont données en [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

3.6.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

3.6.1.1. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE ET DE L'EAU SECONDAIRE AVANT L'INCIDENT

Les valeurs des activités de l'eau du circuit primaire sont celles définies au § 1.1.1.1. et sont données dans le tableau [TAB-15.3.1](#).

L'activité dans le circuit secondaire est déterminée en tenant compte d'une fuite préexistante entre le circuit primaire et le circuit secondaire de 20 L/h sur le GV qui sera affecté par la RTGV, et de 3 L/h sur les autres GV.

3.6.1.2. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE ET DE L'EAU SECONDAIRE PENDANT L'INCIDENT

- Activité de l'eau primaire
L'activité dans le circuit primaire tient compte du pic d'activité lié au régime transitoire (développement consécutif à l'arrêt automatique du réacteur) (cf. [TAB-15.3.1](#)).
- Transfert d'activité dans les GV
Afin de prendre en compte la répartition des radioéléments entre les phases liquide et vapeur des GV, les facteurs d'entraînement suivants sont considérés :
 - Pour le générateur de vapeur affecté :
Les transferts d'activité dans le GVA en cas de rejets en vapeur à l'atmosphère sont les suivants (cf. [Réf \[3\]](#)) :
 - Émission de 100% des gaz rares et une fraction \square pour les autres radionucléides (y compris l'iode) de l'activité du fluide primaire transférée par le débit de brèche pour le GVA,
 - Facteur de transfert de 100% des gaz rares et d'une fraction \square pour les autres radionucléides (y compris l'iode) par le débit vapeur sortant du GV appliqué à l'activité secondaire du GVA.
 - Pour les générateurs de vapeur sains :
Les transferts d'activité dans les GVS en cas de rejets en vapeur à l'atmosphère sont les suivants :
 - Facteur de transfert de 100% des gaz rares et d'une fraction 0,25% pour les autres radionucléides (y compris l'iode) par le débit vapeur sortant du GV appliqué à l'activité secondaire des GVS, correspondant à un taux de primage enveloppe des GV, pris constant sur toute la durée de l'incident.

3.6.1.3. VOIES DE REJET DANS L'ENVIRONNEMENT

Il y a 3 voies de rejet :

- le **rejet des gaz rares** au condenseur,

- le **rejet vapeur** par les vannes de décharge des GVS,
- le **rejet vapeur** par les vannes de décharge du GVA.

Dans l'activité rejetée sous forme vapeur lors de l'incident, l'iode est réparti en 90% sous forme particulaire et 10% sous forme moléculaire.

3.6.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet incident sont évaluées (cf. [Réf \[12\]](#)).

3.6.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les rejets d'activité à l'environnement se font par les vannes de décharge des GV.

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement sont données dans le tableau [TAB-15.3.4](#).

3.6.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique supposée constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s).

Un facteur de battement du vent de 1 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / ~ 7 h	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	5,2E-02mSv	7,4E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	6,3E-01mSv	6,3E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,1E-02mSv	1,1E-02mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	7,0E-01mSv	7,2E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	7,6E-01mSv	1,3E+00mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / ~ 7 h	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,3E-02mSv	4,6E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,1E-01mSv	4,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	6,9E-03mSv	6,9E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	4,5E-01mSv	4,6E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	4,8E-01mSv	8,3E-01mSv

 Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,3E-02mSv	4,6E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,1E-01mSv	4,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	2,4E-01mSv	1,5E-01mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	8,5E-01mSv	8,0E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,5E+00mSv	1,4E+00mSv

Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	4,0E-03mSv	5,7E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	5,7E-02mSv	5,7E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	3,0E-02mSv	1,9E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	1,1E-01mSv	9,9E-02mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	2,0E-01mSv	1,8E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	3,3E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,8E+00mSv
Dose efficace par ingestion	9,5E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,1E+00mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	4,0E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	5,7E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	2,2E-01mSv
Dose efficace par ingestion	1,2E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,0E-01mSv

3.6.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, à 1,7 km, soit une surface de 2,3 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

3.7. FERMETURE INTEMPESTIVE D'UNE OU DE TOUTES LES VANNES D'ISOLEMENT VAPEUR

La fermeture de toutes les vannes d'isolement vapeur entraîne l'annulation de tous les débits dans les lignes vapeur principales. La diminution de l'évacuation de la puissance conduit à une augmentation des températures et pressions secondaires et, en conséquence, à une augmentation des températures et pressions primaires.

L'incident se traduit par l'apparition d'une crise d'ébullition dans une faible portion du cœur, donc un risque d'endommagement d'un certain nombre de crayons combustibles.

Lors de ce transitoire de puissance, une proportion de ces produits de fission qui seraient relâchés suite à des ruptures de gaine viendrait contaminer le circuit secondaire des générateurs de vapeur par la fuite primaire-secondaire, et serait transférée à l'atmosphère via le débit de vapeur sortant des vannes de décharge.

Pour cet incident, le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition (NCE) est inférieur à 10%.

Les conséquences radiologiques de cet incident sont bornées par celles de l'incident de retrait d'une grappe de contrôle (voir [§ 3.12.](#)).

3.8. NON CONFORMITÉ DU COEUR

Cet incident considère, en dépit des dispositions prises lors d'un rechargement (conception du plan de chargement, processus de rechargement, cartographie du cœur), un mauvais positionnement d'un assemblage combustible dans le réacteur.

L'étude thermohydraulique montre qu'il n'y a pas de retour en criticité.

Cet incident n'a pas de conséquences radiologiques particulières.

3.9. RÉDUCTION FORCÉE DU DÉBIT PRIMAIRE (4 POMPES)

Cet incident initié en puissance conduit à un échauffement du cœur, et risque de provoquer une crise d'ébullition.

Il y a arrêt automatique du réacteur par très basse vitesse des pompes primaires.

Lors de ce transitoire de puissance, une proportion de ces produits de fission qui seraient relâchés suite à des ruptures de gaine viendrait contaminer le circuit secondaire des générateurs de vapeur par la fuite primaire-secondaire, et serait transférée à l'atmosphère via le débit de vapeur sortant des vannes de décharge.

Pour cet incident le nombre de crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition (NCE) est inférieur à 10%.

Les conséquences radiologiques de cet incident se rapportent à celle de l'incident de retrait d'une grappe de contrôle (voir [§ 3.12.](#)).

3.10. DÉFAILLANCE DES CIRCUITS DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS LIQUIDES OU GAZEUX

La spécificité de l'EPR est le traitement continu des effluents gazeux qui s'apparente à une boucle quasi fermée dont l'une des principales fonctions est de confiner les gaz radioactifs des réservoirs connectés (Réservoir de Contrôle Volumétrique et Chimique (RCV), réservoirs de stockage des effluents primaires (TEP), dégazeurs...).

Dans ce paragraphe, il est uniquement traité le rejet des effluents gazeux. L'incident relatif au traitement des effluents liquides est couvert par l'incident d'une « Rupture d'une ligne RCV dans le bâtiment des auxiliaires nucléaires » au [§ 3.13.2.](#)

Les hypothèses de calcul de cet incident sont données en [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

3.10.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

Le niveau d'activité pris en compte correspond à l'activité maximale du circuit TEG en fin de cycle (cf. [TAB-15.3.5](#) et [Réf \[3\]](#)).

3.10.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet incident sont évaluées (cf. [Réf \[13\]](#)).

3.10.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

La totalité de l'activité rejetée lors de la rupture du circuit TEG est transférée dans l'environnement sans subir de rétention durant son transfert à l'intérieur de l'installation (cf. [TAB-15.3.5](#)).

3.10.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s). Un facteur de battement du vent de 1 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	Non estimée ³	Non estimée
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,2E-01mSv	4,2E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	Non estimée	Non estimée
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	4,2E-01mSv	4,2E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	Non estimée	Non estimée

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an

3. Pour cet incident, l'inventaire retenu n'est constitué que de gaz rares, la dose thyroïde et les doses par inhalation, irradiation due au dépôt au sol et ingestion n'ont donc pas été estimées.

Dose efficace par inhalation	Non estimée	Non estimée
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,8E-01mSv	2,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	Non estimée	Non estimée
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	2,8E-01mSv	2,8E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	Non estimée	Non estimée

 Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	Non estimée	Non estimée
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,8E-01mSv	2,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	Non estimée	Non estimée
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	Non estimée	Non estimée
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	2,8E-01mSv	2,8E-01mSv

 Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	Non estimée	Non estimée
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,4E-02 Sv	4,4E-02 Sv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	Non estimée	Non estimée
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	Non estimée	Non estimée
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,4E-02 Sv	4,4E-02 Sv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	Non estimée
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	Non estimée
Dose efficace par ingestion	Non estimée
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	2,8E-01mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	Non estimée
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,4E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	Non estimée
Dose efficace par ingestion	Non estimée
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,4E-02mSv

3.10.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

Aucune surface agricole à l'extérieur du site n'est concernée par un dépassement des limites de commercialisation des denrées issues de l'agriculture.

3.11. RETRAIT INCONTRÔLÉ DE GROUPES (ÉTATS B, C ET D)

Un retrait incontrôlé de groupes à puissance nulle (RIGZ) conduit à un apport incontrôlé de réactivité dans le cœur du réacteur qui peut provoquer une excursion de puissance.

L'incident ne peut survenir que si les mécanismes de commande des grappes sont alimentés électriquement. Dans ce cas, la concentration en bore est telle que le cœur reste sous-critique au cours du retrait des groupes. Lors du retrait des groupes, l'AAR n'est pas sollicité. L'alimentation en eau des GV au secondaire est donc assurée par l'ARE. Dans ce cas, l'évacuation de la puissance résiduelle est durable ; l'état contrôlé est donc également l'état sûr qui n'est jamais quitté au cours de l'incident. Aucune conduite incidentelle ou accidentelle n'est à effectuer.

Cet incident n'a pas de conséquences radiologiques particulières.

3.12. RETRAIT INCONTRÔLÉ D'UNE GRAPPE (ÉTAT A)

□

L'incident se traduit par l'apparition d'une crise d'ébullition dans une faible portion du cœur, donc un risque d'endommagement d'un certain nombre de crayons combustibles.

Lors de ce transitoire de puissance, une proportion de ces produits de fission qui seraient relâchés suite à des ruptures de gaine viendrait contaminer le circuit secondaire des générateurs de vapeur par la fuite primaire-secondaire, et serait transférée à l'atmosphère via le débit de vapeur sortant des vannes de décharge.

Pour cet incident le nombre de crayons entrant en crise d'ébullition est de 10% au maximum.

Les conséquences radiologiques de cet incident se rapportent à celles de l'accident de Défaillance d'une Pompe Primaire (Rotor Bloqué) (voir § 4.8.), qui prend en compte les hypothèses de découplage enveloppes de 10% de crayons entrant en crise d'ébullition et une consommation de la totalité du volume d'eau de la bache ASG.

3.13. RUPTURE D'UNE LIGNE VÉHICULANT DU FLUIDE PRIMAIRE À L'EXTÉRIEUR DE L'ENCEINTE

La perte de réfrigérant primaire peut résulter de la défaillance du circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV) ou du circuit d'échantillonnage nucléaire (REN).

3.13.1. RUPTURE D'UNE LIGNE REN DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE

Cet incident prend en compte une brèche 2A sur la ligne d'échantillonnage nucléaire de la phase liquide du pressuriseur située dans le BK entre la traversée enceinte et l'échangeur de chaleur.

En cas de brèche sur la ligne d'échantillonnage nucléaire, le taux de fuite maximal est le débit de brèche critique : □ t/h d'eau issue du pressuriseur.

On prend en compte pour cet incident une fuite sur 24 h, correspondant au cumul d'un délai de détection et du délai opérateur. Le délai opérateur considéré est de 1 h.

Une étude de sensibilité a été réalisée en prenant en compte une fuite sur 72 h (cf. Réf [23]).

Pour cet incident, il n'y a pas de dégradation du combustible.

Les hypothèses de calcul de cet incident sont données en Réf [3] et rappelées ci-après.

3.13.1.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

3.13.1.1.1. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE AVANT ET PENDANT L'INCIDENT

L'activité initiale de l'eau primaire est celle du régime permanent pour une activité du circuit primaire telle que définie au § 1.1.1.1.. On prend en compte pour cet incident le développement d'un pic d'activité primaire dès la détection de la brèche, soit 23 h après le début de l'incident.

Les activités primaires du régime permanent et du pic d'activité sont indiquées dans le tableau **TAB-15.3.1.**

3.13.1.1.2. RELÂCHEMENT DES PRODUITS DE FISSION DANS LE BÂTIMENT COMBUSTIBLE

A la rupture du circuit, la phase liquide est relâchée dans le bâtiment combustible.

□

3.13.1.1.3. VENTILATION/FILTRATION DU BÂTIMENT COMBUSTIBLE

La prise en compte de la ventilation DWN est pénalisante du point de vue de l'activité rejetée en gaz rares (non filtrée), mais favorable du point de vue de la rétention des aérosols du filtre THE.

On étudie donc les deux cas possibles :

- Cas 1 : ventilation DWK en service, sans valorisation de la filtration iode ;
- Cas 2 : ventilation DWK hors service dès le début de l'incident.



Les valeurs retenues pour l'efficacité des filtres THE sont les suivantes :

	% d'activité retenue en filtration THE
Aérosols Iode particulaire	99,9%
Iode moléculaire	0%
Gaz rares	0%

3.13.1.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet incident sont évaluées (cf. [Réf \[14\]](#)).

3.13.1.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Le rejet est déterminé pour une durée de 30 jours.

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement sont données respectivement pour le cas 1 dans le tableau [TAB-15.3.6](#) et le cas 2 dans le tableau [TAB-15.3.7](#).

3.13.1.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s).

Le facteur de battement retenu pour cet incident est de 3 (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent, ils présentent les doses maximums obtenues entre le Cas 1 et le Cas 2 :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	5,8E-02mSv	8,5E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,1E-02mSv	4,1E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	8,0E-03mSv	4,2E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt (CAS 1)	1,1E-01mSv	1,3E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde (CAS 1)	1,1E+00mSv	1,7E+00mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an

Dose efficace par inhalation	3,5E-02mSv	5,1E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,6E-02mSv	2,6E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	4,8E-03mSv	2,5E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt (CAS 1)	6,6E-02mSv	8,0E-02mSv
Dose équivalente à la thyroïde (CAS 1)	6,8E-01mSv	1,0E-01mSv

 Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	6,9E-02mSv	9,8E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,3E-03mSv	4,3E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	1,6E-01mSv	9,7E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	1,0E+00mSv	1,9E+00mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion (CAS 2)	1,3E+00mSv	2,1E+00mSv

 Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	7,5E-03mSv	1,1E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	6,3E-04mSv	6,3E-04mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	1,9E-02mSv	1,2E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	1,2E-01mSv	2,0E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion (CAS 2)	1,5E-01mSv	2,3E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	6,9E-02mSv

Dose efficace par irradiation dans le panache	4,3E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,1E+00mSv
Dose efficace par ingestion	1,1E+00mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion (CAS 2)	2,3E+00mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	7,5E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	6,3E-04mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,4E-01mSv
Dose efficace par ingestion	1,3E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion (CAS 2)	2,7E-01mSv

L'étude de sensibilité réalisée avec un délai de détection et d'isolement de 72h au lieu de 16h montre que les doses obtenues dans cette situation restent inférieures aux objectifs radiologiques associés aux conditions de fonctionnement de catégorie 3, avec des marges importantes.

3.13.1.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, à 1,8 km et 2,5 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

3.13.2. RUPTURE D'UNE LIGNE RCV DANS LE BÂTIMENT DES AUXILIAIRES NUCLÉAIRES

Cet incident prend en compte une brèche sur le circuit RCV, située dans le BAN entre la traversée BK et en amont du système de purification (déméraliseurs RCV).

On considère pour cet incident le système de purification à son débit maximal soit 72 t/h. La température du fluide primaire sur cette portion de circuit RCV est inférieure à 50°C.

On prend en compte pour cet incident une fuite sur 2 heures, correspondant au cumul d'un délai de détection et du délai opérateur. Le délai opérateur considéré est de 1 h.

Une étude de sensibilité a été réalisée en prenant en compte une fuite sur 16 h (cf. [Réf \[23\]](#)).

Pour cet incident, il n'y a pas de dégradation du combustible.

Les hypothèses de calcul de cet incident sont données en [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

3.13.2.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

3.13.2.1.1. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE AVANT ET PENDANT L'INCIDENT

L'activité initiale de l'eau primaire est celle du régime permanent en limite des STE. On prend en compte pour cet incident le développement d'un pic d'activité primaire dès la détection de la brèche, soit 1 h après le début de l'incident.

Les activités primaires du régime permanent et du pic d'activité sont indiquées dans le tableau [TAB-15.3.1](#).

3.13.2.1.2. RELÂCHEMENT DES PRODUITS DE FISSION □

A la rupture du circuit, la phase liquide est relâchée dans le bâtiment des auxiliaires nucléaire.

□

3.13.2.1.3. VENTILATION/FILTRATION DU BÂTIMENT DES AUXILIAIRES NUCLÉAIRES

La prise en compte de la ventilation DWN est pénalisante du point de vue de l'activité rejetée en gaz rares (non filtrée), mais favorable du point de vue de la rétention des aérosols du filtre THE.

On étudie donc les deux cas possibles :

- cas 1 : ventilation DWN en service, sans valorisation de la filtration iode,
- cas 2 : ventilation DWN hors service dès le début de l'incident.

□

Les valeurs retenues pour l'efficacité des filtres THE sont les suivantes :

	% d'activité retenue en filtration THE
Aérosols	
Iode particulaire	99,9%
Iode moléculaire	0%
Gaz rares	0%

3.13.2.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet incident sont évaluées en [Réf \[14\]](#).

3.13.2.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Le rejet est déterminé pour une durée de 30 jours.

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement sont données respectivement pour le Cas 1 (cf. [TAB-15.3.8](#)) et le Cas 2 (cf. [TAB-15.3.9](#)).

3.13.2.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s).

Les facteurs de battement retenus pour cet incident sont (cf. [Réf \[5\]](#)) :

- Cas 1 (ventilation en service) : 3 pour l'iode et 1 pour les autres radionucléides,
- Cas 2 (ventilation hors service) : 3 pour tous les radionucléides.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 3

PAGE 37/121

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent, ils présentent les doses maximums obtenues entre le Cas 1 et le Cas 2 :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,7E-02mSv	4,0E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,5E-01mSv	4,5E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	3,6E-03mSv	1,9E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt (CAS 1)	4,8E-01mSv	4,9E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	5,3E-01mSv	7,9E-01mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	1,6E-02mSv	2,4E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,9E-01mSv	2,9E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	2,2E-03mSv	1,2E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt (CAS 1)	3,1E-01mSv	3,1E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	3,2E-01mSv	4,8E-01mSv

 Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,2E-02mSv	4,7E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,9E-01mSv	2,9E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	8,6E-03mSv	4,5E-03mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	3,2E-01mSv	8,4E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion (CAS 1)	6,5E-01mSv	1,2E+00mSv

Doses 1^{ère} année à 2km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,2E-03mSv	4,6E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,2E-02mSv	4,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	8,5E-04mSv	4,5E-04mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	3,1E-02mSv	8,2E-02mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion (CAS 1)	7,7E-02mSv	1,3E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	3,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,9E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	8,6E-03mSv
Dose efficace par ingestion	3,2E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion (CAS 1)	6,5E-01mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	3,2E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	8,5E-04mSv
Dose efficace par ingestion	3,1E-02mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion (CAS 1)	7,7E-02mSv

L'étude de sensibilité réalisée avec un délai de détection et d'isolement de 16h au lieu de 2h montre que les doses obtenues dans cette situation restent inférieures aux objectifs radiologiques associés aux conditions de fonctionnement de catégorie 3, avec des marges importantes.

3.13.2.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, à 1,2 km et 1,1 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

3.14. PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES (> 2 HEURES) ASPECT REFROIDISSEMENT DE LA PISCINE BK (ÉTAT A)

L'étude thermique montre qu'il n'y a pas d'ébullition de la piscine BK ni de dégradation des assemblages combustibles stockés.

Cet incident n'a pas de conséquences radiologiques particulières.

3.15. PERTE D'UN TRAIN DE REFROIDISSEMENT DU PTR OU D'UN SYSTÈME SUPPORT DU PTR (ÉTAT F)

L'étude thermique montre qu'il n'y a pas d'ébullition de la piscine BK ni de dégradation des assemblages combustibles stockés.

Cet incident n'a pas de conséquences radiologiques particulières.

3.16. RUPTURE DE TUYAUTERIE ISOLABLE SUR UN CIRCUIT CONNECTÉ À LA PISCINE DE DÉSACTIVATION (ÉTATS A À F)

L'étude thermique montre qu'il n'y a pas d'ébullition de la piscine BK ni de dégradation des assemblages combustibles stockés.

Cet incident n'a pas de conséquences radiologiques particulières.

4. ACCIDENTS PCC-4

4.1. PERTE DES ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES EXTERNES (> 2 HEURES) (ÉTAT C)

Cet accident entraîne la perte d'alimentation de tous les auxiliaires de l'installation. Cet événement conduit à la perte temporaire de la fonction d'évacuation de la puissance résiduelle par les trains RIS-RA.

L'étude thermohydraulique montre que malgré la défaillance d'un train RIS-RA, la puissance résiduelle est toujours évacuée par le ou les trains restant en fonctionnement.

Cet accident n'a pas de conséquences radiologiques particulières.

4.2. RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR

Les conséquences radiologiques de cet accident résultent du relâchement d'activité vers l'extérieur au travers d'une brèche, à l'extérieur du bâtiment réacteur, suite à la rupture guillotine entièrement débattue d'une tuyauterie vapeur du plus fort diamètre.

En ce qui concerne la vérification de la tenue de l'enceinte de confinement, cet accident est supposé survenir à l'intérieur de l'enceinte de confinement. L'hypothèse de la survenue d'une rupture de tuyauterie vapeur à l'extérieur de l'enceinte est retenue de manière à majorer les conséquences radiologiques de cet accident bien que les tuyauteries vapeur extérieures à l'enceinte soient constituées de tronçons protégés jusqu'à la vanne d'isolement vapeur.

L'activité du circuit secondaire provient des fuites primaire-secondaire des générateurs de vapeur.

Les hypothèses de calcul de cet accident sont données en [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

4.2.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

4.2.1.1. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE ET DE L'EAU SECONDAIRE AVANT L'ACCIDENT

Les valeurs des activités de l'eau du circuit primaire sont celles définies au [§ 1.1.1.1.](#) et sont données dans le tableau [TAB-15.3.1](#).

L'activité dans le circuit secondaire est déterminée en tenant compte d'une fuite préexistante entre le circuit primaire et le circuit secondaire de 20 L/h sur le GV qui sera affecté par la RTV, et de 3 L/h sur les autres GV.

4.2.1.2. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE ET DE L'EAU SECONDAIRE PENDANT L'ACCIDENT

- **Activité de l'eau primaire**
L'activité dans le circuit primaire tient compte du pic d'activité lié au régime transitoire (développement consécutif à l'arrêt automatique du réacteur) (cf. [TAB-15.3.1](#)).
- **Activité dans le circuit secondaire**
L'activité dans le circuit secondaire est déterminée en tenant compte de fuite primaire-secondaire de 3 L/h sur les GV sains et d'une fuite primaire-secondaire majorée de 200 L/h sur le GV affecté (pour tenir compte de la dépressurisation totale du GV affecté durant l'accident) appliquée de manière enveloppe jusqu'à l'atteinte des conditions de connexion du RRA, supposées se produire dans un délai de 10 h après l'accident. Au delà de 10 h et jusqu'à l'atteinte de l'arrêt à froid du réacteur, on reconduit de manière forfaitaire la valeur de fuite avant l'accident, soit 20 L/h.
- **Activité relâchée dans l'environnement via les GV**
On considère que de l'activité est relâchée jusqu'à la connexion du RRA pour les GV sains (10 h) et jusqu'à l'arrêt à froid pour le GV accidenté (24 h).
Les facteurs d'entraînement suivant sont considérés au cours du transitoire (pourcentage de relâchement dans la phase vapeur) :

		GVA	GVS
Iodes	0 - 30 mn	100%	0,25%
	30 mn - 10 h	10%	0,25%
	10 h - 24 h	1%	0%
Césium	0 - 30 mn	100%	0,25%
	30 mn - 10 h	10%	0,25%
	10 h - 24 h	1%	0%
Gaz rares	0 - 30 mn	100%	100%
	30 mn - 10 h	100%	100%
	10 h - 24 h	100%	0%
Autres	0 - 30 mn	100%	0,25%
	30 mn - 10 h	10%	0,25%
	10 h - 24 h	1%	0%

On considère une répartition de l'iode avec 10% sous forme d'iode moléculaire et 90% sous forme particulaire.

4.2.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet accident sont évaluées (cf. [Réf \[15\]](#)).

4.2.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Le rejet à l'atmosphère s'effectue par :

- le débit de vapeur sortant par la brèche sur le générateur de vapeur affecté,
- le débit de vapeur sortant par les vannes de décharge des GVS.

L'évolution des activités relâchées dans l'environnement est donnée dans le tableau [TAB-15.3.10](#).

4.2.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s).

Un facteur de battement du vent de 3 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 24 heures	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	1,4E-02mSv	1,9E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,8E-03mSv	2,8E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,8E-03mSv	9,3E-04mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	1,8E-02mSv	2,3E-02mSv
Dose équivalente à la thyroïde	2,0E-01mSv	3,5E-01mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 24 heures	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	8,6E-03mSv	1,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,8E-03mSv	1,8E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,1E-03mSv	5,8E-04mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	1,2E-02mSv	1,4E-02mSv
Dose équivalente à la thyroïde	1,3E-01mSv	2,2E-01mSv

Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	8,6E-03mSv	1,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,8E-03mSv	1,8E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	7,0E-02mSv	4,3E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	2,5E-01mSv	2,2E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,3E-01mSv	2,8E-01mSv

 Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	1,1E-03mSv	1,5E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,5E-04mSv	2,5E-04mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	8,8E-03mSv	5,4E-03mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	3,1E-02mSv	2,8E-02mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,1E-02mSv	3,5E-02mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	8,6E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,8E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	5,1E-01mSv
Dose efficace par ingestion	2,7E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	8,0E-01mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	1,1E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,5E-04mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	6,4E-02mSv
Dose efficace par ingestion	3,4E-02mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,0E-01mSv

4.2.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme à 1,5 km et 1,8 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

4.3. RUPTURE DE TUYAUTERIE D'EAU ALIMENTAIRE

La rupture de tuyauterie d'eau alimentaire entraîne, selon l'importance et la localisation de la brèche, une diminution brutale, plus ou moins grande du débit d'eau alimentaire vers les générateurs de vapeur, suivie ou non d'une vidange directe de l'un de ceux-ci par la brèche (en fonction de la position de la brèche par rapport aux possibilités d'isolement de la brèche).

Les études thermohydrauliques montrent qu'il n'y a pas de dégradation du combustible. En revanche, la moindre capacité de refroidissement côté secondaire fait monter la pression et la température primaire, provoquant l'ouverture des soupapes du pressuriseur sans atteinte des critères de passage en « gavé-ouvert ».

Du point de vue des conséquences radiologiques, l'impact de cet accident est :

- côté secondaire, des rejets inférieurs à ceux pris en compte pour l'incident RTV (cf. § 4.2.),
- côté primaire, des rejets via le pressuriseur inférieurs à ceux pris en compte pour l'incident APRP en PCC-3 (cf. § 3.5.).

4.4. OUVERTURE INTEMPESTIVE D'UNE VANNE DE CONTOURNEMENT À L'ATMOSPHÈRE OU D'UNE SOUPAPE GV (ÉTAT B)

Les conséquences radiologiques de cet accident sont enveloppées par celles de l'incident PCC-3 « Ouverture intempestive d'une vanne de décharge à l'atmosphère ou d'une soupape GV - Etat A » (cf. § 3.4.).

4.5. ÉJECTION DE GRAPPE (ÉTATS A ET B)

Cet accident est dû à une rupture du carter de mécanisme de commande d'une grappe de réglage suivie de l'éjection très rapide de celle-ci hors du cœur. Cet accident entraîne une excursion de puissance, une montée en pression du circuit primaire et un échauffement du combustible pouvant

entraîner la détérioration de certains crayons combustibles. Le cas échéant, il y a ainsi une contamination du circuit primaire et de l'atmosphère du bâtiment réacteur par la brèche induite.

La source de contamination de l'environnement provient des activités relâchées dans l'enceinte de confinement par la brèche du circuit primaire provoquée par l'éjection de la grappe.

Les hypothèses de calcul de cet accident sont données en [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

4.5.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

4.5.1.1. CARACTÉRISTIQUES DU CŒUR

Il s'agit d'un cœur à l'équilibre en gestion EPR UOx (voir [TAB-15.3.11](#)).

4.5.1.2. ACTIVITÉ LIBÉRÉE LORS DE L'ACCIDENT

L'activité rejetée lors de l'accident dépend de l'activité des produits de fission du combustible, du taux de relâchement des crayons rompus et du pourcentage de crayons rompus.

Il est considéré, pour cet accident, que la totalité des crayons entrant en crise d'ébullition sont rompus. Par ailleurs, on retient la valeur du critère de découplage pour évaluer le nombre de ces crayons, soit 10%.

Conformément aux résultats de l'étude thermohydraulique de l'accident d'éjection de grappe (voir section 15.2.4e), aucune fusion localisée du combustible n'est à considérer.

Le taux de relâchement applicable aux crayons rompus est fonction du type de combustible et de son taux de combustion (voir [TAB-15.3.12](#)).

4.5.1.3. TRANSFERT D'ACTIVITÉ VERS L'ENCEINTE DE CONFINEMENT

Les ruptures de gaine combustible entraînent la libération dans l'eau primaire des produits de fission contenus dans l'espace gaine-combustible.

L'intégralité de l'activité du circuit primaire émise à la brèche se répartit en deux milieux à l'intérieur du bâtiment réacteur : le volume libre gazeux et l'eau des puisards.

Par rapport à l'inventaire total relâché par les ruptures de gaine, la répartition de l'activité dans le volume gazeux de l'enceinte est la suivante :

- 10% des aérosols (dont iode sous forme particulière),
- 2% d'iode sous forme moléculaire,
- 100% des gaz rares.

L'eau des puisards contient le complément d'activité qui n'est pas relâchée dans l'enceinte, soit :

- 90% des aérosols (hors iode),
- 88% de l'iode.

Les gaz rares produits par filiation radioactive dans la bache IRWST au cours de l'accident sont supposés dégazés instantanément dans l'enceinte. Il n'y a donc pas de gaz rares dans la bache IRWST.

4.5.1.4. COMPORTEMENT DES RADIO-NUCLÉIDES DANS L'ENCEINTE

L'aspersion EVU n'est pas valorisée pour cet accident. Les constantes de rabatement sont données (voir [TAB-15.3.13](#)).

4.5.1.5. TAUX DE FUITE DE L'ENCEINTE

L'enceinte de l'EPR est équipée d'un système de confinement du type « double enceinte avec paroi métallique », pour lequel le critère d'étanchéité conventionnel de dimensionnement est de 0,3% par jour à la pression de dimensionnement (5,5 bars).

Ce taux de fuite global est réparti entre :

- **les fuites via l'enceinte elle-même** à travers la paroi métallique et le béton. Ces fuites transitantes sont reprises par l'EDE, ce sont des fuites collectées.
- **les fuites via les traversées de l'enceinte** : ces fuites transitent par les bâtiments périphériques et sont alors soumises à des effets de ligne retard (filtration, reprise, rétention, dilution, déposition). Ces fuites sont dites collectées.

La répartition des fuites retenue est la suivante :

Type de fuites		% par jour de la masse des gaz de l'enceinte interne au pic de pression et température APRP
Fuites collectées	vers l'Espace Entre Enceintes	$40\% \times 0,3\% = 0,12\%$
	vers les bâtiments périphériques	$60\% \times 0,3\% = 0,18\%$
Fuite globale de l'enceinte		0,3%

4.5.1.6. FUTES DES SYSTÈMES IMPLANTÉS EN DEHORS DU BÂTIMENT RÉACTEUR

Par conception, sur l'EPR, seules sont à considérer les fuites sur le système d'injection de sécurité.

Deux types de fuites sont considérés :

- fuites ponctuelles de 200 l/mn, isolables en une demi-heure,
- ensuite, des fuites d'exploitation, globalement estimées à 7 l/mn, qui sont supposées persister après une demi-heure.

Un délai de 24 h entre le début de l'accident et l'occurrence de ces fuites est pris en compte.

4.5.1.7. COMPORTEMENT DES FUTES LIQUIDES

Il se produit d'abord un dégazage instantané dans l'air du local ou de la bache de la totalité des gaz rares et d'une fraction des autres produits de fission contenus dans la phase liquide. Les facteurs d'entraînement instantanés des aérosols (dont I-) vers la phase gazeuse de la radioactivité présente dans l'eau sont donnés (voir [TAB-15.3.14](#)).

Puis, il y a un transfert d'une fraction de l'iode moléculaire présent dans l'eau répandue vers la phase gazeuse par un mécanisme d'évaporation. La totalité des gaz rares produits par filiation gagne l'atmosphère du local ou de la bache. Les caractéristiques de l'évaporation sont données (voir [TAB-15.3.15](#)).

4.5.1.8. FILTRATION

Les coefficients d'épuration à prendre en compte pour le système de filtration des bâtiments sont identiques à ceux retenus pour l'EDE sur EPR.

	Filtres absolus (aérosols et iode particulaire)	Pièges à iode	
		Iode moléculaire	Iode organique
Filtre des locaux des bâtiments périphériques	1000	1000	100
Filtre de l'EEE	1000	1000	100



4.5.1.9. FUITES PAR LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

A titre de découplage, une estimation enveloppe des rejets par les GV pour cet accident est donnée par les conséquences radiologiques de l'accident rotor bloqué (rejets par les GV d'une activité primaire avec 10% de rupture de gaine et vidange de l'intégralité de la bache ASG sur 10 heures en prenant en compte des fuites primaires / secondaires constantes sur la durée de l'accident).

4.5.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet accident sont évaluées en [Réf \[16\]](#).

4.5.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES À L'ATMOSPHÈRE

L'activité est rejetée via les fuites gazeuses et liquides et par les GV.

Les activités relâchées à l'atmosphère (hors rejets par les GV) sont indiquées dans le tableau [TAB-15.3.16](#). L'activité maximale rejetée par les GV est donnée dans le tableau [TAB-15.3.18](#).

4.5.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique supposée constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s). Un facteur de battement du vent de 3 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	4,9E-02mSv	7,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,8E-01mSv	2,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	6,3E-03mSv	6,2E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	3,4E-01mSv	3,6E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	7,8E-01mSv	1,3E+00mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,1E-02mSv	4,5E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,8E-01mSv	1,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	3,9E-03mSv	3,9E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	2,2E-01mSv	2,3E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	4,9E-01mSv	8,4E-01mSv

Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,2E-02mSv	4,7E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,1E-01mSv	2,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	1,9E-01mSv	1,2E-01mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	8,0E-01mSv	8,0E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,2E+00mSv	1,2E+00mSv

 Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	4,0E-03mSv	5,9E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	3,1E-02mSv	3,1E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	2,4E-02mSv	1,5E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	1,0E-01mSv	9,9E-02mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,6E-01mSv	1,5E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	3,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,4E+00mSv
Dose efficace par ingestion	8,8E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	2,5E+00mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	TOTAL
Dose efficace par inhalation	4,0E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	3,1E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,8E-01mSv
Dose efficace par ingestion	1,1E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,2E-01mSv

4.5.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme avec prise en compte des rejets via les GV, à 1,5 km et 1,8 km²,
- pour le moyen terme et le long terme avec prise en compte des rejets via les GV, la distance est inférieure à 500 m.

4.6. APRP BRÈCHES INTERMÉDIAIRES ET GROSSES BRÈCHES (ÉTATS A ET B)

Du point de vue des conséquences radiologiques, l'accident étudié ici considère 10% de crayons combustible rompus et est par conséquent enveloppe de tous les transitoires APRP BI et GB présentés dans les sections 15.2.4f1 et 15.2.4f2. Il est important de noter que cette hypothèse est pénalisante, l'absence de crayons rompus ayant été démontrée (cf. [Réf \[3\]](#)).

Les hypothèses de calcul de cet accident sont données en [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

4.6.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

4.6.1.1. CARACTÉRISTIQUES DU CŒUR

Il s'agit d'un cœur à l'équilibre en gestion EPR UOx (cf. [TAB-15.3.11](#)).

4.6.1.2. ACTIVITÉ LIBÉRÉE LORS DE L'ACCIDENT

L'activité rejetée lors de l'accident dépend de l'activité des produits de fission du combustible, du taux de relâchement des crayons rompus et du pourcentage de crayons rompus.

Lors de l'APRP, les produits de fission accumulés dans l'espace combustible-gaine sont libérés au moment de la rupture des gaines. Les taux de relâchement applicables aux crayons rompus sont fonction du taux d'irradiation du combustible (voir [TAB-15.3.12](#)).

On suppose de manière découplée que, lors de l'APRP, 10% des crayons combustibles du cœur complet sont rompus (cf. [Réf \[3\]](#)). Cette hypothèse enveloppe couvre les APRP grosse brèche et brèche intermédiaire présentés dans les sections 15.2.4f1 et 15.2.4f2.

4.6.1.3. TRANSFERT D'ACTIVITÉ VERS L'ENCEINTE DE CONFINEMENT

L'intégralité de l'activité du circuit primaire émise à la brèche se répartit en deux milieux à l'intérieur du bâtiment réacteur : le volume libre gazeux et l'eau des puisards.

Par rapport à l'inventaire total relâché par les ruptures de gaine, la répartition de l'activité dans le volume gazeux de l'enceinte est la suivante :

- 20% des aérosols (dont iode sous forme particulière),
- 50% (= 2% + 60% x (fraction d'iode particulière restant en cuve)) d'iode sous forme moléculaire,
- 100% des gaz rares.

L'eau des puisards contient le complément d'activité qui n'est pas relâchée dans l'enceinte, soit :

- 80% des aérosols (hors iode),
- 30% de l'iode.

Les gaz rares produits par filiation radioactive dans la bêche IRWST au cours de l'accident sont supposés dégazés instantanément dans l'enceinte. Il n'y a donc pas de gaz rares dans la bêche IRWST.

4.6.1.4. COMPORTEMENT DES RADIO-NUCLÉIDES DANS L'ENCEINTE

L'aspersion EVU n'est pas valorisée pour cet accident. Les constantes de rabattement sont données dans le tableau [TAB-15.3.13](#).

4.6.1.5. TAUX DE FUITE DE L'ENCEINTE

L'enceinte de l'EPR est équipée d'un système de confinement du type « double enceinte avec paroi métallique » pour lequel le critère d'étanchéité conventionnel de dimensionnement est de 0,3% par jour à la pression de dimensionnement (5,5 bars).

Ce taux de fuite global est réparti en :

- les fuites via l'enceinte elle-même à travers la paroi métallique et le béton: Ces fuites sont reprises par l'EDE, ce sont des fuites collectées.
- les fuites via les traversées de l'enceinte.

Ces fuites transitent par les bâtiments périphériques et sont alors soumises à des effets de ligne retard (filtration, reprise, rétention, dilution, déposition). Ces fuites sont dites collectées via les BP.

Les traversées APG débouchant dans les casemates vapeur présentent un risque, dans certaines situations accidentelles, de pouvoir conduire à des rejets non filtrés. Afin de couvrir ce risque, une fuite sur ces traversées APG (notée "fuite APG") conduisant à des rejets non filtrés est prise en compte.

La répartition des fuites retenue est la suivante :

Type de fuites	% par jour de la masse des gaz de l'enceinte interne au pic de pression et température APRP	
Fuites collectées	vers l'Espace Entre Enceintes	$40\% \times 0,3\% = 0,12\%$
	vers les bâtiments périphériques	$57\% \times 0,3\% = 0,171\%$
Fuites des traversées APG débouchant dans les casemates vapeur et susceptibles de conduire à des rejets non filtrés	$3\% \times 0,3\% = 0,009\%$	
Fuite globale de l'enceinte	0,3%	

4.6.1.6. FUITES DES SYSTÈMES IMPLANTÉS EN DEHORS DU BÂTIMENT RÉACTEUR

Par conception, sur l'EPR, seules sont à considérer les fuites sur le système d'injection de sécurité.

Deux types de fuites sont considérés :

- fuites ponctuelles de 200 l/mn, isolables en une demi heure,
- ensuite, des fuites d'exploitation, globalement estimées à 7 l/mn, qui sont supposées persister après une demi-heure.

Un délai de 24 h entre le début de l'accident et l'occurrence de ces fuites est pris en compte.

4.6.1.7. COMPORTEMENT DES FUITES LIQUIDES

Il se produit d'abord un dégazage instantané dans l'air du local ou de la bache de la totalité des gaz rares et d'une fraction des autres produits de fission contenus dans la phase liquide. Les facteurs d'entraînement instantanés des aérosols (dont I-) vers la phase gazeuse de la radioactivité présente dans l'eau sont donnés dans le tableau [TAB-15.3.14](#).

Puis, il y a un transfert d'une fraction de l'iode moléculaire présent dans l'eau répandue vers la phase gazeuse par un mécanisme d'évaporation. La totalité des gaz rares produits par filiation gagne l'atmosphère du local ou de la bache. Les caractéristiques de l'évaporation sont données dans le tableau [TAB-15.3.15](#).

4.6.1.8. FILTRATION

Les coefficients d'épuration à prendre en compte pour le système de filtration des bâtiments sont identiques à ceux retenus pour l'EDE sur EPR.

	Filtres absolus (aérosols et iode particulaire)	Pièges à iode	
		Iode moléculaire	Iode organique
Filtre des locaux des bâtiments périphériques	1000	1000	100
Filtre de l'EEE	1000	1000	100

Le taux de renouvellement de l'air dans les locaux des bâtiments périphériques filtrés est pris égal à 4,8 volumes/jour.

Le débit d'extraction d'activité de l'EEE par le système EDE est de 300 m³/h.

4.6.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet accident sont évaluées en [Réf \[17\]](#).

4.6.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES À L'ATMOSPHÈRE

L'activité est rejetée à l'environnement par les fuites de l'enceinte et des bâtiments périphériques.

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement pour les principaux isotopes sont données dans le tableau [TAB-15.3.17](#).

4.6.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique supposée constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s). Un facteur de battement du vent de 3 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,7E-01 mSv	5,6E-01 mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,3E-01 mSv	1,3E-01 mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	4,7E-02 mSv	2,5E-02 mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	5,5E-01 mSv	7,2E-01 mSv
Dose équivalente à la thyroïde	7,2E+00 mSv	1,1E+01 mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,3E-01 mSv	3,5E-01 mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	8,3E-02 mSv	8,3E-02 mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	2,9E-02 mSv	1,5E-02 mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	3,4E-01 mSv	4,5E-01 mSv
Dose équivalente à la thyroïde	4,5E+00 mSv	6,9E+00 mSv

 Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,5E-01 mSv	5,2E-01 mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,1E-01 mSv	1,1E-01 mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	1,2E-01 mSv	7,2E-02 mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	2,3E+00 mSv	5,5E+00 mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	2,8E+00 mSv	6,2E+00 mSv

 Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	4,2E-02 mSv	6,4E-02 mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,7E-02 mSv	1,7E-02 mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	1,5E-02 mSv	9,0E-03 mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	2,8E-01 mSv	6,7E-01 mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,5E-01 mSv	7,6E-01 mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	3,5E-01 mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,1E-01 mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	5,7E-01 mSv
Dose efficace par ingestion	2,3E+00 mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,3E+00 mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	4,2E-02 mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,7E-02 mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	7,1E-02 mSv
Dose efficace par ingestion	2,8E-01 mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,1E-01 mSv

4.6.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, à 3,7 km et 10,8km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

4.6.3. SENSIBILITÉ

Pour cet accident, trois études de sensibilité complémentaires sont réalisées (cf. [Réf \[3\]](#)) afin de répondre à la demande des Directives Techniques (cf. [Réf \[1\]](#)) :

- 1) La première étude de sensibilité considère l'existence d'une fuite de l'atmosphère du bâtiment réacteur vers un bâtiment périphérique sans que le système de ventilation/filtration du bâtiment ne soit opérationnel ; seule est prise en compte l'étanchéité du bâtiment : on évalue l'impact d'une proportion de 5% des fuites de l'enceinte collectées par les bâtiments périphériques non filtrés. Par rapport au cas de référence, une augmentation des doses à la population est obtenue. Cette augmentation est d'environ +45% pour les doses efficaces à court terme, +65% pour les doses efficaces à moyen et long terme, +60% pour les doses équivalente à la thyroïde.

- 2) La seconde étude de sensibilité porte sur les caractéristiques de la fuite considérée sur le circuit d'injection de sécurité en mode recirculation (prise en compte de la défaillance passive). On évalue l'impact d'une fuite dès le début de l'accident, soit à $t=1h30$ au lieu de $t=24h$ ($t=1h30$ correspond à l'activité maximale de la bache IRWST après balayage de l'activité de la cuve par la mise en service de l'injection en branche chaude) ; on ne valorise le système de réinjection par RPE qu'après 24 h.
Les résultats obtenus pour cette étude de sensibilité sont comparables au cas de référence.
- 3) La troisième étude porte sur l'impact d'une rupture d'une tuyauterie DN 50, soit un débit de fuite de 5100 L/min à 24 h pendant 30 min au lieu de 200 L/min. Les résultats obtenus révèlent une activité rejetée identique au cas de référence. Les doses efficace et thyroïde court terme à 500 m sont inchangées. La dose efficace long terme 50 ans est inchangée.

Pour les 3 études de sensibilité réalisées, les doses obtenues restent inférieures aux objectifs radiologiques associés aux conditions de fonctionnement de catégorie 4.

4.7. APRP PETITES BRÈCHES (\leq DN50) (ÉTATS C, D ET E)

Cet accident se définit comme une rupture ou une fuite non isolable, située sur le circuit primaire ou sur une ligne de liaison de celui-ci (incluant RIS en mode RA, à l'intérieur de l'enceinte).

L'étude thermohydraulique montre qu'il n'y a pas de découverture du cœur et par conséquent pas de dégradation du combustible.

Du point de vue des conséquences radiologiques, cet accident pouvant survenir avec l'enceinte ouverte (TAM ouvert), les rejets associés peuvent être enveloppés par les rejets associés à l'accident de « Brèche isolable sur le système RIS en mode RA (\leq DN 250), à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte (états C, D) », soit 55,4 t de primaire, rapportés à un relâchement intégral de l'activité contenue dans le circuit primaire (320 t), soit par un facteur 6.

Cependant, envelopper les conséquences radiologiques de cet accident d'« APRP petite brèche (états C, D et E) » par 6 fois les conséquences radiologiques de l'accident « Brèche isolable sur le système RIS en mode RA (\leq DN 250), à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte (états C, D) » (cf. [§ 4.13.](#)) est très pénalisant car :

- les relâchements d'aérosols à la brèche seront moindres, puisque l'enceinte ne peut être ouverte que pour une température inférieure à 90°C (120°C pris en compte pour la brèche isolable sur RIS en mode RA),
- l'activité sera plus faible (plus longue période de décroissance radioactive et d'épuration),
- le confinement dynamique (avec filtration) est assuré par EBA petit débit lors de l'ouverture du TAM.

Si l'accident survient enceinte fermée, les rejets associés sont enveloppés par l'APRP PCC-3 similaire étudié en puissance (cf. [§ 3.5.](#)).

4.8. DÉFAILLANCE D'UNE POMPE PRIMAIRE (ROTOR BLOQUÉ)

Cet accident correspond au blocage instantané d'un rotor d'une motopompe primaire.

L'accident se produit à partir de la puissance nominale et se traduit par l'apparition d'une crise d'ébullition dans une faible portion du cœur, donc un risque d'endommagement d'un certain nombre de crayons combustible.

Les hypothèses de calcul de cet accident sont données dans la [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

4.8.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

Il s'agit d'un cœur à l'équilibre en gestion EPR UOx (voir [TAB-15.3.11](#)).

4.8.1.1. ACTIVITÉ LIBÉRÉE LORS DE L'ACCIDENT

L'activité rejetée lors de l'accident dépend de l'activité des produits de fission du combustible, du taux de relâchement des crayons rompus et du pourcentage de crayons rompus.

4.8.1.2. ACTIVITÉ LIBÉRÉE LORS DE L'ACCIDENT

L'activité rejetée lors de l'accident dépend de l'activité des produits de fission du combustible, du taux de relâchement des crayons rompus et du pourcentage de crayons rompus.

On suppose que lors de l'accident, 10% des crayons combustibles du cœur complet sont rompus. Les taux de relâchement applicable aux crayons en fonction de son burn-up sont donnés dans le tableau [TAB-15.3.12](#).

4.8.1.3. ACTIVITÉ RELÂCHÉE DANS L'ENVIRONNEMENT VIA LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

On suppose une fuite primaire / secondaire persistante de 20 L/h sur un GV et de 3 L/h sur chacun des autres GV.

Une partie de l'activité transférée par les fuites primaire / secondaire est supposée être entraînée dans la phase vapeur des GV. Les gaz rares sont supposés être transmis instantanément à la phase vapeur des GV, les autres radionucléides (iodes, césiums, bromes, rubidiums, ...) contenus dans la phase liquide des GV transmettent 0,25% de leur activité massique à la phase vapeur.

On considère de manière découplée que la totalité du volume d'eau de la bêche ASG est vaporisée pendant l'accident afin de maximiser les rejets à l'environnement.

L'iode rejeté est supposé à 10% sous forme moléculaire et à 90% sous forme d'aérosols.

4.8.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet accident sont évaluées (cf. [Réf \[18\]](#)).

4.8.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES À L'ATMOSPHÈRE

L'activité est rejetée à l'environnement par les vannes de décharge à l'atmosphère (VDA).

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement pour les principaux isotopes sont données dans le tableau [TAB-15.3.18](#).

4.8.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique supposée constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s). Un facteur de battement du vent de 3 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 10 heures	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	4,6E-02mSv	6,7E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,6E-01mSv	1,6E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	6,1E-03mSv	6,1E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	2,1E-01mSv	2,3E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	7,3E-01mSv	1,3E+00mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 10 heures	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,9E-02mSv	4,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,0E-01mSv	1,0E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	3,8E-03mSv	3,8E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	1,4E-01mSv	1,5E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	4,5E-01mSv	7,9E-01mSv

Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,9E-02mSv	4,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,0E-01mSv	1,0E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	1,9E-01mSv	1,2E-01mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	7,8E-01mSv	7,5E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,1E+00mSv	1,0E+00mSv

Doses 1^{ère} année à 2km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,6E-03mSv	5,2E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,4E-02mSv	1,4E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	2,4E-02mSv	1,5E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	9,8E-02mSv	9,3E-02mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,4E-01mSv	1,3E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	2,9E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,0E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,4E+00mSv
Dose efficace par ingestion	8,6E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	2,4E+00mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	3,6E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,4E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,8E-01mSv
Dose efficace par ingestion	1,1E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,0E-01mSv

4.8.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, elle est de 1,5 km, ce qui correspond à une surface estimée de 1,8 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

4.9. RUPTURE DE L'ARBRE D'UNE POMPE PRIMAIRE

Etant un des initiateurs de l'accident « défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué) », l'accident « rupture de l'arbre d'une pompe primaire » donne lieu à la même séquence accidentelle, sollicite les mêmes chaînes de protection et conduit à un même comportement thermohydraulique. De ce fait, les résultats et les conclusions de l'accident « défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué) » s'appliquent à la rupture de l'arbre d'une pompe primaire.

Les conséquences radiologiques de l'accident de rupture de l'arbre d'une pompe primaire sont enveloppées par l'accident de défaillance d'une pompe primaire (Rotor Bloqué) (voir § 4.8.).

4.10. RUPTURE DE TUBE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR – 2 TUBES DANS UN GV (ÉTAT A)

L'accident est dû à une rupture franche de deux tubes de générateurs de vapeur (RTGV). Cette rupture induit un relâchement de l'activité vers l'extérieur au travers des vannes de décharge du GV défaillant due à la contamination du secondaire par le primaire au travers de la brèche des tubes GV.

Les hypothèses de calcul de cet accident sont données en [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

4.10.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

4.10.1.1. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE ET DE L'EAU SECONDAIRE AVANT L'ACCIDENT

Les valeurs des activités de l'eau du circuit primaire sont celles définies au [§ 1.1.1.1.](#) et sont données dans le tableau [TAB-15.3.1](#).

L'activité dans le circuit secondaire est déterminée en tenant compte d'une fuite préexistante entre le circuit primaire et le circuit secondaire de 20 L/h sur le GV qui sera affecté par la RTGV, et de 3 L/h sur les autres GV.

4.10.1.2. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE ET DE L'EAU SECONDAIRE PENDANT L'INCIDENT

- **Activité de l'eau primaire**
L'activité dans le circuit primaire tient compte du pic d'activité lié au régime transitoire (développement consécutif à l'arrêt automatique du réacteur) (cf. [TAB-15.3.1](#)).
- **Transfert d'activité dans les GV**
Afin de prendre en compte la répartition des radioéléments entre les phases liquide et vapeur des GV, les facteurs d'entraînement suivants sont considérés :
 - *pour le générateur de vapeur affecté :*
Les transferts d'activité dans le GVA en cas de rejets en vapeur à l'atmosphère sont les suivants (cf. [Réf \[3\]](#)) :
 - émission de 100% des gaz rares et d'une fraction 1% pour les autres radionucléides (y compris l'iode) de l'activité du fluide primaire transférée par le débit de brèche pour le GVA,
 - facteur de transfert de 100% des gaz rares et d'une fraction 0,25% pour les autres radionucléides (y compris l'iode) par le débit vapeur sortant du GV appliqué à l'activité secondaire du GVA.
 - *pour les générateurs de vapeur sains :*
Les transferts d'activité dans les GVS en cas de rejets en vapeur à l'atmosphère sont les suivants :
 - facteur de transfert de 100% des gaz rares et d'une fraction 0,25% pour les autres radionucléides (y compris l'iode) par le débit vapeur sortant du GV appliqué à l'activité secondaire des GVS, correspondant à un taux de primage enveloppe des GV, pris constant sur toute la durée de l'accident.

4.10.1.3. VOIES DE REJET DANS L'ENVIRONNEMENT

Il y a 3 voies de rejet :

- le **rejet des gaz rares** au condenseur,
- le **rejet vapeur** par les vannes de décharge des GVS,
- le **rejet vapeur** par les vannes de décharge du GVA.

Dans l'activité rejetée sous forme vapeur lors de l'accident, l'iode est réparti en 90% sous forme particulaire et 10% sous forme moléculaire.

4.10.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet accident sont évaluées (cf. [Réf \[19\]](#)).

4.10.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les rejets d'activité à l'environnement se font par les vannes de décharge des GV.

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement sont données dans le tableau [TAB-15.3.19](#).

4.10.2.2. CALCUL DES DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique supposée constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s).

Un facteur de battement du vent de 1 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#))

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / ~ 7 h	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	1,3E-01mSv	1,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	5,1E-01mSv	5,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,4E-02mSv	1,4E-02mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	6,5E-01mSv	7,0E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	1,9E+00mSv	3,2E+00mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / ~ 7 h	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	7,8E-02mSv	1,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	3,3E-01mSv	3,3E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	8,8E-03mSv	8,8E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	4,1E-01mSv	4,5E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	1,2E+00mSv	2,0E+00mSv

Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	7,8E-02mSv	1,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	3,3E-01mSv	3,3E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	6,0E-01mSv	3,7E-01mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	2,1E+00mSv	2,0E+00mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,1E+00mSv	2,8E+00mSv

Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	9,7E-03mSv	1,4E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,9E-02mSv	4,9E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	7,5E-02mSv	4,7E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	2,6E-01mSv	2,4E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,0E-01mSv	3,5E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	7,8E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	3,3E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	4,3E+00mSv
Dose efficace par ingestion	2,3E+00mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	7,1E+00mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	9,7E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	4,9E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	5,4E-01mSv
Dose efficace par ingestion	2,9E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	8,9E-01mSv

4.10.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, à 2,7 km, soit une surface de 5,7 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

4.11. ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE

L'accident est postulé dans le BK, cas enveloppe vis à vis des rejets (renouvellement d'air par les ventilations plus important dans le BK que dans le BR).

On suppose donc qu'un assemblage combustible est endommagé et que cet accident a lieu dans le bâtiment combustible.

La séquence accidentelle postulée se caractérise de la manière suivante :

- L'accident intervient au moment le plus précoce pour le début du déchargement du combustible soit 60 heures après l'arrêt du réacteur.
- niveau d'endommagement : Tous les crayons combustibles de l'assemblage combustible affecté sont rompus sans fusion.

4.11.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL**4.11.1.1. CARACTÉRISTIQUES DE L'ASSEMBLAGE COMBUSTIBLE**

On considère pour cet accident un assemblage fictif, cumulant un taux de combustion maximal avec une puissance maximale avant déchargement. L'activité des produits de fission de l'assemblage rompu est donnée dans le tableau [TAB-15.3.20](#).

4.11.1.2. TEMPS DE REFROIDISSEMENT

La durée de refroidissement de l'assemblage accidenté correspond au délai minimal entre l'arrêt du réacteur et le début de la manutention du combustible soit 60 heures.

4.11.1.3. ACTIVITÉ LIBÉRÉE DANS L'EAU DE LA PISCINE AU MOMENT DE L'ACCIDENT

L'activité rejetée lors de l'accident dépend de l'activité des produits de fission contenus dans l'assemblage rompu, du pourcentage de gaines rompues et du taux de relâchement des crayons.

On suppose que 100% des crayons de l'assemblage sont rompus lors de l'accident.

Les taux de relâchement pris en compte sont, de façon très conservative, les taux de relâchement maximum associés à un APRP grosse brèche (voir [TAB-15.3.12](#)).

L'iode relâché dans l'eau de la piscine du bâtiment du combustible est sous forme particulaire. Cet iode particulaire va ensuite produire de l'iode moléculaire par radiolyse.

On suppose la répartition des formes d'iode dans la piscine, prise en compte dès le début de l'accident comme suit : 10% sous forme d'iode moléculaire et 90% sous forme d'iode particulaire.

4.11.1.4. TRANSFERT DES PRODUITS DE FISSION DANS L'AIR DU BÂTIMENT COMBUSTIBLE

Une fraction de l'activité libérée dans l'eau de la piscine, suite à la rupture des crayons combustible, est transférée instantanément vers l'air du hall. Les fractions d'activités entraînées sont :

- 100% des gaz rares,
- 0,2% de tous les aérosols dont l'iode particulaire.

Les rejets à moyen terme sont obtenus par :

- dégazage des gaz rares produits par filiation radioactive dans l'eau de la piscine,
- dégazage de l'iode moléculaire par mécanisme d'évaporation. Le coefficient de transfert par évaporation (pour une température maximale de l'eau de la piscine de 50°C en limite des STE) considéré est de $4,2 \times 10^{-8} \text{ t.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, avec une surface d'évaporation de la piscine de 120 m².

4.11.1.5. VENTILATION DU BÂTIMENT COMBUSTIBLE

Il est supposé que les isotopes radioactifs relâchés dans le hall de la piscine sont dispersés immédiatement et uniformément dans tout le volume libre du hall.

En cas de manutention du combustible, la ventilation utilisée en fonctionnement normal (DWK) est basculée sur file iode (DWL). D'un point de vue radiologique, le fonctionnement de la ventilation (DWK ou DWL) est pénalisant pour l'activité en gaz rares (augmentation de la cinétique de rejet), alors qu'il est favorable pour l'activité en aérosols (filtration THE), les rejets d'iode moléculaire étant quant à eux uniquement limités par la ventilation secourue DWL munie d'une filtration d'iode.

Les systèmes de ventilation sont supposés en fonctionnement s'ils ont un effet pénalisant sur les résultats de l'évaluation. Le manque de tension externe (cumul MDTE) est également pris en compte s'il s'avère pénalisant.

Ainsi, en fonction de la nature des radionucléides ainsi que de leur contribution relative à la dose, la recherche de la dose efficace totale maximale et de la dose équivalente maximale à la thyroïde nécessite d'étudier deux cas :

- un cas tendant à maximiser le délai de basculement sur file iode (Cas 1),
- un cas tendant à minimiser ce délai (Cas 2).



4.11.1.6. FILTRATIONS

Les valeurs retenues pour l'efficacité des filtres sont les suivantes :

	% d'activité retenue en filtration	
	DWL (filtration THE et piège à iode)	DWK (filtration THE)
Aérosols Iode particulaire	99,9%	99,9%
Iode moléculaire	99,9%	0%
Gaz rares	0%	0%

4.11.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet accident sont évaluées en [Réf \[20\]](#).

4.11.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les rejets dans l'environnement se font via les fuites du bâtiment combustible.

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement sont données dans le tableau [TAB-15.3.21](#) pour le CAS 1 et dans le tableau [TAB-15.3.22](#) pour le CAS 2.

4.11.2.2. CALCUL DE DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s). Un facteur de battement du vent de 3 est pris en compte (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent, ils présentent les doses maximums obtenues entre le Cas 1 et le Cas 2 :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,8E-03mSv	5,2E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,0E+00mSv	1,0E+00mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,5E-03mSv	8,1E-04mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	1,0E+00mSv	1,0E+00mSv
Dose équivalente à la thyroïde	5,8E-02mSv	9,7E-02mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,4E-03mSv	3,3E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	6,7E-01mSv	6,7E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	9,6E-04mSv	5,1E-04mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	6,8E-01mSv	6,8E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	3,6E-02mSv	6,1E-02mSv

Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,5E-03mSv	3,4E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	6,7E-01mSv	6,7E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	2,0E-02mSv	1,3E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	8,2E-02mSv	7,9E-02mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	7,8E-01mSv	7,7E-01mSv

Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,1E-04mSv	4,2E-04mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,1E-01mSv	1,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	2,5E-03mSv	1,6E-03mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	1,0E-02mSv	1,0E-02mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,2E-01mSv	1,2E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	2,5E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	6,7E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,4E-01mSv
Dose efficace par ingestion	9,1E-02mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	9,1E-01mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	3,1E-04mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,8E-02mSv
Dose efficace par ingestion	1,1E-02mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,4E-01mSv

4.11.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, la distance est inférieure à 500 m,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

4.12. DILUTION SUITE À LA RUPTURE NON ISOLABLE D'UN TUBE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR (ÉTATS C, D, E)

L'accident analysé est supposé survenir comme conséquence d'une fuite, non isolable par des moyens automatiques de protection, du circuit de réfrigération intermédiaire (RRI) au travers de tubes endommagés d'un échangeur de chaleur.

L'étude thermohydraulique montre que le cœur reste sous critique et que le réacteur ne quitte pas l'état sûr.

Cet accident n'a pas de conséquences radiologiques particulières.

4.13. BRÈCHE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (JUSQU'À DN 250), À L'EXTÉRIEUR OU À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C, D ET E)

L'étude présentée dans ce paragraphe concerne une brèche isolable sur les systèmes RIS en mode RA à l'extérieur de l'enceinte.

En état E, les conséquences radiologiques de cet accident peuvent être enveloppées par l'accident « APRP petite brèche (états C, D et E) » (cf. § 4.7.).

Dans les états C et D, l'évacuation de la puissance du réacteur est assurée par le système RIS/RA. Si une brèche survient sur la partie extérieure enceinte, cela conduit à une perte d'inventaire en eau du circuit primaire dans le bâtiment de sauvegarde.

Les études thermohydrauliques montrent que, pour cette taille de brèche (jusqu'à DN 250), le critère de non-dénoyage du cœur est assuré, et il n'y a pas de dégradation du combustible.

La quantité de fluide maximale rejetée à la brèche est de 55,4 t.

Les hypothèses de calcul de cet accident sont données en [Réf \[3\]](#) et rappelées ci-après.

4.13.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

4.13.1.1. ACTIVITÉS DE L'EAU PRIMAIRE AVANT ET PENDANT L'ACCIDENT

L'activité relâchée dans les locaux des systèmes de sauvegarde est celle du circuit primaire, après purification et dégazage entre le moment de l'arrêt du réacteur et le passage sur RRA. Compte tenu du développement du pic d'activité en 1h30, on ne prend en compte la purification du fluide primaire, à son débit maximal de purification pour rejoindre les conditions de connexion du RRA (soit 72 t/h), qu'entre 1h30 et 10h, 10h étant l'ordre de grandeur du délai de passage sur RRA.

Compte tenu de la prise en compte du pic d'iode, l'activité primaire en Eq-I131 au moment de l'accident couvre la limite de concentration d'activité à l'ouverture de la 3^{ème} barrière (voir sous-chapitre 3.1) spécifiée dans le sous-chapitre 9.6.

4.13.1.2. RELÂCHEMENT DES PRODUITS DE FISSION DANS LES LOCAUX DES SYSTÈMES DE SAUVEGARDE

A la rupture du circuit, la phase liquide se déverse dans le puisard du bâtiment de sauvegarde (BAS).

Lors de cette phase, il se produit un dégazage instantané dans l'air du local de la totalité des gaz rares et d'une fraction de 10⁻² des autres produits de fission contenus dans la phase liquide.

Dans un second temps, il y a un transfert d'une fraction de l'iode moléculaire présent dans le fluide primaire déversé. Pour le dégazage des fuites liquides, une proportion de 10% d'iode sous forme moléculaire est considérée. □

Après 24 h on suppose que la vanne de by-pass a été refermée : le dégazage d'iode moléculaire est alors ventilé et filtré sur pièges à iodes, et les rejets d'activité deviennent négligeables.

4.13.1.3. VENTILATION/FILTRATION DES LOCAUX DES SYSTÈMES DE SAUVEGARDE

Dans un premier temps, le système de protection des surpressions dans le bâtiment de sauvegarde va s'ouvrir, et la totalité de l'activité rejetée à la brèche est supposée émise directement à l'atmosphère sans rétention ni filtration dans le local.

Après 24h, on suppose que la vanne de by-pass a été refermée : le dégazage d'iode moléculaire est alors ventilé et filtré sur pièges à iodes.

Les fuites dans le bâtiment de sauvegarde, 24h après la rupture, sont ventilées et filtrées par des filtres THE et des pièges à iodes.

Les coefficients d'épuration à prendre en compte pour le système de filtration du BAS sont les suivants :

Temps après la rupture > 24 h	Filtres (iode particulaire, aérosols et produits de corrosion)	Pièges à iodes	
		Iode moléculaire	Iode organique
Filtration de la ventilation des locaux des systèmes de sauvegarde	1000	1000	100

4.13.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet accident sont évaluées (cf. [Réf \[21\]](#)).

4.13.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les rejets d'activité à l'environnement se font par les fuites du BAS.

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement sont données dans le tableau [TAB-15.3.23](#).

4.13.2.2. CALCUL DE DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique supposée constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s).

Un facteur de battement du vent de 1 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent (hors rejets via le RDP ; cf. [§ 4.13.2.4.](#)) :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,6E-02mSv	3,6E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,3E-02mSv	1,3E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	2,8E-02mSv	1,5E-02mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	7,7E-02mSv	6,4E-02mSv
Dose équivalente à la thyroïde	3,8E-01mSv	6,1E-01mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,2E-02mSv	2,3E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	8,5E-03mSv	8,5E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,7E-02mSv	9,2E-03mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	4,8E-02mSv	4,0E-02mSv
Dose équivalente à la thyroïde	2,4E-01mSv	3,8E-01mSv

Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,2E-02mSv	2,3E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	8,5E-03mSv	8,5E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	3,2E-01mSv	2,0E-01mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	1,0E+00mSv	6,0E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,4E+00mSv	8,4E-01mSv

Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,7E-03mSv	2,7E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,3E-03mSv	1,3E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	4,0E-02mSv	2,5E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	1,3E-01mSv	7,4E-02mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,8E-01mSv	1,0E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	2,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	8,5E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	2,5E+00mSv
Dose efficace par ingestion	1,2E+00mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,7E+00mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	2,7E-03mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,3E-03mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	3,1E-01mSv
Dose efficace par ingestion	1,5E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,7E-01mSv

4.13.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, à 1,9 km et 2,8 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

4.13.2.4. Rejets via le RDP

De façon complémentaire, les conséquences radiologiques des rejets de fluide primaire via le RDP sont enveloppées par les conséquences radiologiques de l' « APRP Petite brèche (états C, D et E) » (cf. § 4.7.).

4.14. PETITE BRÈCHE PRIMAIRE NON-ISOLABLE (≤ DN50) OU BRÈCHE ISOLABLE SUR LE SYSTÈME RIS EN MODE RA (≤ DN250), ASPECT VIDANGE PISCINE (ÉTAT E)

L'étude thermique de ce transitoire montre qu'il n'y a pas d'ébullition de la piscine BK.

Cet accident n'a pas de conséquences radiologiques particulières.

4.15. DÉFAILLANCE MULTIPLE DES SYSTÈMES DANS LE BÂTIMENT DES AUXILIAIRES NUCLÉAIRES (BAN) ET LE BÂTIMENT DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS (BTE) SOUS SÉISME

Pour évaluer les conséquences radiologiques potentielles d'un séisme, il est considéré la rupture des bâches, contenant des fluides contaminés radioactifs, présentes dans le BAN et le BTE ou la formation de brèches sur leurs lignes de connexion. La rupture des bâches de stockage des effluents KER/TER est également considérée.

- Dans le BAN, les systèmes suivants contenant des fluides radioactifs sont donc considérés rompus après le séisme :
 - les lignes REN et RCV (portion située dans le BAN),
 - le système TEP,
 - le système TEG.

- Dans le BTE, le système TEU contenant des fluides radioactifs est considéré rompu après le séisme.

À l'extérieur des bâtiments, les bâches KER et TER sont considérées rompues après le séisme.

4.15.1. HYPOTHÈSES DE CALCUL

4.15.1.1. ACTIVITÉS CONTENUES DANS LES SYSTÈMES

Il est considéré, d'une part, la rupture des lignes REN et RCV, conduisant à un relâchement d'activité primaire jusqu'à l'isolement de cette brèche sous un délai de 16 heures, correspondant au cumul d'un délai de détection pris égale à 15 heures et d'un délai opérateur de 1 heure, et d'autre part, la rupture des systèmes auxiliaires présents dans le BAN et le BTE, conduisant à un relâchement de l'activité accumulée durant le fonctionnement stabilisé de la tranche avant séisme.

4.15.1.2. TAUX DE FUITE

De manière pénalisante, les rejets issus du BAN et du BTE seront évalués par la prise en compte d'un confinement statique dégradé majoré par le taux de fuite correspondant au confinement dynamique du BAN, soit un taux de renouvellement d'air de 2 h^{-1} , sans prise en compte de la filtration, et ce, pendant toute la durée du rejet.

Les rejets issus des bâches KER/TER situées à l'extérieur, seront supposés instantanés et directs dans l'atmosphère.

4.15.2. RÉSULTATS

Les conséquences radiologiques de cet accident sont évaluées en [Réf \[22\]](#).

4.15.2.1. ACTIVITÉS RELÂCHÉES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les valeurs des activités relâchées dans l'environnement sont données dans le tableau [TAB-15.3.24](#).

4.15.2.2. CALCUL DE DOSES

Le calcul est donné pour une condition météorologique constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s). Compte tenu de la cinétique de rejet, un facteur de battement du vent de 3 est pris en compte pour l'iode et de 1 pour les autres radionucléides (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	5,9E-01 mSv	7,9E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,1E+00mSv	2,1E+00mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	2,4E-01mSv	1,2E-01mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	2,9E+00mSv	3,0E+00mSv
Dose équivalente à la thyroïde	9,5E+00mSv	1,5E+01mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	3,7E-01mSv	4,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,3E+00mSv	1,3E+00mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,5E-01mSv	7,7E-02mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	1,9E+00mSv	1,9E+00mSv
Dose équivalente à la thyroïde	5,8E+00mSv	9,1E+00mSv

Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	5,3E-01mSv	7,3E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,4E+00mSv	1,4E+00mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	2,1E+00mSv	1,3E+00mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	9,9E+00mSv	1,4E+01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,4E+01mSv	1,7E+01mSv

Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	5,9E-02mSv	7,9E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,1E-01mSv	2,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	2,7E-01mSv	1,6E-01mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	1,2E+00mSv	1,5E+00mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	1,7E+00mSv	2,0E+00mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	5,3E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	1,4E+00mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,5E+01mSv
Dose efficace par ingestion	1,1E+01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	2,7E+01mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	5,9E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	2,1E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	1,8E+00mSv
Dose efficace par ingestion	1,3E+00mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,4E+00mSv

4.15.2.3. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, à 5 km et 19,6 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est de 0,5km.

5. TRANSITOIRES PCC-2 AVEC CUMUL MDTE

Les conditions de fonctionnement PCC-2 sont également étudiées en considérant le cumul d'un MDTE. Elles peuvent conduire dans ce cas à des dommages limités sur certains assemblages combustibles (crayons entrant en crise d'ébullition, fusion limitée de combustible au point chaud).

Les études thermohydrauliques correspondantes (cf. sous-chapitre 15.2) permettent de vérifier que les critères de découplage des conditions de fonctionnement PCC-3 et PCC-4 sont respectés. Elles montrent en particulier d'une part, que le nombre de crayons combustibles susceptibles de rentrer en

crise d'ébullition est inférieur à 10%, d'autre part que la fusion du combustible au point chaud ne dépasse pas 10% en volume.

Du point de vue des conséquences radiologiques, ces transitoires sont enveloppés par l'accident étudié en PCC-4 avec cumul MDTE, de « défaillance d'une pompe primaire » en considérant une fraction de combustible fondu (10% au point chaud).

5.1. RÉSULTATS

5.1.1. CALCUL DES DOSES

Les valeurs de doses de l'accident « défaillance d'une pompe primaire » ont été extrapolés en appliquant un facteur correctif (permettant de prendre en compte une fraction de combustible fondu) (cf. [TAB-15.3.25](#)) à l'activité rejetée obtenue pour « défaillance d'une pompe primaire ».

Le calcul est donné pour une condition météorologique supposée constante pendant toute la durée du rejet (diffusion faible sans pluie avec un vent de 2 m/s). Un facteur de battement du vent de 3 est retenu (cf. [Réf \[5\]](#)).

Les résultats sont résumés dans les tableaux qui suivent :

Doses court terme à 500 mètres (en mSv)

500 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	2,0E-01mSv	2,9E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	6,2E-01mSv	6,2E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	3,9E-02mSv	3,9E-02mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	8,6E-01mSv	9,4E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	2,7E+00mSv	4,8E+00mSv

Doses court terme à 650 mètres (en mSv)

650 m / 7 jours	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	1,3E-01mSv	1,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	3,9E-01mSv	3,9E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	2,4E-02mSv	2,4E-02mSv
Dose efficace totale : inhalation + panache + dépôt	5,4E-01mSv	6,0E-01mSv
Dose équivalente à la thyroïde	1,7E+00mSv	3,0E+00mSv

Doses 1^{ère} année à 650 m (en mSv)



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 3

PAGE 81/121

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

650 m / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	1,3E-01mSv	1,8E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	3,9E-01mSv	3,9E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	5,8E-01mSv	3,6E-01mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	2,4E+00mSv	2,8E+00mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	3,5E+00mSv	3,7E+00mSv

Doses 1^{ère} année à 2 km (en mSv)

2 km / 1 an	Adulte	Enfant 1 an
Dose efficace par inhalation	1,6E-02mSv	2,2E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	5,3E-02mSv	5,3E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol la 1 ^{ère} année	7,3E-02mSv	4,5E-02mSv
Dose efficace par ingestion 1 ^{ère} année	3,0E-01mSv	3,4E-01mSv
Dose efficace totale 1 an : inhalation + panache + dépôt + ingestion	4,4E-01mSv	4,6E-01mSv

Doses long terme à 650 m (en mSv)

650 m / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	1,3E-01mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	3,9E-01mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	3,9E+00mSv
Dose efficace par ingestion	2,6E+00mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	7,0E+00mSv

Doses long terme à 2 km (en mSv)

2 km / 50 ans	Adulte
Dose efficace par inhalation	1,6E-02mSv
Dose efficace par irradiation dans le panache	5,3E-02mSv
Dose efficace par irradiation due à un dépôt au sol	4,9E-01mSv
Dose efficace par ingestion	3,2E-01mSv
Dose efficace totale 50 ans : inhalation + panache + dépôt + ingestion	8,8E-01mSv

5.1.2. CONTAMINATION DES SURFACES AGRICOLES

La distance, et la surface estimée, en deçà de laquelle la contamination des denrées alimentaires à destination de l'alimentation humaine dépasse les limites de commercialisation correspondent respectivement :

- pour le court terme, à 3,0 km et 7,1 km²,
- pour le moyen terme et le long terme, la distance est inférieure à 500 m.

6. CONCLUSION

Les résultats des études des conséquences radiologiques destransitoires (PCC-2), des incidents et accidents de dimensionnement (PCC-3 et PPC-4) sont repris ci-après et comparés aux limites de doses retenues par catégorie d'occurrence.

Seuls sont repris les scénarios qui conduisent aux conséquences radiologiques les plus élevées.

Ce tableau récapitulatif montre :

- pour les transitoires PCC-2, les conséquences radiologiques sont faibles (dose efficace à court terme très inférieure au mSv),
- les exigences relatives aux conséquences radiologiques des conditions de fonctionnement PCC-3, PCC-4 et PCC-2 avec MDTE, qui se traduisent par les limites de doses, figurant au [§ 0.2.](#) et rappelées ci-après, sont respectées pour l'ensemble des conditions de fonctionnement de dimensionnement appartenant à ces catégories.

Les doses évaluées récapitulées dans les tableaux ci-après, restent également très inférieures au niveau de dose retenu pour l'administration d'iode stable (50 mSv) de l'arrêté du 20 novembre 2009.

		Calculs à 500 m		Calculs à 2 km		
		Court terme		Moyen terme		Long terme
		Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)
Transitoire PCC-2						
Perte de vide au condenseur	Efficace	4,1E-04	4,4E-04	4,5E-04	3,5E-04	1,1E-03
	Thyroïde	1,6E-03	2,8E-03	/	/	/
Incident PCC-3						
Défaillance dans les systèmes de traitement des effluents gazeux (TEG)	Efficace	4,2E-01	4,2E-01	4,4E-02	4,4E-02	4,4E-02
	Thyroïde	Non estimé ⁴	Non estimé	/	/	/
Rupture d'une ligne transportant du réfrigérant primaire hors de l'enceinte – Défaillance du circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV)	Efficace	4,8E-01	4,9E-01	7,7E-02	1,3E-01	7,7E-02
	Thyroïde	5,3E-01	7,9E-01	/	/	/
Rupture d'une ligne transportant du réfrigérant primaire hors de l'enceinte – Défaillance du circuit d'échantillonnage nucléaire (REN)	Efficace	1,1E-01	1,3E-01	1,5E-01	2,3E-01	2,7E-01
	Thyroïde	1,1E+00	1,7E+00	/	/	/
Rupture d'un tube de générateur de vapeur (RTGV 3)	Efficace	7,0E-01	7,2E-01	2,0E-01	1,8E-01	4,0E-01
	Thyroïde	7,6E-01	1,3E+00	/	/	/
Limites de dose	Efficace	1,0 E+01		/		/
	Thyroïde	5,0 E+01		/		/

4. Pour cet incident, l'inventaire retenu en iode et aérosols est nul, les doses par inhalation, irradiation et ingestion n'ont donc pas été estimées.

	Calculs à 650 m		Calculs à 650 m			
	Court terme		Moyen terme		Long terme	
	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	
Transitoire PCC-2						
Perte de vide au condenseur	Efficace	2,6E-04	2,8E-04	3,6E-03	2,7E-03	8,9E-03
	Thyroïde	1,0E-03	1,7E-03	/	/	/
Transitoire PCC-3						
Défaillance dans les systèmes de traitement des effluents gazeux (TEG)	Efficace	2,8E-01	2,8E-01	2,8E-01	2,8E-01	2,8E-01
	Thyroïde	Non estimé ⁵	Non estimé	/	/	/
Rupture d'une ligne transportant du réfrigérant primaire hors de l'enceinte – Défaillance du circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV)	Efficace	3,1E-01	3,1E-01	6,5E-01	1,2E+00	6,5E-01
	Thyroïde	3,2E-01	4,8E-01	/	/	/
Rupture d'une ligne transportant du réfrigérant primaire hors de l'enceinte – Défaillance du circuit d'échantillonnage nucléaire (REN)	Efficace	6,6E-02	8,0E-02	1,3E+00	2,1E+00	2,3E+00
	Thyroïde	6,8E-01	1,0E+00	/	/	/
Rupture d'un tube de générateur de vapeur (RTGV 3)	Efficace	4,5E-01	4,6E-01	1,5E+00	1,4E+00	3,1E+00
	Thyroïde	4,8E-01	8,3E-01	/	/	/
Limites de dose	Efficace	/	/	/	/	/
	Thyroïde	/	/	/	/	/

5. Pour cet incident, l'inventaire retenu en iode et aérosols est nul, les doses par inhalation, irradiation et ingestion n'ont donc pas été estimées.

		Calculs à 500 m		Calculs à 2 km		
		Court terme		Moyen terme		Long terme
		Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)
Accident PCC-4						
Rupture de tuyauterie vapeur (RTV)	Efficace	1,8E-02	2,3E-02	4,1E-02	3,5E-02	1,0E-01
	Thyroïde	2,0E-01	3,5E-01	/	/	/
Ejection d'une grappe d'une grappe de contrôle	Efficace	3,4E-01	3,6E-01	1,6E-01	1,5E-01	3,2E-01
	Thyroïde	7,8E-01	1,3E+00	/	/	/
Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) Grosse Brèche	Efficace	5,5E-01	7,2E-01	3,5E-01	7,6E-01	4,1E-01
	Thyroïde	7,2E+00	1,1E+01	/	/	/
Accident de défaillance d'une pompe primaire (Rotor Bloqué)	Efficace	2,1E-01	2,3E-01	1,4E-01	1,3E-01	3,0E-01
	Thyroïde	7,3E-01	1,3E+00	/	/	/
Rupture de deux tubes de générateur de vapeur (RTGV)	Efficace	6,5E-01	7,0E-01	4,0E-01	3,5E-01	8,9E-01
	Thyroïde	1,9E+00	3,2E+00			
Accident de manutention du combustible	Efficace	1,0E+00	1,0E+00	1,2E-01	1,2E-01	1,4E-01
	Thyroïde	5,8E-02	9,7E-02	/	/	/
Brèche isolable sur les systèmes RIS en mode RA (\leq DN250) à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte (hors rejets via le RDP ; cf. § 4.13.2.4.)	Efficace	7,7E-02	6,4E-02	1,8E-01	1,0E-01	4,7E-01
	Thyroïde	3,8E-01	6,1E-01	/	/	/
Accident de défaillance multiple des systèmes dans le BAN et BTE sous séisme	Efficace	2,9E+00	3,0E+00	1,7E+00	2,0E+00	3,4E+00
	Thyroïde	9,5E+00	1,5E+01	/	/	/
Limites de dose	Efficace	1,0 E+01		/		/
	Thyroïde	5,0 E+01		/		/

	Calculs à 650 m		Calculs à 650 m			
	Court terme		Moyen terme		Long terme	
	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	
Accident PCC-4						
Rupture de tuyauterie vapeur (RTV)	Efficace	1,2E-02	1,4E-02	3,3E-01	2,8E-01	8,0E-01
	Thyroïde	1,3E-01	2,2E-01	/	/	/
Ejection d'une grappe d'une grappe de contrôle	Efficace	2,2E-01	2,3E-01	1,2E+00	1,2E+00	2,5E+00
	Thyroïde	4,9E-01	8,4E-01	/	/	/
Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) Grosse Brèche	Efficace	3,4E-01	4,5E-01	2,8E+00	6,2E+00	3,3E+00
	Thyroïde	4,5E+00	6,9E+00	/	/	/
Accident de défaillance d'une pompe primaire (Rotor Bloqué)	Efficace	1,4E-01	1,5E-01	1,1E+00	1,0E+00	2,4E+00
	Thyroïde	4,5E-01	7,9E-01	/	/	/
Rupture de deux tubes de générateur de vapeur (RTGV)	Efficace	4,1E-01	4,5E-01	3,1E+00	2,8E+00	7,1E+00
	Thyroïde	1,2E+00	2,0E+00			
Accident de maintenance du combustible	Efficace	6,8E-01	6,8E-01	7,8E-01	7,7E-01	9,1E-01
	Thyroïde	3,6E-02	6,1E-02	/	/	/
Brèche isolable sur les systèmes RIS en mode RA (\leq DN250) à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte (hors rejets via le RDP ; cf. § 4.13.2.4.)	Efficace	4,8E-02	4,0E-02	1,4E+00	8,4E-01	3,7E+00
	Thyroïde	2,4E-01	3,8E-01	/	/	/
Accident de défaillance multiple des systèmes dans le BAN et BTE sous séisme	Efficace	1,9E+00	1,9E+00	1,4E+01	1,7E+01	2,7E+01
	Thyroïde	5,8E+00	9,1E+00	/	/	/
Limites de dose	Efficace	/	/	/	/	/
	Thyroïde	/	/	/	/	/

	Calculs à 500 m		Calculs à 2 km			
	Court terme		Moyen terme		Long terme	
	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	
Transitoire PCC-2 avec cumul MDTE						
Accident « Défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué) » en considérant une fraction du combustible fondu (10% au point chaud)	efficace	8,6E-01	9,4E-01	4,4E-01	4,6E-01	8,8E-01
	thyroïde	2,7E+00	4,8E+00	/	/	/
Limites de doses	efficace	1,0 E+01		/		/
	thyroïde	5,0 E+01		/		/

	Calculs à 650 m		Calculs à 650 m			
	Court terme		Moyen terme		Long terme	
	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	Enfant (mSv)	Adulte (mSv)	
Transitoire PCC-2 avec cumul MDTE						
Accident « Défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué) » en considérant une fraction du combustible fondu (10% au point chaud)	efficace	5,4E-01	6,0E-01	3,5E+00	3,7E+00	7,0E+00
	thyroïde	1,7E+00	3,0E+00	/	/	/
Limites de doses	efficace	/		/		/
	thyroïde	/		/		/

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Directives Techniques pour la conception et la construction de la nouvelle génération de tranches nucléaires à eau pressurisée. adoptées pendant les réunions plénières du GPR et des experts allemands les 16 et 26 octobre 2000.

[2] Directive du Conseil 96/29/Euratom du 13 mai 1996 qui énonce les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants.
Journal officiel des Communautés européennes. L159 ; Vol. 39 ; 29 Juin 1996

[3] ENTECE110073D "Recueil d'hypothèses pour les évaluations des rejets radioactifs en situation accidentelle sur EPR".

[4] ENTERP070147A "Terme Source Primaire du réacteur EPR"

[5] ENTEAG030152B "Méthodologie d'évaluation des conséquences radiologiques des rejets atmosphériques accidentels"

[6] Federal Guidance Report N°11 (Limiting values of radionuclide intake and air concentration and dose conversion factors for inhalation, submersion and ingestion. 1988) et Federal Guidance Report N°12 (External exposure to radionuclides in air, water and soil. 1993). ORNL.

[7] CIPR Publication 71 "Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides : Part 4 Inhalation dose coefficients". 1995.

[8] Journal officiel des Communautés européennes L 159 "Directive 96/29/EURATOM de mai 1996".

[9] CIPR Publication 72 "Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides : Part 5 Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients". 1996.

[10] ENTEAG080413A "Méthodologie d'évaluation des surfaces contaminées suite à un rejet atmosphérique accidentel" EDF

[11] PR28035NT2876110 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de perte de vide au condenseur PCC2 - EPR" Hexagonale Consultants

[12] CQN02832NT0002687901B "Etude de conséquences radiologiques de l'accident de rupture d'un tube de générateur de vapeur PCC3 - EPR FA3" Millennium

[13] PR28035NT2873010 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de défaillance dans les systèmes de traitement des effluents gazeux (TEG) PCC3 - EPR FA3" Hexagonale Consultants

[14] CQN02832NT0002564901B "Etude des conséquences radiologiques lors de la rupture de la ligne RCV dans le BAN et de la ligne REN dans le BK - PCC3 - EPR FA3" Millennium

[15] PR28035NT2900311 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de rupture d'une tuyauterie vapeur (RTV) PCC4 - EPR" Hexagonale Consultants

[16] PR28035NT2944411 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident d'éjection d'une grappe de régulation EPR FLA3 – Gestion UOx" Hexagonale Consultants



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 3

PAGE 90/121

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

[17] PIAT18001NT00062227.01A "EPR FA3 – DMES Autorisation- Conséquences radiologiques en APRP4 avec prise en compte d'une fuite APG"

[18] PR28035NT2932510 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de défaillance d'une pompe primaire – EPR FLA3 – UOx" Hexagonale Consultants

[19] CQN02832NT0002687902B "Etude de calcul des conséquences radiologiques de l'accident de rupture de deux tubes de générateur de vapeur PCC4 - EPR FA3" Millennium

[20] PR28035NT2977211 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de manutention de combustible – PCC4 – EPR Gestion UOx" Hexagonale Consultants

[21] PR28035NT2933011 "Calcul des conséquences radiologiques de l'accident de brèche sur le système RIS en mode RA (jusqu'à DN 250) à l'extérieur de l'enceinte (état C et D) – PCC4 – EPR" Hexagonale Consultants

[22] CQN02832NT0002564903A "Etude des conséquences radiologiques de l'accident de défaillance multiple des systèmes dans le BAN et BTE sous séisme – PCC4 – EPR FA3" Millennium

[23] CQN02832NT0002564902B "Etude des conséquences radiologiques lors de la rupture de la ligne RCV dans le BAN et de la ligne REN dans le BK – PCC3 – Sensibilité aux délais de détection et d'isolement - EPR FA3" Millennium

TAB-15.3.1 ACTIVITÉS PRIMAIRES EN PRODUITS DE FISSIION ET PRODUITS DE CORROSION – EPR

ISOTOPES		Activité en régime permanent		Activité en régime transitoire	
		GBq/t	GBq	GBq/t	GBq
Produits de fission	Kr85m	1,5E+01	4,9E+03	3,1E+01	9,8E+03
	Kr85	2,4E+00	7,7E+02	4,3E+00	1,4E+03
	Kr87	2,3E+01	7,5E+03	3,0E+01	9,6E+03
	Kr88	3,5E+01	1,1E+04	4,5E+01	1,4E+04
	Xe131m	1,7E+00	5,6E+02	3,1E+00	9,8E+02
	Xe133m	1,1E+01	3,5E+03	2,3E+01	7,2E+03
	Xe133	3,1E+02	1,0E+05	5,5E+02	1,8E+05
	Xe135	9,2E+01	2,9E+04	1,3E+02	4,0E+04
	Xe138	7,2E+01	2,3E+04	7,2E+01	2,3E+04
	Sr89	3,0E-02	9,6E+00	3,0E+00	9,6E+02
	Sr90	1,9E-04	6,1E-02	1,9E-02	6,1E+00
	I131	1,5E+01	4,8E+03	1,1E+02	3,6E+04
	I132	1,8E+01	5,9E+03	8,2E+01	2,6E+04
	I133	2,4E+01	7,6E+03	2,1E+02	6,7E+04
	I134	7,7E+00	2,5E+03	3,0E+01	9,6E+03
	I135	1,6E+01	5,1E+03	1,4E+02	4,5E+04
	Cs134	4,5E+00	1,4E+03	3,4E+01	1,1E+04
	Cs136	2,1E+00	6,8E+02	3,7E+01	1,2E+04
	Cs137	3,3E+00	1,1E+03	2,5E+01	8,0E+03
	Cs138	1,0E+02	3,2E+04	1,0E+02	3,2E+04

ISOTOPES		Activité en régime permanent		Activité en régime transitoire	
		GBq/t	GBq	GBq/t	GBq
Produits de corrosion	Mn 54	2,2E-01	7,0E+01	1,4E+00	4,5E+02
	Co58	3,9E-01	1,2E+02	1,0E+01	3,3E+03
	Fe59	8,1E-02	2,6E+01	3,6E-01	1,1E+02
	Co60	1,7E-01	5,5E+01	5,8E-01	1,8E+02
	Cr51	6,0E-01	1,9E+02	9,5E+00	3,0E+03
	Ag110m	2,7E-01	8,6E+01	1,7E+00	5,5E+02
	Sb122	1,1E-01	3,5E+01	1,1E+00	3,4E+02
	Sb124	1,2E-01	3,8E+01	5,6E-01	1,8E+02
	Sb125	9,8E-02	3,1E+01	1,0E-01	3,3E+01

TAB-15.3.2 ACTIVITÉ SECONDAIRE EN RÉGIME PERMANENT (EN GBQ ET GBQ/T)

Isotopes	Activité dans l'eau du GVA		Activité dans la vapeur du GVA		Activité dans l'eau des GVS		Activité dans la vapeur des GVS		Activité dans le poste d'eau	
	GBq	GBq/t	GBq	GBq/t	GBq	GBq/t	GBq	GBq/t	GBq	GBq/t
KR85F	0,0E+00	0,0E+00	2,0E+00	3,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	5,9E+00	3,6E-01	5,8E+02	3,5E-01
KR85M	0,0E+00	0,0E+00	1,0E-02	1,9E-03	0,0E+00	0,0E+00	2,9E-02	1,8E-03	2,9E+00	1,7E-03
KR87	0,0E+00	0,0E+00	5,3E-03	9,6E-04	0,0E+00	0,0E+00	1,3E-02	7,9E-04	1,2E+00	7,5E-04
KR88	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-02	2,8E-03	0,0E+00	0,0E+00	4,2E-02	2,6E-03	4,1E+00	2,5E-03
XE131M	0,0E+00	0,0E+00	7,0E-02	1,3E-02	0,0E+00	0,0E+00	2,1E-01	1,3E-02	2,1E+01	1,3E-02
XE133F	0,0E+00	0,0E+00	5,6E+00	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,7E+01	1,0E+00	1,7E+03	1,0E+00
XE133M	0,0E+00	0,0E+00	8,0E-02	1,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	2,4E-01	1,4E-02	2,4E+01	1,4E-02
XE135F	0,0E+00	0,0E+00	1,2E-01	2,3E-02	0,0E+00	0,0E+00	3,6E-01	2,2E-02	3,5E+01	2,2E-02
XE138	0,0E+00	0,0E+00	5,7E-03	1,0E-03	0,0E+00	0,0E+00	8,5E-03	5,1E-04	6,9E-01	4,2E-04
I131	8,8E-01	1,1E-02	1,6E-04	2,8E-05	5,9E-01	2,5E-03	1,0E-04	6,3E-06	2,0E-02	1,2E-05
I132F	5,7E-01	7,4E-03	1,0E-04	1,8E-05	3,2E-01	1,4E-03	5,6E-05	3,4E-06	1,2E-02	7,0E-06
I133F	1,3E+00	1,6E-02	2,3E-04	4,1E-05	8,3E-01	3,6E-03	1,5E-04	8,9E-06	2,8E-02	1,7E-05
I134F	1,4E-01	1,7E-03	2,4E-05	4,3E-06	6,8E-02	2,9E-04	1,2E-05	7,3E-07	2,4E-03	1,5E-06
I135	7,2E-01	9,2E-03	1,3E-04	2,3E-05	4,4E-01	1,9E-03	7,8E-05	4,7E-06	1,5E-02	9,4E-06
CS134F	8,2E-01	1,0E-02	1,4E-04	2,6E-05	1,8E+00	7,8E-03	3,2E-04	2,0E-05	1,5E-01	9,1E-05
CS136F	3,7E-01	4,8E-03	6,5E-05	1,2E-05	8,2E-01	3,5E-03	1,4E-04	8,8E-06	6,7E-02	4,1E-05

Isotopes	Activité dans l'eau du GVA		Activité dans la vapeur du GVA		Activité dans l'eau des GVS		Activité dans la vapeur des GVS		Activité dans le poste d'eau	
	GBq	GBq/t	GBq	GBq/t	GBq	GBq/t	GBq	GBq/t	GBq	GBq/t
CS137	6,1E-01	7,8E-03	1,1E-04	1,9E-05	1,4E+00	5,8E-03	2,4E-04	1,5E-05	1,1E-01	6,8E-05
CS138F	1,4E+00	1,8E-02	2,7E-04	4,9E-05	1,2E+00	5,1E-03	2,4E-04	1,4E-05	2,5E-01	1,5E-04
SR89	5,4E-03	6,9E-05	9,5E-07	1,7E-07	1,2E-02	5,2E-05	2,1E-06	1,3E-07	9,9E-04	6,0E-07
SR90	3,5E-05	4,4E-07	6,1E-09	1,1E-09	7,7E-05	3,3E-07	1,4E-08	8,3E-10	6,3E-06	3,9E-09
AG110M	1,7E-02	2,1E-04	2,9E-06	5,3E-07	1,3E-02	5,4E-05	2,2E-06	1,4E-07	5,3E-04	3,3E-07
CO58	2,4E-02	3,1E-04	4,3E-06	7,7E-07	1,8E-02	7,9E-05	3,3E-06	2,0E-07	7,8E-04	4,7E-07
CO60	1,1E-02	1,4E-04	1,9E-06	3,4E-07	8,2E-03	3,5E-05	1,4E-06	8,8E-08	3,5E-04	2,1E-07
CR51	3,7E-02	4,8E-04	6,5E-06	1,2E-06	2,8E-02	1,2E-04	5,0E-06	3,0E-07	1,2E-03	7,3E-07
FE59	5,0E-03	6,4E-05	8,8E-07	1,6E-07	3,8E-03	1,6E-05	6,8E-07	4,1E-08	1,6E-04	9,8E-08
MN54	1,4E-02	1,7E-04	2,4E-06	4,4E-07	1,0E-02	4,5E-05	1,8E-06	1,1E-07	4,4E-04	2,7E-07
SB122F	6,6E-03	8,5E-05	1,2E-06	2,1E-07	5,0E-03	2,1E-05	8,8E-07	5,3E-08	2,1E-04	1,3E-07
SB124F	7,4E-03	9,5E-05	1,3E-06	2,4E-07	5,7E-03	2,4E-05	1,0E-06	6,1E-08	2,4E-04	1,5E-07
SB125	6,1E-03	7,8E-05	1,1E-06	1,9E-07	4,6E-03	2,0E-05	8,2E-07	5,0E-08	2,0E-04	1,2E-07
Total	6,9E+00	8,9E-02	7,9E+00	1,4E+00	7,6E+00	3,2E-02	2,4E+01	1,4E+00	2,3E+03	1,4E+00

TAB-15.3.3 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE POUR LE TRANSITOIRE DE PERTE DE VIDE AU CONDENSEUR (EN GBQ)

Activité rejetée

Temps (s)	0	3600	5400	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000
Temps (h)	0	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KR85F	0.0E+00	7.9E+00	8.0E+00	8.0E+00	8.1E+00	8.3E+00	8.4E+00	8.5E+00	8.6E+00	8.8E+00	8.9E+00	9.0E+00
KR85M	0.0E+00	5.4E-01	9.3E-01	1.4E+00	2.1E+00	2.8E+00	3.3E+00	3.8E+00	4.2E+00	4.6E+00	4.9E+00	5.1E+00
KR87	0.0E+00	6.3E-01	1.0E+00	1.4E+00	1.9E+00	2.2E+00	2.4E+00	2.5E+00	2.6E+00	2.6E+00	2.6E+00	2.6E+00
KR88	0.0E+00	1.0E+00	1.6E+00	2.2E+00	3.2E+00	4.0E+00	4.7E+00	5.2E+00	5.5E+00	5.8E+00	6.1E+00	6.3E+00
XE131M	0.0E+00	3.3E-01	3.7E-01	4.2E-01	5.1E-01	5.9E-01	6.8E-01	7.7E-01	8.6E-01	9.5E-01	1.0E+00	1.1E+00
XE133F	0.0E+00	3.2E+01	3.9E+01	4.7E+01	6.3E+01	7.9E+01	9.5E+01	1.1E+02	1.3E+02	1.4E+02	1.6E+02	1.7E+02
XE133M	0.0E+00	6.8E-01	9.6E-01	1.3E+00	1.9E+00	2.6E+00	3.2E+00	3.8E+00	4.4E+00	5.0E+00	5.6E+00	6.2E+00
XE135F	0.0E+00	3.1E+00	4.9E+00	6.8E+00	1.1E+01	1.5E+01	1.9E+01	2.4E+01	2.8E+01	3.2E+01	3.6E+01	4.0E+01
XE138	0.0E+00	1.4E+00	2.1E+00	2.6E+00	2.8E+00	2.8E+00	2.8E+00	2.8E+00	2.8E+00	2.8E+00	2.8E+00	2.8E+00
I131	0.0E+00	2.5E-03	4.7E-03	7.8E-03	1.7E-02	3.1E-02	4.9E-02	7.2E-02	9.8E-02	1.3E-01	1.6E-01	2.0E-01
I132F	0.0E+00	1.5E-03	2.7E-03	4.5E-03	8.9E-03	1.4E-02	1.9E-02	2.4E-02	2.8E-02	3.1E-02	3.5E-02	3.7E-02
I133F	0.0E+00	3.7E-03	7.1E-03	1.2E-02	2.8E-02	5.1E-02	8.1E-02	1.2E-01	1.6E-01	2.0E-01	2.6E-01	3.1E-01
I134F	0.0E+00	3.5E-04	6.7E-04	1.1E-03	1.9E-03	2.6E-03	3.0E-03	3.2E-03	3.3E-03	3.4E-03	3.4E-03	3.4E-03
I135	0.0E+00	2.1E-03	4.1E-03	7.2E-03	1.7E-02	2.9E-02	4.5E-02	6.2E-02	8.1E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.4E-01
CS134F	0.0E+00	3.7E-03	5.9E-03	8.3E-03	1.4E-02	2.1E-02	3.0E-02	3.9E-02	5.1E-02	6.3E-02	7.7E-02	9.2E-02
CS136F	0.0E+00	1.7E-03	2.9E-03	4.3E-03	8.4E-03	1.4E-02	2.1E-02	2.9E-02	3.9E-02	5.0E-02	6.2E-02	7.6E-02
CS137	0.0E+00	2.8E-03	4.3E-03	6.1E-03	1.0E-02	1.6E-02	2.2E-02	2.9E-02	3.7E-02	4.7E-02	5.7E-02	6.8E-02
CS138F	0.0E+00	1.8E-01	2.9E-01	3.7E-01	4.1E-01	4.1E-01	4.1E-01	4.1E-01	4.1E-01	4.1E-01	4.1E-01	4.1E-01
SR89	0.0E+00	3.3E-05	7.0E-05	1.3E-04	3.5E-04	6.8E-04	1.1E-03	1.7E-03	2.4E-03	3.2E-03	4.1E-03	5.1E-03
SR90	0.0E+00	2.1E-07	4.5E-07	8.5E-07	2.2E-06	4.3E-06	7.1E-06	1.1E-05	1.5E-05	2.0E-05	2.6E-05	3.2E-05
AG110M	0.0E+00	4.8E-05	8.6E-05	1.4E-04	2.9E-04	5.2E-04	8.1E-04	1.2E-03	1.6E-03	2.1E-03	2.6E-03	3.3E-03
CO58	0.0E+00	9.3E-05	2.1E-04	4.2E-04	1.1E-03	2.3E-03	3.8E-03	5.7E-03	8.0E-03	1.1E-02	1.4E-02	1.7E-02
CO60	0.0E+00	2.9E-05	4.9E-05	7.4E-05	1.4E-04	2.3E-04	3.4E-04	4.8E-04	6.3E-04	8.1E-04	1.0E-03	1.2E-03
CR51	0.0E+00	1.2E-04	2.6E-04	4.7E-04	1.2E-03	2.2E-03	3.7E-03	5.5E-03	7.6E-03	1.0E-02	1.3E-02	1.6E-02
FE59	0.0E+00	1.4E-05	2.4E-05	3.7E-05	7.4E-05	1.2E-04	1.9E-04	2.7E-04	3.6E-04	4.6E-04	5.8E-04	7.1E-04
MN54	0.0E+00	3.9E-05	7.0E-05	1.1E-04	2.4E-04	4.2E-04	6.6E-04	9.5E-04	1.3E-03	1.7E-03	2.1E-03	2.7E-03
SB122F	0.0E+00	2.0E-05	3.8E-05	6.5E-05	1.5E-04	2.7E-04	4.3E-04	6.3E-04	8.7E-04	1.1E-03	1.4E-03	1.8E-03
SB124F	0.0E+00	2.1E-05	3.6E-05	5.6E-05	1.1E-04	1.9E-04	2.9E-04	4.1E-04	5.5E-04	7.2E-04	9.0E-04	1.1E-03
SB125	0.0E+00	1.6E-05	2.5E-05	3.6E-05	6.0E-05	8.7E-05	1.2E-04	1.6E-04	2.0E-04	2.4E-04	2.9E-04	3.4E-04
somme	0.0E+00	4.8E+01	5.9E+01	7.2E+01	9.5E+01	1.2E+02	1.4E+02	1.6E+02	1.8E+02	2.1E+02	2.3E+02	2.5E+02

Synthèse de l'activité rejetée à l'atmosphère en GBq

Temps (s)	0	3600	5400	7200	10800	14400	18000	21600	25200	28800	32400	36000
Temps (h)	0	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XE133F	0.0E+00	3.2E+01	3.9E+01	4.7E+01	6.3E+01	7.9E+01	9.5E+01	1.1E+02	1.3E+02	1.4E+02	1.6E+02	1.7E+02
Total GR	0.0E+00	4.8E+01	5.9E+01	7.1E+01	9.5E+01	1.2E+02	1.4E+02	1.6E+02	1.8E+02	2.1E+02	2.3E+02	2.5E+02
I131	0.0E+00	2.5E-03	4.7E-03	7.8E-03	1.7E-02	3.1E-02	4.9E-02	7.2E-02	9.8E-02	1.3E-01	1.6E-01	2.0E-01
I131 Equ	0.0E+00	3.7E-03	6.9E-03	1.2E-02	2.6E-02	4.7E-02	7.5E-02	1.1E-01	1.5E-01	1.9E-01	2.4E-01	3.0E-01
Total Iode	0.0E+00	1.0E-02	1.9E-02	3.3E-02	7.3E-02	1.3E-01	2.0E-01	2.8E-01	3.7E-01	4.7E-01	5.8E-01	7.0E-01
CS137	0.0E+00	2.8E-03	4.3E-03	6.1E-03	1.0E-02	1.6E-02	2.2E-02	2.9E-02	3.7E-02	4.7E-02	5.7E-02	6.8E-02
Total CS	0.0E+00	1.9E-01	3.0E-01	3.9E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.8E-01	5.1E-01	5.4E-01	5.7E-01	6.1E-01	6.5E-01
Total Sr	0.0E+00	3.3E-05	7.1E-05	1.3E-04	3.5E-04	6.8E-04	1.1E-03	1.7E-03	2.4E-03	3.2E-03	4.1E-03	5.1E-03
Total I + CS + S	0.0E+00	2.0E-01	3.2E-01	4.2E-01	5.1E-01	5.9E-01	6.8E-01	7.9E-01	9.1E-01	1.0E+00	1.2E+00	1.4E+00
Total PC	0.0E+00	4.0E-04	8.0E-04	1.4E-03	3.4E-03	6.4E-03	1.0E-02	1.5E-02	2.1E-02	2.8E-02	3.6E-02	4.5E-02
TOTAL	0.0E+00	4.8E+01	5.9E+01	7.2E+01	9.5E+01	1.2E+02	1.4E+02	1.6E+02	1.8E+02	2.1E+02	2.3E+02	2.5E+02



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE 15
SECTION 3
PAGE 96/121

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

TAB-15.3.4 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHERE POUR L'INCIDENT DE RTGV 1 TUBE (EN GBQ)

Temps (s)	0	1168	3000	3003	3112	3333	3622	6850	11416	16482	24991
KR85F	0.0E+00	5.6E+02	7.5E+02	7.5E+02	7.5E+02	7.6E+02	7.7E+02	7.7E+02	7.8E+02	1.1E+03	1.1E+03
KR85M	0.0E+00	4.6E+02	1.1E+03	1.1E+03	1.1E+03	1.2E+03	1.2E+03	1.3E+03	1.3E+03	3.0E+03	3.0E+03
KR87	0.0E+00	6.9E+02	1.7E+03	1.7E+03	1.7E+03	1.8E+03	1.9E+03	1.9E+03	1.9E+03	3.1E+03	3.1E+03
KR88	0.0E+00	1.0E+03	2.5E+03	2.5E+03	2.5E+03	2.6E+03	2.8E+03	2.8E+03	2.9E+03	5.2E+03	5.2E+03
XE131M	0.0E+00	6.9E+01	1.4E+02	1.4E+02	1.4E+02	1.5E+02	1.6E+02	1.6E+02	1.6E+02	3.6E+02	3.6E+02
XE133F	0.0E+00	1.1E+04	2.4E+04	2.4E+04	2.4E+04	2.5E+04	2.6E+04	2.7E+04	2.7E+04	6.3E+04	6.3E+04
XE133M	0.0E+00	3.4E+02	7.8E+02	7.8E+02	7.9E+02	8.2E+02	8.8E+02	8.9E+02	9.2E+02	2.4E+03	2.4E+03
XE135F	0.0E+00	2.7E+03	6.5E+03	6.5E+03	6.6E+03	6.9E+03	7.3E+03	7.4E+03	7.6E+03	1.7E+04	1.7E+04
XE138	0.0E+00	2.1E+03	5.4E+03	5.4E+03	5.5E+03	5.7E+03	6.1E+03	6.1E+03	6.1E+03	6.4E+03	6.4E+03
I131	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	5.4E-01	1.9E+00	4.9E+00	5.0E+00	5.1E+00	3.1E+01	3.1E+01
I132F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	6.1E-01	2.1E+00	5.3E+00	5.4E+00	5.4E+00	1.8E+01	1.8E+01
I133F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.5E-01	3.0E+00	7.9E+00	8.0E+00	8.1E+00	5.3E+01	5.3E+01
I134F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.3E-01	8.1E-01	2.0E+00	2.0E+00	2.1E+00	4.6E+00	4.6E+00
I135	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	5.6E-01	2.0E+00	5.3E+00	5.3E+00	5.4E+00	3.3E+01	3.3E+01
CS134F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.6E-01	5.8E-01	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	9.2E+00	9.2E+00
CS136F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.8E-02	3.0E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.7E-01	9.2E+00	9.2E+00
CS137	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-01	4.3E-01	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	6.8E+00	6.8E+00
CS138F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.5E+00	1.5E+01	3.9E+01	4.9E+01	7.4E+01	6.2E+02	6.2E+02
SR89	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-03	7.0E-03	2.9E-02	2.9E-02	2.9E-02	6.9E-01	7.0E-01
SR90	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.1E-06	4.4E-05	1.8E-04	1.8E-04	1.9E-04	4.4E-03	4.4E-03
AG110M	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.7E-03	3.4E-02	8.6E-02	8.7E-02	8.8E-02	4.8E-01	4.8E-01
CO58	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.5E-02	5.8E-02	1.8E-01	1.8E-01	1.8E-01	2.5E+00	2.5E+00
CO60	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	6.2E-03	2.1E-02	5.2E-02	5.2E-02	5.3E-02	1.9E-01	1.9E-01
CR51	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.2E-02	8.2E-02	2.3E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.4E+00	2.4E+00
FE59	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.9E-03	1.0E-02	2.5E-02	2.5E-02	2.6E-02	1.1E-01	1.1E-01
MN54	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.9E-03	2.8E-02	7.0E-02	7.1E-02	7.2E-02	3.9E-01	3.9E-01
SB122F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	4.0E-03	1.4E-02	3.7E-02	3.8E-02	3.9E-02	2.7E-01	2.7E-01
SB124F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	4.3E-03	1.5E-02	3.7E-02	3.7E-02	3.8E-02	1.7E-01	1.7E-01
SB125	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.5E-03	1.2E-02	2.8E-02	2.8E-02	2.9E-02	5.6E-02	5.6E-02
somme	0.0E+00	1.9E+04	4.2E+04	4.2E+04	4.3E+04	4.5E+04	4.8E+04	4.8E+04	4.9E+04	1.0E+05	1.0E+05

Temps (s)	0	1168	3000	3003	3112	3333	3622	6850	11416	16482	24991
XE133F	0.0E+00	1.1E+04	2.4E+04	2.4E+04	2.4E+04	2.5E+04	2.6E+04	2.7E+04	2.7E+04	6.3E+04	6.3E+04
Total GR	0.0E+00	1.9E+04	4.2E+04	4.2E+04	4.3E+04	4.5E+04	4.8E+04	4.8E+04	4.9E+04	1.0E+05	1.0E+05
I131	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	5.4E-01	1.9E+00	4.9E+00	5.0E+00	5.1E+00	3.1E+01	3.1E+01
I131 Equi	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.4E-01	3.0E+00	7.6E+00	7.7E+00	7.9E+00	4.8E+01	4.8E+01
Total Iode	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.8E+00	9.9E+00	2.5E+01	2.6E+01	2.6E+01	1.4E+02	1.4E+02
CS137	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-01	4.3E-01	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	6.8E+00	6.8E+00
Total I + Total Cs	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	6.6E+00	2.6E+01	6.8E+01	7.8E+01	1.0E+02	7.9E+02	7.9E+02
Total Sr	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-03	7.0E-03	2.9E-02	2.9E-02	3.0E-02	7.0E-01	7.0E-01
Total PC	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.5E-02	2.7E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.6E-01	6.5E+00	6.5E+00
TOTAL	0.0E+00	1.9E+04	4.2E+04	4.2E+04	4.3E+04	4.5E+04	4.8E+04	4.8E+04	4.9E+04	1.0E+05	1.0E+05

**TAB-15.3.5 ACTIVITÉS MAXIMALES DU TEG EN FIN DE
CYCLE EN BQ – PALIER EPR**

Isotopes	Bq
Kr 85	2,8E+13
Kr 85M	9,1E+11
Kr 87	2,7E+11
Kr 88	1,0E+12
Xe 131M	4,2E+12
Xe 133	4,2E+14
Xe 133M	7,7E+12
Xe 135	1,5E+13
Xe 138	1,6E+11

TAB-15.3.6 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE POUR L'INCIDENT DE RUPTURE D'UNE LIGNE REN AVEC VENTILATION ET FILTRATION PIÈGE À IODE (EN GBQ)

Temps (s)	1	3600	82800	86400	259200	432000	604800	1296000	2592000
Temps (h)	0	1	23	24	72	120	168	360	720
Temps (j)	0,00	0,04	0,96	1	3	5	7	15	30
KR85F	2,9E-07	2,1E+00	7,9E+01	8,3E+01	8,5E+01	8,5E+01	8,5E+01	8,5E+01	8,5E+01
KR85M	1,8E-06	1,3E+01	4,8E+02	5,0E+02	5,1E+02	5,1E+02	5,1E+02	5,1E+02	5,1E+02
KR87	2,7E-06	1,8E+01	6,2E+02	6,5E+02	6,6E+02	6,6E+02	6,6E+02	6,6E+02	6,6E+02
KR88	4,1E-06	2,8E+01	1,0E+03	1,1E+03	1,1E+03	1,1E+03	1,1E+03	1,1E+03	1,1E+03
XE131M	2,0E-07	1,5E+00	5,6E+01	5,9E+01	6,1E+01	6,1E+01	6,1E+01	6,2E+01	6,2E+01
XE133F	3,6E-05	2,7E+02	1,0E+04	1,1E+04	1,1E+04	1,1E+04	1,1E+04	1,1E+04	1,1E+04
XE133M	1,3E-06	9,2E+00	3,5E+02	3,6E+02	3,7E+02	3,7E+02	3,7E+02	3,7E+02	3,7E+02
XE135F	1,1E-05	7,7E+01	3,1E+03	3,2E+03	3,4E+03	3,4E+03	3,4E+03	3,4E+03	3,4E+03
XE138	8,3E-06	3,5E+01	9,9E+02	1,0E+03	1,0E+03	1,0E+03	1,0E+03	1,0E+03	1,0E+03
I131	6,7E-09	4,1E-01	1,6E+01	1,6E+01	4,9E+01	7,6E+01	9,9E+01	1,6E+02	2,0E+02
I132F	8,2E-09	4,5E-01	6,5E+00	6,7E+00	7,2E+00	7,2E+00	7,2E+00	7,2E+00	7,2E+00
I133F	1,1E-08	6,4E-01	2,1E+01	2,2E+01	4,3E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,9E+01	4,9E+01
I134F	3,4E-09	1,5E-01	1,2E+00	1,2E+00	1,3E+00	1,3E+00	1,3E+00	1,3E+00	1,3E+00
I135	7,1E-09	4,2E-01	1,0E+01	1,1E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01
CS134F	5,2E-11	3,8E-04	1,4E-02	1,6E-02	1,7E-02	1,7E-02	1,7E-02	1,7E-02	1,7E-02
CS136F	2,5E-11	1,8E-04	6,8E-03	7,8E-03	9,0E-03	9,0E-03	9,0E-03	9,0E-03	9,0E-03
CS137	3,9E-11	2,8E-04	1,1E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,2E-02
CS138F	1,2E-09	1,5E-02	5,9E-01	6,2E-01	6,3E-01	6,3E-01	6,3E-01	6,3E-01	6,3E-01
SR89	3,5E-13	2,6E-06	9,6E-05	1,6E-04	2,5E-04	2,5E-04	2,5E-04	2,5E-04	2,5E-04
SR90	2,2E-15	1,6E-08	6,1E-07	1,0E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06
AG110M	3,1E-12	2,3E-05	8,6E-04	9,3E-04	9,9E-04	9,9E-04	9,9E-04	9,9E-04	9,9E-04
CO58	4,5E-12	3,3E-05	1,3E-03	1,5E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03
CO60	2,0E-12	1,5E-05	5,5E-04	5,9E-04	6,1E-04	6,1E-04	6,1E-04	6,1E-04	6,1E-04
CR51	7,0E-12	5,1E-05	1,9E-03	2,2E-03	2,5E-03	2,5E-03	2,5E-03	2,5E-03	2,5E-03
FE59	9,4E-13	6,9E-06	2,6E-04	2,8E-04	2,9E-04	2,9E-04	2,9E-04	2,9E-04	2,9E-04
MN54	2,5E-12	1,9E-05	7,1E-04	7,6E-04	8,1E-04	8,1E-04	8,1E-04	8,1E-04	8,1E-04
SB122F	1,3E-12	9,3E-06	3,5E-04	3,9E-04	4,2E-04	4,2E-04	4,2E-04	4,2E-04	4,2E-04
SB124F	1,4E-12	1,0E-05	3,8E-04	4,1E-04	4,3E-04	4,3E-04	4,3E-04	4,3E-04	4,3E-04
SB125	1,1E-12	8,3E-06	3,1E-04	3,3E-04	3,3E-04	3,3E-04	3,3E-04	3,3E-04	3,3E-04
somme	6,6E-05	4,5E+02	1,7E+04	1,8E+04	1,8E+04	1,8E+04	1,8E+04	1,8E+04	1,8E+04

TAB-15.3.7 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE POUR L'INCIDENT DE RUPTURE D'UNE LIGNE REN SANS VENTILATION & FILTRATION (EN GBQ)

Temps (s)	1	3600	82800	86400	259200	432000	604800	1296000	2592000
Temps (h)	0	1	23	24	72	120	168	360	720
Temps (j)	0,00	0,04	0,96	1	3	5	7	15	30
KR85F	3,0E-09	3,8E-02	1,7E+01	1,8E+01	6,0E+01	7,6E+01	8,2E+01	8,5E+01	8,5E+01
KR85M	1,9E-08	2,3E-01	4,7E+01	5,0E+01	6,6E+01	6,6E+01	6,6E+01	6,6E+01	6,6E+01
KR87	2,8E-08	3,1E-01	2,7E+01	2,9E+01	3,1E+01	3,1E+01	3,1E+01	3,1E+01	3,1E+01
KR88	4,2E-08	5,0E-01	7,8E+01	8,2E+01	9,8E+01	9,8E+01	9,8E+01	9,8E+01	9,8E+01
XE131M	2,1E-09	2,7E-02	1,2E+01	1,3E+01	4,1E+01	5,0E+01	5,3E+01	5,5E+01	5,6E+01
XE133F	3,8E-07	4,9E+00	2,1E+03	2,2E+03	6,9E+03	8,2E+03	8,6E+03	8,7E+03	8,7E+03
XE133M	1,3E-08	1,7E-01	6,8E+01	7,3E+01	2,0E+02	2,3E+02	2,3E+02	2,3E+02	2,3E+02
XE135F	1,1E-07	1,4E+00	4,2E+02	4,5E+02	7,7E+02	7,7E+02	7,7E+02	7,7E+02	7,7E+02
XE138	8,6E-08	5,1E-01	1,7E+01	1,8E+01	1,8E+01	1,8E+01	1,8E+01	1,8E+01	1,8E+01
I131	1,9E-09	3,1E-02	1,3E+01	1,4E+01	5,9E+01	9,0E+01	1,1E+02	1,8E+02	2,2E+02
I132F	2,3E-09	3,4E-02	4,0E+00	4,2E+00	5,0E+00	5,0E+00	5,0E+00	5,0E+00	5,0E+00
I133F	3,0E-09	4,8E-02	1,7E+01	1,8E+01	4,8E+01	5,3E+01	5,4E+01	5,4E+01	5,4E+01
I134F	9,6E-10	1,2E-02	6,8E-01	7,2E-01	7,9E-01	7,9E-01	7,9E-01	7,9E-01	7,9E-01
I135	2,0E-09	3,1E-02	7,3E+00	7,8E+00	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,3E+01
CS134F	5,4E-10	7,0E-03	3,1E+00	3,3E+00	1,2E+01	1,5E+01	1,6E+01	1,7E+01	1,7E+01
CS136F	2,6E-10	3,3E-03	1,4E+00	1,6E+00	5,9E+00	7,4E+00	7,9E+00	8,1E+00	8,1E+00
CS137	4,0E-10	5,2E-03	2,3E+00	2,5E+00	8,8E+00	1,1E+01	1,2E+01	1,2E+01	1,2E+01
CS138F	1,2E-08	3,0E-01	2,2E+01	2,3E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01
SR89	3,6E-12	4,7E-05	2,0E-02	2,3E-02	1,6E-01	2,2E-01	2,3E-01	2,4E-01	2,4E-01
SR90	2,3E-14	2,9E-07	1,3E-04	1,5E-04	1,1E-03	1,4E-03	1,5E-03	1,6E-03	1,6E-03
AG110M	3,2E-11	4,2E-04	1,8E-01	2,0E-01	6,9E-01	8,8E-01	9,4E-01	9,8E-01	9,8E-01
CO58	4,7E-11	6,0E-04	2,7E-01	2,9E-01	1,2E+00	1,6E+00	1,7E+00	1,8E+00	1,8E+00
CO60	2,1E-11	2,7E-04	1,2E-01	1,3E-01	4,3E-01	5,4E-01	5,9E-01	6,1E-01	6,1E-01
CR51	7,3E-11	9,3E-04	4,1E-01	4,4E-01	1,7E+00	2,1E+00	2,3E+00	2,4E+00	2,4E+00
FE59	9,8E-12	1,3E-04	5,5E-02	6,0E-02	2,0E-01	2,5E-01	2,7E-01	2,8E-01	2,8E-01
MN54	2,7E-11	3,4E-04	1,5E-01	1,6E-01	5,7E-01	7,2E-01	7,7E-01	8,0E-01	8,1E-01
SB122F	1,3E-11	1,7E-04	7,0E-02	7,6E-02	2,4E-01	2,7E-01	2,8E-01	2,8E-01	2,8E-01
SB124F	1,4E-11	1,9E-04	8,2E-02	8,8E-02	3,0E-01	3,8E-01	4,1E-01	4,2E-01	4,2E-01
SB125	1,2E-11	1,5E-04	6,7E-02	7,2E-02	2,4E-01	3,0E-01	3,2E-01	3,3E-01	3,3E-01
somme	7,1E-07	8,5E+00	2,8E+03	3,0E+03	8,3E+03	9,8E+03	1,0E+04	1,0E+04	1,0E+04

TAB-15.3.8 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE POUR L'INCIDENT DE RUPTURE D'UNE LIGNE RCV AVEC VENTILATION ET FILTRATION PIÈGE À IODE (EN GBQ)

Temps (s)	1	3600	7200	55800	259200	432000	604800	1296000	2592000
Temps (h)	0	1	2	16	72	120	168	360	720
Temps (j)	0,00	0,04	0,08	0,65	3	5	7	15	30
KR85F	1,4E-05	9,3E+01	2,4E+02	3,3E+02	3,3E+02	3,3E+02	3,3E+02	3,3E+02	3,3E+02
KR85M	8,6E-05	5,6E+02	1,5E+03	2,0E+03	2,0E+03	2,0E+03	2,0E+03	2,0E+03	2,0E+03
KR87	1,3E-04	7,9E+02	1,9E+03	2,4E+03	2,4E+03	2,4E+03	2,4E+03	2,4E+03	2,4E+03
KR88	1,9E-04	1,2E+03	3,1E+03	4,0E+03	4,0E+03	4,0E+03	4,0E+03	4,0E+03	4,0E+03
XE131M	9,7E-06	6,5E+01	1,7E+02	2,3E+02	2,4E+02	2,4E+02	2,4E+02	2,5E+02	2,5E+02
XE133F	1,7E-03	1,2E+04	3,1E+04	4,2E+04	4,3E+04	4,3E+04	4,3E+04	4,3E+04	4,3E+04
XE133M	6,0E-05	4,1E+02	1,1E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,5E+03
XE135F	5,1E-04	3,4E+03	8,6E+03	1,3E+04	1,4E+04	1,4E+04	1,4E+04	1,4E+04	1,4E+04
XE138	4,0E-04	1,6E+03	3,5E+03	3,9E+03	3,9E+03	3,9E+03	3,9E+03	3,9E+03	3,9E+03
I131	1,2E-08	1,1E-01	3,2E-01	5,2E+00	2,3E+01	3,6E+01	4,7E+01	7,6E+01	9,6E+01
I132F	1,5E-08	1,2E-01	3,0E-01	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00
I133F	2,0E-08	1,8E-01	5,0E-01	7,5E+00	1,8E+01	1,9E+01	2,0E+01	2,0E+01	2,0E+01
I134F	6,4E-09	4,2E-02	9,4E-02	2,0E-01	2,0E-01	2,0E-01	2,0E-01	2,0E-01	2,0E-01
I135	1,3E-08	1,1E-01	3,2E-01	3,3E+00	4,3E+00	4,3E+00	4,3E+00	4,3E+00	4,3E+00
CS134F	2,5E-12	1,7E-05	6,9E-05	1,2E-04	1,2E-04	1,2E-04	1,2E-04	1,2E-04	1,2E-04
CS136F	1,2E-12	8,0E-06	5,4E-05	1,0E-04	1,0E-04	1,0E-04	1,0E-04	1,0E-04	1,0E-04
CS137	1,9E-12	1,3E-05	5,1E-05	8,7E-05	8,7E-05	8,7E-05	8,7E-05	8,7E-05	8,7E-05
CS138F	1,0E-10	4,1E-01	1,2E+00	1,5E+00	1,5E+00	1,5E+00	1,5E+00	1,5E+00	1,5E+00
SR89	1,7E-14	1,1E-07	3,2E-06	7,0E-06	7,0E-06	7,0E-06	7,0E-06	7,0E-06	7,0E-06
SR90	1,1E-16	7,1E-10	2,0E-08	4,4E-08	4,4E-08	4,4E-08	4,4E-08	4,4E-08	4,4E-08
AG110M	1,5E-13	1,0E-06	3,9E-06	6,3E-06	6,3E-06	6,3E-06	6,3E-06	6,3E-06	6,3E-06
CO58	2,2E-13	1,5E-06	1,3E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05
CO60	9,6E-14	6,5E-07	2,0E-06	2,9E-06	2,9E-06	2,9E-06	2,9E-06	2,9E-06	2,9E-06
CR51	3,3E-13	2,3E-06	1,4E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05
FE59	4,5E-14	3,0E-07	1,0E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06
MN54	1,2E-13	8,3E-07	3,2E-06	5,2E-06	5,2E-06	5,2E-06	5,2E-06	5,2E-06	5,2E-06
SB122F	6,1E-14	4,1E-07	1,9E-06	3,4E-06	3,4E-06	3,4E-06	3,4E-06	3,4E-06	3,4E-06
SB124F	6,7E-14	4,5E-07	1,5E-06	2,4E-06	2,4E-06	2,4E-06	2,4E-06	2,4E-06	2,4E-06
SB125	5,4E-14	3,7E-07	9,0E-07	1,2E-06	1,2E-06	1,2E-06	1,2E-06	1,2E-06	1,2E-06
somme	3,1E-03	2,0E+04	5,1E+04	7,0E+04	7,1E+04	7,1E+04	7,1E+04	7,1E+04	7,1E+04

TAB-15.3.9 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE POUR L'INCIDENT DE RUPTURE D'UNE LIGNE RCV AVEC VENTILATION ET FILTRATION PIÈGE À IODE (EN GBQ)

Temps (s)	1	3600	7200	55800	259200	432000	604800	1296000	2592000
Temps (h)	0	1	2	16	72	120	168	360	720
Temps (j)	0,00	0,04	0,08	0,65	3	5	7	15	30
KR85F	1,4E-07	1,7E+00	6,6E+00	8,5E+01	2,5E+02	3,0E+02	3,2E+02	3,3E+02	3,3E+02
KR85M	8,9E-07	1,0E+01	3,9E+01	2,4E+02	2,6E+02	2,6E+02	2,6E+02	2,6E+02	2,6E+02
KR87	1,4E-06	1,4E+01	4,5E+01	1,1E+02	1,1E+02	1,1E+02	1,1E+02	1,1E+02	1,1E+02
KR88	2,0E-06	2,2E+01	7,9E+01	3,4E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02
XE131M	1,0E-07	1,2E+00	4,7E+00	6,0E+01	1,7E+02	2,0E+02	2,1E+02	2,2E+02	2,2E+02
XE133F	1,8E-05	2,2E+02	8,4E+02	1,1E+04	2,9E+04	3,3E+04	3,4E+04	3,4E+04	3,4E+04
XE133M	6,3E-07	7,5E+00	2,9E+01	3,6E+02	8,5E+02	9,2E+02	9,3E+02	9,3E+02	9,3E+02
XE135F	5,3E-06	6,2E+01	2,3E+02	2,1E+03	3,1E+03	3,1E+03	3,1E+03	3,1E+03	3,1E+03
XE138	4,1E-06	2,4E+01	5,7E+01	6,8E+01	6,8E+01	6,8E+01	6,8E+01	6,8E+01	6,8E+01
I131	2,2E-10	3,1E-03	1,4E-02	8,4E-01	1,1E+01	2,2E+01	3,2E+01	6,1E+01	8,2E+01
I132F	2,7E-10	3,3E-03	1,3E-02	1,1E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01
I133F	3,4E-10	4,8E-03	2,2E-02	1,1E+00	6,4E+00	7,7E+00	8,0E+00	8,0E+00	8,0E+00
I134F	1,1E-10	1,1E-03	3,8E-03	1,1E-02	1,1E-02	1,1E-02	1,1E-02	1,1E-02	1,1E-02
I135	2,3E-10	3,1E-03	1,4E-02	4,4E-01	8,3E-01	8,3E-01	8,3E-01	8,3E-01	8,3E-01
CS134F	2,6E-11	3,1E-04	1,6E-03	3,0E-02	9,0E-02	1,1E-01	1,1E-01	1,2E-01	1,2E-01
CS136F	1,2E-11	1,5E-04	1,1E-03	2,6E-02	7,5E-02	8,7E-02	9,1E-02	9,3E-02	9,3E-02
CS137	1,9E-11	2,3E-04	1,2E-03	2,2E-02	6,7E-02	8,0E-02	8,4E-02	8,7E-02	8,7E-02
CS138F	1,1E-09	8,7E+00	3,4E+01	6,7E+01	6,7E+01	6,7E+01	6,7E+01	6,7E+01	6,7E+01
SR89	1,7E-13	2,1E-06	5,4E-05	1,7E-03	5,3E-03	6,2E-03	6,6E-03	6,8E-03	6,8E-03
SR90	1,1E-15	1,3E-08	3,4E-07	1,1E-05	3,4E-05	4,0E-05	4,3E-05	4,4E-05	4,4E-05
AG110M	1,6E-12	1,9E-05	9,1E-05	1,6E-03	4,9E-03	5,8E-03	6,1E-03	6,3E-03	6,3E-03
CO58	2,3E-12	2,7E-05	2,6E-04	6,7E-03	2,0E-02	2,4E-02	2,5E-02	2,6E-02	2,6E-02
CO60	1,0E-12	1,2E-05	5,1E-05	7,5E-04	2,2E-03	2,7E-03	2,8E-03	2,9E-03	2,9E-03
CR51	3,5E-12	4,2E-05	2,9E-04	6,7E-03	2,0E-02	2,4E-02	2,5E-02	2,5E-02	2,5E-02
FE59	4,7E-13	5,6E-06	2,5E-05	4,0E-04	1,2E-03	1,4E-03	1,5E-03	1,5E-03	1,5E-03
MN54	1,3E-12	1,5E-05	7,5E-05	1,3E-03	4,0E-03	4,7E-03	5,0E-03	5,2E-03	5,2E-03
SB122F	6,4E-13	7,6E-06	4,3E-05	8,0E-04	2,0E-03	2,2E-03	2,2E-03	2,2E-03	2,2E-03
SB124F	6,9E-13	8,3E-06	3,8E-05	6,1E-04	1,8E-03	2,1E-03	2,2E-03	2,3E-03	2,3E-03
SB125	5,7E-13	6,8E-06	2,5E-05	3,0E-04	8,9E-04	1,1E-03	1,1E-03	1,1E-03	1,1E-03
somme	3,3E-05	3,7E+02	1,4E+03	1,4E+04	3,4E+04	3,8E+04	3,9E+04	4,0E+04	4,0E+04



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 3

PAGE 102/121

TAB-15.3.10 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE SUITE À UN ACCIDENT DE RUPTURE DE TUYAUTERIE VAPEUR - RTV (EN GBQ)

Temps (s)	0	1	2	3600	7200	14400	25200	57600	72000	86400
Temps (h)	0	0.0003	0.0006	1	2	4	7	16	20	24
KR85F	0.0E+00	2.0E+00	2.0E+00	8.5E+00	9.3E+00	1.1E+01	1.4E+01	1.7E+01	1.7E+01	1.8E+01
KR85M	0.0E+00	1.1E-02	1.2E-02	4.4E+00	1.0E+01	2.1E+01	3.1E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.9E+01
KR87	0.0E+00	6.6E-03	8.0E-03	5.4E+00	1.1E+01	1.7E+01	1.9E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01
KR88	0.0E+00	1.8E-02	2.0E-02	8.1E+00	1.7E+01	3.0E+01	4.1E+01	4.7E+01	4.7E+01	4.7E+01
XE131M	0.0E+00	7.1E-02	7.1E-02	7.3E-01	1.4E+00	2.6E+00	4.5E+00	6.8E+00	7.0E+00	7.2E+00
XE133F	0.0E+00	5.7E+00	5.7E+00	1.0E+02	2.2E+02	4.4E+02	7.9E+02	1.2E+03	1.2E+03	1.3E+03
XE133M	0.0E+00	8.1E-02	8.3E-02	3.4E+00	7.9E+00	1.7E+01	3.0E+01	4.5E+01	4.7E+01	4.8E+01
XE135F	0.0E+00	1.3E-01	1.4E-01	2.2E+01	4.8E+01	1.0E+02	1.7E+02	2.5E+02	2.6E+02	2.6E+02
XE138	0.0E+00	9.7E-03	1.4E-02	1.5E+01	2.6E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01
I131	0.0E+00	8.8E-01	8.9E-01	4.7E+00	6.8E+00	1.1E+01	1.8E+01	2.5E+01	2.5E+01	2.5E+01
I132F	0.0E+00	5.7E-01	5.8E-01	4.2E+00	5.7E+00	7.8E+00	9.3E+00	9.9E+00	9.9E+00	9.9E+00
I133F	0.0E+00	1.3E+00	1.3E+00	7.9E+00	1.2E+01	2.0E+01	3.1E+01	4.1E+01	4.1E+01	4.1E+01
I134F	0.0E+00	1.4E-01	1.4E-01	1.7E+00	2.2E+00	2.6E+00	2.7E+00	2.7E+00	2.7E+00	2.7E+00
I135	0.0E+00	7.2E-01	7.2E-01	5.3E+00	7.8E+00	1.3E+01	1.8E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01
CS134F	0.0E+00	8.2E-01	8.2E-01	1.9E+00	2.6E+00	3.9E+00	6.0E+00	8.0E+00	8.1E+00	8.1E+00
CS136F	0.0E+00	3.7E-01	3.7E-01	1.4E+00	2.1E+00	3.5E+00	5.8E+00	8.0E+00	8.0E+00	8.1E+00
CS137	0.0E+00	6.1E-01	6.1E-01	1.4E+00	1.9E+00	2.9E+00	4.4E+00	6.0E+00	6.0E+00	6.0E+00
CS138F	0.0E+00	1.4E+00	1.4E+00	1.3E+01	1.4E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01
SR89	0.0E+00	5.4E-03	5.4E-03	7.3E-02	1.3E-01	2.5E-01	4.3E-01	6.1E-01	6.1E-01	6.2E-01
SR90	0.0E+00	3.5E-05	3.5E-05	4.6E-04	8.1E-04	1.6E-03	2.7E-03	3.9E-03	3.9E-03	3.9E-03
AG110M	0.0E+00	1.7E-02	1.7E-02	7.7E-02	1.1E-01	1.8E-01	2.8E-01	3.9E-01	3.9E-01	3.9E-01
CO58	0.0E+00	2.4E-02	2.4E-02	2.8E-01	4.7E-01	8.8E-01	1.5E+00	2.1E+00	2.1E+00	2.1E+00
CO60	0.0E+00	1.1E-02	1.1E-02	3.8E-02	4.9E-02	7.2E-02	1.1E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01
CR51	0.0E+00	3.7E-02	3.7E-02	3.0E-01	4.7E-01	8.5E-01	1.4E+00	2.0E+00	2.0E+00	2.0E+00
FE59	0.0E+00	5.0E-03	5.0E-03	2.0E-02	2.6E-02	4.1E-02	6.2E-02	8.4E-02	8.4E-02	8.4E-02
MN54	0.0E+00	1.4E-02	1.4E-02	6.3E-02	8.9E-02	1.5E-01	2.3E-01	3.2E-01	3.2E-01	3.2E-01
SB122F	0.0E+00	6.6E-03	6.6E-03	3.9E-02	5.9E-02	1.0E-01	1.6E-01	2.2E-01	2.2E-01	2.2E-01
SB124F	0.0E+00	7.4E-03	7.4E-03	3.0E-02	4.0E-02	6.3E-02	9.6E-02	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01
SB125	0.0E+00	6.1E-03	6.1E-03	1.7E-02	1.9E-02	2.3E-02	2.9E-02	3.6E-02	3.6E-02	3.6E-02
somme	0.0E+00	1.5E+01	1.5E+01	2.1E+02	4.0E+02	7.5E+02	1.2E+03	1.8E+03	1.8E+03	1.9E+03

TAB-15.3.11 ACTIVITÉ CŒUR EN PRODUITS DE FISSION – GESTION UOX (EN BQ)

	UOX 4,2 %			UOX 4,2 % + 12 Gd			
	8	8	8	72	72	72	1
Nombre d'assemblages combustibles	8	8	8	72	72	72	1
Irradiation du cycle (MW.j/t_{ML})	13706	20950	16125	20956	18062	12906	15781
Cycle	1^{er} cycle	2^{ème} cycle	3^{ème} cycle	1^{er} cycle	2^{ème} cycle	3^{ème} cycle	4^{ème} cycle
Kr 83M	1,7E+16	2,1E+16	1,4E+16	2,1E+17	1,6E+17	1,0E+17	1,5E+15
Kr 85	7,9E+14	1,7E+15	2,2E+15	1,0E+16	1,7E+16	2,0E+16	3,1E+14
Kr 85M	3,9E+16	4,7E+16	3,0E+16	4,8E+17	3,5E+17	2,2E+17	3,2E+15
Kr 87	7,3E+16	8,7E+16	5,5E+16	8,9E+17	6,4E+17	3,9E+17	5,8E+15
Kr 88	9,9E+16	1,2E+17	7,4E+16	1,2E+18	8,6E+17	5,2E+17	7,7E+15
Xe 131M	1,2E+15	1,9E+15	1,5E+15	1,7E+16	1,5E+16	1,1E+16	1,8E+14
Xe 133	2,3E+17	3,5E+17	2,7E+17	3,2E+18	2,7E+18	1,9E+18	3,2E+16
Xe 133M	6,9E+15	1,1E+16	8,1E+15	9,5E+16	8,2E+16	5,8E+16	9,9E+14
Xe 135	8,8E+16	8,9E+16	7,4E+16	8,8E+17	7,4E+17	6,2E+17	8,4E+15
Xe 135M	4,5E+16	7,2E+16	5,6E+16	6,4E+17	5,6E+17	4,1E+17	6,9E+15
Xe 138	2,1E+17	3,0E+17	2,2E+17	2,8E+18	2,3E+18	1,6E+18	2,6E+16
I 131	1,1E+17	1,8E+17	1,4E+17	1,6E+18	1,4E+18	9,8E+17	1,7E+16
I 132	1,6E+17	2,5E+17	1,9E+17	2,2E+18	1,9E+18	1,4E+18	2,3E+16
I 133	2,3E+17	3,5E+17	2,7E+17	3,2E+18	2,7E+18	1,9E+18	3,2E+16
I 134	2,7E+17	3,9E+17	3,0E+17	3,6E+18	3,0E+18	2,1E+18	3,5E+16
I 135	2,2E+17	3,3E+17	2,5E+17	3,0E+18	2,6E+18	1,8E+18	3,1E+16
Ba 140	2,1E+17	3,0E+17	2,2E+17	2,8E+18	2,3E+18	1,6E+18	2,7E+16
Br 82	1,5E+14	6,0E+14	7,0E+14	3,2E+15	5,3E+15	5,1E+15	1,1E+14
Br 83	1,7E+16	2,1E+16	1,4E+16	2,1E+17	1,6E+17	1,0E+17	1,5E+15

	UOX 4,2 %			UOX 4,2 % + 12 Gd			
Nombre d'assemblages combustibles	8	8	8	72	72	72	1
Irradiation du cycle (MW.j/t _{ML})	13706	20950	16125	20956	18062	12906	15781
Cycle	1 ^{er} cycle	2 ^{ème} cycle	3 ^{ème} cycle	1 ^{er} cycle	2 ^{ème} cycle	3 ^{ème} cycle	4 ^{ème} cycle
Br 84	2,9E+16	3,6E+16	2,3E+16	3,6E+17	2,6E+17	1,7E+17	2,5E+15
Cs 134	4,7E+15	2,7E+16	4,7E+16	9,9E+16	2,9E+17	4,1E+17	8,1E+15
Cs 134M	1,8E+15	7,2E+15	8,2E+15	3,8E+16	6,3E+16	6,0E+16	1,3E+15
Cs 136	2,9E+15	9,6E+15	1,1E+16	4,9E+16	8,0E+16	8,3E+16	1,8E+15
Cs 137	7,1E+15	1,8E+16	2,5E+16	9,7E+16	1,8E+17	2,3E+17	4,0E+15
Cs 138	2,3E+17	3,3E+17	2,5E+17	3,1E+18	2,5E+18	1,8E+18	2,9E+16
La 140	2,1E+17	3,1E+17	2,3E+17	2,8E+18	2,4E+18	1,7E+18	2,8E+16
Rb 86	9,5E+13	3,7E+14	4,3E+14	1,9E+15	3,3E+15	3,2E+15	7,0E+13
Rb 87	1,6E+06	3,6E+06	4,8E+06	2,1E+07	3,5E+07	4,3E+07	7,1E+05
Rb 88	1,0E+17	1,2E+17	7,6E+16	1,2E+18	8,8E+17	5,4E+17	7,9E+15
Rb 89	1,4E+17	1,6E+17	9,9E+16	1,6E+18	1,2E+18	7,1E+17	1,0E+16
Ru 103	1,4E+17	2,6E+17	2,3E+17	2,2E+18	2,1E+18	1,6E+18	2,9E+16
Ru 106	2,7E+16	8,5E+16	1,1E+17	4,6E+17	8,3E+17	8,9E+17	1,5E+16
Sr 89	1,4E+17	1,6E+17	1,0E+17	1,7E+18	1,2E+18	7,2E+17	1,1E+16
Sr 90	5,9E+15	1,3E+16	1,7E+16	7,6E+16	1,2E+17	1,5E+17	2,4E+15
Te 131F	9,9E+16	1,5E+17	1,2E+17	1,4E+18	1,2E+18	8,6E+17	1,5E+16
Te 131M	1,5E+16	2,5E+16	2,0E+16	2,2E+17	2,0E+17	1,5E+17	2,5E+15
Te 132	1,6E+17	2,4E+17	1,9E+17	2,2E+18	1,9E+18	1,3E+18	2,3E+16
Te 133	1,2E+17	1,7E+17	1,3E+17	1,6E+18	1,3E+18	9,3E+17	1,6E+16
Te 133M	1,2E+17	1,8E+17	1,4E+17	1,7E+18	1,4E+18	9,8E+17	1,6E+16
Te 134	2,2E+17	3,1E+17	2,3E+17	2,9E+18	2,4E+18	1,6E+18	2,7E+16

TAB-15.3.12 TAUX DE RELÂCHEMENT APPLICABLE AU CYCLE EN FONCTION DE L'IRRADIATION MOYENNE

Éléments	Taux retenu pour les évaluations des rejets UO2	
	TC ≤ 47 GWj/t	TC > 47 GWj/t
KR85	8%	25%
Autres Gaz Rares	2%	8%
Brome. Rubidium	2%	8%
Iodes. Césium	2%	8%
Autres	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴

TAB-15.3.13 CONSTANTE DE RABATTEMENT (H⁻¹) DANS L'ENCEINTE DE CONFINEMENT

Eléments	Temps	Constante de rabattement (h ⁻¹)
iodes particulaires et aérosols	0 < t < 0,6 h t > 0,6 h	0,6 0,3 jusqu'à C(t)/C(0) = 10 ⁻³ 0 au delà
iodes moléculaires		0,1 pour C(t)/C(0) > 10 ⁻⁴ 0 au delà
iode organique		Émission instantanée de 10% de la quantité d'iode moléculaire adsorbé sur les peintures.
Gaz rares		0

C(0) : concentration initiale à la brèche

**TAB-15.3.14 VALEURS DES FACTEURS D'ENTRAÎNEMENT
PAR DÉGAZAGE**

Facteur d'entraînement	Fuite liquide des systèmes implantés en dehors du BR	
	60°C < Température < 100°C	Température > 150°C
Aérosols (y compris I)	10 ⁻⁴	10 ⁻¹

TAB-15.3.15 CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉVAPORATION

	Puisard des bâtiments périphériques en APRP / Ejection de Grappe	Puisards des locaux des systèmes de sauvegarde (BAN) ⁶		Puisard des locaux BTE
		REN (T° = 80 °C)	RCV. TEP. REA (T° = 50 °C)	
Fraction d'iode moléculaire	10%	10%	10%	10%
K : coefficient de transfert de l'eau vers la vapeur par évaporation	1,7.10 ⁻⁷ t.m ⁻² .s ⁻¹	1,7.10 ⁻⁷ t.m ⁻² .s ⁻¹	4,2.10 ⁻⁸ t.m ⁻² .s ⁻¹	4,2.10 ⁻⁸ t.m ⁻² .s ⁻¹
Surface d'épandage de l'eau des fuites	25 m ²	885 m ²	910 m ²	960 m ²

6. Le dégazage de l'iode est calculé de manière indépendante pour chacun des systèmes RCV, TEP et REA afin de s'affranchir d'un effet bénéfique de dilution (les rejets par RCV étant plus concentrés que les rejets TEP ou REA). Bien que comptabilisés via le dégazage du système RCV, les rejets issus du REN sont également comptabilisés de manière indépendante et supplémentaire.

TAB-15.3.16 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À L'ACCIDENT D'ÉJECTION D'UNE GRAPPE DE RÉGULATION (SANS REJET GV) – PCC-4

Temps (en secondes)	1	2160	80733	86400	88200	172800	604800	864000	1296000	1728000	2592000
Temps (en heures)	0.0003	0.6	22.4	24	24.5	48	168	240	360	480	720
Temps (en jours)	0.000012	0.03	0.9	1	1.02	2	7	10	15	20	30

KR83M	1.1E-06	4.1E+00	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02
KR85F	4.8E-07	2.1E+00	9.7E+02	1.1E+03	1.1E+03	2.4E+03	9.7E+03	1.4E+04	2.1E+04	2.7E+04	4.1E+04
KR85M	2.3E-06	9.8E+00	9.3E+02	9.5E+02	9.5E+02	9.9E+02	9.9E+02	9.9E+02	9.9E+02	9.9E+02	9.9E+02
KR87	4.3E-06	1.5E+01	2.5E+02	2.5E+02	2.5E+02	2.5E+02	2.5E+02	2.5E+02	2.5E+02	2.5E+02	2.5E+02
KR88	5.8E-06	2.3E+01	1.2E+03	1.2E+03	1.2E+03	1.2E+03	1.2E+03	1.2E+03	1.2E+03	1.2E+03	1.2E+03
XE131M	1.0E-07	4.6E-01	2.0E+02	2.2E+02	2.3E+02	5.0E+02	1.9E+03	2.6E+03	3.6E+03	4.4E+03	5.6E+03
XE133F	1.9E-05	8.4E+01	3.7E+04	4.0E+04	4.1E+04	8.8E+04	2.8E+05	3.4E+05	4.1E+05	4.4E+05	4.6E+05
XE133M	5.7E-07	2.5E+00	9.6E+02	1.0E+03	1.1E+03	2.0E+03	4.3E+03	4.7E+03	4.9E+03	4.9E+03	4.9E+03
XE135F	5.6E-06	2.6E+01	1.2E+04	1.2E+04	1.2E+04	1.9E+04	2.1E+04	2.1E+04	2.1E+04	2.1E+04	2.1E+04
XE135M	3.9E-06	1.0E+01	2.6E+02	2.6E+02	2.8E+02	5.8E+02	6.1E+02	6.1E+02	6.1E+02	6.1E+02	6.1E+02
XE138	1.6E-05	2.4E+01	4.4E+01	4.4E+01	4.4E+01	4.4E+01	4.4E+01	4.4E+01	4.4E+01	4.4E+01	4.4E+01
I131	1.1E-09	4.6E-03	6.9E-01	7.3E-01	7.4E-01	1.4E+00	4.4E+00	5.6E+00	6.9E+00	7.8E+00	8.8E+00
I132F	1.6E-09	5.7E-03	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01
I133F	2.3E-09	9.0E-03	1.0E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.5E+00	2.0E+00	2.0E+00	2.0E+00	2.0E+00	2.0E+00
I134F	2.5E-09	7.5E-03	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02
I135	2.1E-09	8.3E-03	5.3E-01	5.3E-01	5.3E-01	5.7E-01	5.8E-01	5.8E-01	5.8E-01	5.8E-01	5.8E-01
BA140	4.6E-12	1.8E-05	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.9E-03	2.4E-03	2.5E-03	2.7E-03	2.8E-03	2.9E-03
BR82F	4.0E-12	1.6E-05	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.4E-03	1.5E-03	1.5E-03	1.5E-03	1.5E-03	1.5E-03
BR83	1.1E-10	3.7E-04	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03
BR84F	1.8E-10	4.3E-04	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03
CS134F	2.8E-10	1.1E-03	9.9E-02	1.0E-01	1.0E-01	1.2E-01	1.6E-01	1.7E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.3E-01
CS134M	4.8E-11	1.7E-04	4.3E-03	4.3E-03	4.3E-03	4.3E-03	4.3E-03	4.3E-03	4.3E-03	4.3E-03	4.3E-03
CS136F	6.4E-11	2.5E-04	2.2E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.7E-02	3.4E-02	3.5E-02	3.7E-02	3.9E-02	4.0E-02
CS137	1.6E-10	6.5E-04	5.8E-02	5.9E-02	5.9E-02	7.0E-02	9.2E-02	9.9E-02	1.1E-01	1.2E-01	1.3E-01
CS138F	1.8E-09	1.8E-02	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.2E-01
LA140	4.7E-12	1.9E-05	1.7E-03	1.7E-03	1.7E-03	2.0E-03	2.6E-03	2.7E-03	2.8E-03	2.9E-03	3.1E-03
RB86F	2.5E-12	9.9E-06	8.8E-04	8.9E-04	9.0E-04	1.1E-03	1.3E-03	1.4E-03	1.5E-03	1.6E-03	1.7E-03
RB87	3.1E-20	1.2E-13	1.1E-11	1.1E-11	1.1E-11	1.3E-11	1.8E-11	1.9E-11	2.1E-11	2.2E-11	2.6E-11
RB88	5.9E-10	1.5E-02	1.3E+00	1.3E+00	1.3E+00	1.3E+00	1.3E+00	1.3E+00	1.3E+00	1.3E+00	1.3E+00
RB89	7.8E-10	1.1E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03
RU103	4.0E-12	1.6E-05	1.4E-03	1.4E-03	1.5E-03	1.7E-03	2.2E-03	2.4E-03	2.5E-03	2.7E-03	3.0E-03
RU106	1.5E-12	5.9E-06	5.2E-04	5.3E-04	5.4E-04	6.3E-04	8.3E-04	8.9E-04	9.7E-04	1.0E-03	1.2E-03
SR89	2.4E-12	1.0E-05	9.2E-04	9.4E-04	9.4E-04	1.1E-03	1.4E-03	1.5E-03	1.7E-03	1.8E-03	2.0E-03
SR90	2.4E-13	9.4E-07	8.4E-05	8.6E-05	8.6E-05	1.0E-04	1.3E-04	1.4E-04	1.6E-04	1.7E-04	1.9E-04
TE131F	2.3E-12	5.1E-06	3.8E-05	3.8E-05	3.8E-05	4.1E-05	4.2E-05	4.2E-05	4.2E-05	4.2E-05	4.2E-05
TE131M	3.8E-13	1.5E-06	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04
TE132	3.7E-12	1.5E-05	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.4E-03	1.6E-03	1.7E-03	1.7E-03	1.7E-03	1.7E-03
TE133F	2.6E-12	4.3E-06	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05
TE133M	2.7E-12	8.1E-06	6.0E-05	6.0E-05	6.0E-05	6.0E-05	6.0E-05	6.0E-05	6.0E-05	6.0E-05	6.0E-05
TE134	4.7E-12	1.3E-05	6.7E-05	6.7E-05	6.7E-05	6.7E-05	6.7E-05	6.7E-05	6.7E-05	6.7E-05	6.7E-05
Total	5.9E-05	2.0E+02	5.3E+04	5.7E+04	5.9E+04	1.2E+05	3.2E+05	3.9E+05	4.6E+05	5.0E+05	5.4E+05

Total GR	5.9E-05	2.0E+02	5.3E+04	5.7E+04	5.9E+04	1.2E+05	3.2E+05	3.9E+05	4.6E+05	5.0E+05	5.4E+05
Total I	9.6E-09	3.5E-02	2.4E+00	2.5E+00	2.5E+00	3.7E+00	7.1E+00	8.3E+00	9.7E+00	1.1E+01	1.2E+01
Total Aéro	4.0E-09	3.7E-02	1.7E+00	1.7E+00	1.7E+00	1.7E+00	1.8E+00	1.8E+00	1.8E+00	1.8E+00	1.9E+00

TAB-15.3.17 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE PERTE DE RÉFRIGÉRANT PRIMAIRE - PCC— 4

Temps	1h	2h	6h	12h	1j	7j	15j	30j
KR83M	1,1E+01	3,4E+01	1,4E+02	2,1E+02	2,3E+02	2,3E+02	2,3E+02	2,3E+02
KR85F	5,6E+00	1,9E+01	1,2E+02	3,7E+02	9,6E+02	9,6E+03	2,1E+04	4,1E+04
KR85M	2,5E+01	7,6E+01	3,4E+02	6,4E+02	8,4E+02	8,8E+02	8,8E+02	8,8E+02
KR87	3,5E+01	8,8E+01	2,0E+02	2,2E+02	2,2E+02	2,2E+02	2,2E+02	2,2E+02
KR88	5,8E+01	1,7E+02	6,3E+02	9,7E+02	1,1E+03	1,1E+03	1,1E+03	1,1E+03
XE131M	1,2E+00	4,1E+00	2,6E+01	7,8E+01	2,0E+02	2,0E+03	3,8E+03	6,2E+03
XE133F	2,2E+02	7,5E+02	4,8E+03	1,4E+04	3,7E+04	2,7E+05	4,0E+05	4,6E+05
XE133M	6,6E+00	2,2E+01	1,4E+02	4,2E+02	1,1E+03	5,7E+03	6,6E+03	6,6E+03
XE135F	7,1E+01	2,5E+02	1,8E+03	5,4E+03	1,2E+04	2,0E+04	2,0E+04	2,0E+04
XE135M	3,0E+01	8,4E+01	3,3E+02	6,0E+02	7,7E+02	1,1E+03	1,1E+03	1,1E+03
XE138	3,6E+01	4,3E+01	4,4E+01	4,4E+01	4,4E+01	4,4E+01	4,4E+01	4,4E+01
I131	2,0E+01	4,8E+01	1,3E+02	2,0E+02	2,7E+02	5,5E+02	7,2E+02	8,4E+02
I132F	2,3E+01	4,8E+01	8,8E+01	9,7E+01	9,7E+01	9,7E+01	9,7E+01	9,7E+01
I133F	3,9E+01	9,2E+01	2,4E+02	3,5E+02	4,3E+02	5,1E+02	5,2E+02	5,2E+02
I134F	2,8E+01	4,7E+01	6,0E+01	6,0E+01	6,0E+01	6,0E+01	6,0E+01	6,0E+01
I135	3,5E+01	8,0E+01	1,9E+02	2,4E+02	2,7E+02	2,7E+02	2,7E+02	2,7E+02
BA140	2,4E-02	5,3E-02	1,1E-01	1,3E-01	1,4E-01	1,4E-01	1,5E-01	1,5E-01
BR82F	2,1E-02	4,6E-02	9,5E-02	1,1E-01	1,1E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01
BR83	4,7E-01	9,1E-01	1,4E+00	1,5E+00	1,5E+00	1,5E+00	1,5E+00	1,5E+00
BR84F	4,6E-01	6,3E-01	6,8E-01	6,8E-01	6,8E-01	6,8E-01	6,8E-01	6,8E-01
CS134F	1,5E+00	3,3E+00	6,9E+00	8,2E+00	8,5E+00	8,9E+00	9,3E+00	1,0E+01
CS134M	2,2E-01	4,3E-01	7,0E-01	7,4E-01	7,4E-01	7,4E-01	7,4E-01	7,4E-01
CS136F	3,4E-01	7,4E-01	1,6E+00	1,9E+00	1,9E+00	2,0E+00	2,1E+00	2,1E+00
CS137	8,6E-01	1,9E+00	4,0E+00	4,8E+00	4,9E+00	5,2E+00	5,4E+00	5,9E+00
CS138F	1,4E+01	2,3E+01	2,6E+01	2,6E+01	2,6E+01	2,6E+01	2,6E+01	2,6E+01
LA140	2,5E-02	5,5E-02	1,2E-01	1,4E-01	1,4E-01	1,5E-01	1,5E-01	1,6E-01
RB86F	1,3E-02	2,9E-02	6,1E-02	7,3E-02	7,5E-02	7,9E-02	8,1E-02	8,4E-02
RB87	1,7E-10	3,6E-10	7,7E-10	9,2E-10	9,5E-10	1,0E-09	1,0E-09	1,1E-09
RB88	1,2E+01	3,3E+01	8,2E+01	1,0E+02	1,1E+02	1,1E+02	1,1E+02	1,1E+02
RB89	1,0E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00
RU103F	2,1E-02	4,7E-02	9,9E-02	1,2E-01	1,2E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,4E-01
RU106	7,8E-03	1,7E-02	3,6E-02	4,3E-02	4,5E-02	4,7E-02	4,9E-02	5,3E-02
SR89	1,4E-02	3,0E-02	6,4E-02	7,6E-02	7,8E-02	8,2E-02	8,6E-02	9,1E-02
SR90	1,3E-03	2,8E-03	5,9E-03	7,0E-03	7,2E-03	7,6E-03	7,9E-03	8,6E-03
TE131F	5,3E-03	7,2E-03	8,4E-03	8,7E-03	8,8E-03	8,8E-03	8,8E-03	8,8E-03
TE131M	2,0E-03	4,3E-03	8,9E-03	1,0E-02	1,1E-02	1,1E-02	1,1E-02	1,1E-02
TE132	1,9E-02	4,2E-02	8,9E-02	1,0E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01
TE133F	4,2E-03	5,7E-03	6,4E-03	6,4E-03	6,4E-03	6,4E-03	6,4E-03	6,4E-03
TE133M	9,5E-03	1,5E-02	1,9E-02	1,9E-02	1,9E-02	1,9E-02	1,9E-02	1,9E-02
TE134	1,4E-02	2,1E-02	2,4E-02	2,4E-02	2,4E-02	2,4E-02	2,4E-02	2,4E-02
Somme	6,8E+02	1,9E+03	9,4E+03	2,4E+04	5,5E+04	3,2E+05	4,6E+05	5,4E+05
Total GR	5,0E+02	1,5E+03	8,6E+03	2,3E+04	5,4E+04	3,2E+05	4,6E+05	5,4E+05
Total IODES	1,4E+02	3,1E+02	7,1E+02	9,5E+02	1,1E+03	1,5E+03	1,7E+03	1,8E+03
Total autres RN	3,2E+01	6,5E+01	1,2E+02	1,5E+02	1,6E+02	1,6E+02	1,6E+02	1,6E+02

TAB-15.3.18 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE DÉFAILLANCE D'UNE POMPE PRIMAIRE - PCC-4

Temps (h)	0.0E+00	1.0E+00	2.0E+00	3.0E+00	4.0E+00	5.0E+00	6.5E+00	8.0E+00	1.0E+01
Temps (s)	0.0E+00	3.6E+03	7.2E+03	1.1E+04	1.4E+04	1.8E+04	2.3E+04	2.9E+04	3.6E+04
KR83M	0.0E+00	1.1E+02	2.0E+02	2.6E+02	3.0E+02	3.3E+02	3.6E+02	3.7E+02	3.9E+02
KR85F	0.0E+00	6.2E+01	1.3E+02	2.0E+02	2.8E+02	3.5E+02	4.5E+02	5.6E+02	7.0E+02
KR85M	0.0E+00	2.8E+02	5.5E+02	7.8E+02	9.9E+02	1.2E+03	1.4E+03	1.5E+03	1.7E+03
KR87	0.0E+00	4.1E+02	6.9E+02	8.6E+02	9.5E+02	1.0E+03	1.1E+03	1.1E+03	1.1E+03
KR88	0.0E+00	6.5E+02	1.2E+03	1.7E+03	2.1E+03	2.4E+03	2.7E+03	2.9E+03	3.1E+03
XE131M	0.0E+00	1.3E+01	2.9E+01	4.4E+01	5.9E+01	7.5E+01	9.8E+01	1.2E+02	1.5E+02
XE133F	0.0E+00	2.4E+03	5.2E+03	8.1E+03	1.1E+04	1.4E+04	1.8E+04	2.2E+04	2.8E+04
XE133M	0.0E+00	7.3E+01	1.6E+02	2.4E+02	3.2E+02	4.0E+02	5.1E+02	6.3E+02	7.8E+02
XE135F	0.0E+00	8.4E+02	2.0E+03	3.4E+03	5.0E+03	6.7E+03	9.3E+03	1.2E+04	1.6E+04
XE135M	0.0E+00	6.2E+02	1.9E+03	3.6E+03	5.8E+03	8.2E+03	1.2E+04	1.7E+04	2.2E+04
XE138	0.0E+00	5.4E+02	5.8E+02	5.8E+02	5.8E+02	5.8E+02	5.8E+02	5.8E+02	5.8E+02
BA140	0.0E+00	3.5E-03	1.6E-02	3.8E-02	6.8E-02	1.1E-01	1.8E-01	2.8E-01	4.4E-01
BR82F	0.0E+00	3.1E-03	1.4E-02	3.2E-02	5.7E-02	9.0E-02	1.5E-01	2.2E-01	3.4E-01
BR83	0.0E+00	6.7E-02	2.5E-01	4.9E-01	7.5E-01	1.0E+00	1.3E+00	1.6E+00	1.9E+00
BR84F	0.0E+00	5.8E-02	1.3E-01	1.6E-01	1.7E-01	1.8E-01	1.8E-01	1.8E-01	1.8E-01
CS134F	0.0E+00	2.2E-01	9.8E-01	2.3E+00	4.2E+00	6.6E+00	1.1E+01	1.7E+01	2.7E+01
CS134M	0.0E+00	3.1E-02	1.2E-01	2.5E-01	3.8E-01	5.3E-01	7.3E-01	9.1E-01	1.1E+00
CS136F	0.0E+00	5.0E-02	2.2E-01	5.3E-01	9.5E-01	1.5E+00	2.6E+00	3.9E+00	6.1E+00
CS137	0.0E+00	1.3E-01	5.7E-01	1.3E+00	2.4E+00	3.9E+00	6.6E+00	1.0E+01	1.6E+01
CS138F	0.0E+00	7.5E+01	8.5E+01	8.6E+01	8.6E+01	8.6E+01	8.6E+01	8.6E+01	8.6E+01
I131	0.0E+00	7.3E-01	3.3E+00	7.7E+00	1.4E+01	2.2E+01	3.8E+01	5.7E+01	9.0E+01
I132F	0.0E+00	8.3E-01	3.1E+00	6.1E+00	9.2E+00	1.2E+01	1.6E+01	1.9E+01	2.3E+01
I133F	0.0E+00	1.4E+00	6.3E+00	1.5E+01	2.6E+01	4.0E+01	6.6E+01	9.7E+01	1.5E+02
I134F	0.0E+00	9.4E-01	2.7E+00	4.0E+00	4.9E+00	5.5E+00	5.8E+00	6.0E+00	6.1E+00
I135	0.0E+00	1.3E+00	5.4E+00	1.2E+01	2.0E+01	3.0E+01	4.6E+01	6.4E+01	8.8E+01
LA140	0.0E+00	3.6E-03	1.7E-02	3.9E-02	7.0E-02	1.1E-01	1.9E-01	2.9E-01	4.6E-01
RB86F	0.0E+00	1.9E-03	8.8E-03	2.1E-02	3.7E-02	5.9E-02	1.0E-01	1.5E-01	2.4E-01
RB87	0.0E+00	2.4E-11	1.1E-10	2.6E-10	4.7E-10	7.4E-10	1.3E-09	1.9E-09	3.1E-09
RB88	0.0E+00	1.4E+02	2.8E+02	3.9E+02	4.8E+02	5.5E+02	6.2E+02	6.8E+02	7.2E+02
RB89	0.0E+00	1.1E-01	1.5E-01	1.5E-01	1.5E-01	1.5E-01	1.5E-01	1.5E-01	1.5E-01
RU103	0.0E+00	3.1E-03	1.4E-02	3.3E-02	6.0E-02	9.5E-02	1.6E-01	2.5E-01	3.9E-01
RU106	0.0E+00	1.1E-03	5.2E-03	1.2E-02	2.2E-02	3.5E-02	6.0E-02	9.1E-02	1.4E-01
SR89	0.0E+00	2.0E-03	9.1E-03	2.1E-02	3.9E-02	6.2E-02	1.1E-01	1.6E-01	2.5E-01
SR90	0.0E+00	1.8E-04	8.4E-04	2.0E-03	3.6E-03	5.6E-03	9.6E-03	1.5E-02	2.3E-02
TE131F	0.0E+00	6.5E-04	1.4E-03	1.9E-03	2.5E-03	3.1E-03	4.3E-03	5.8E-03	8.1E-03
TE131M	0.0E+00	2.9E-04	1.3E-03	3.0E-03	5.4E-03	8.4E-03	1.4E-02	2.1E-02	3.2E-02
TE132	0.0E+00	2.8E-03	1.3E-02	3.0E-02	5.4E-02	8.5E-02	1.4E-01	2.2E-01	3.4E-01
TE133F	0.0E+00	4.9E-04	1.1E-03	1.5E-03	1.8E-03	2.0E-03	2.2E-03	2.2E-03	2.2E-03
TE133M	0.0E+00	1.3E-03	3.7E-03	5.6E-03	7.0E-03	7.8E-03	8.4E-03	8.7E-03	8.8E-03
TE134	0.0E+00	1.8E-03	4.7E-03	6.5E-03	7.5E-03	8.0E-03	8.3E-03	8.3E-03	8.4E-03
TOTAL	0.0E+00	6.2E+03	1.3E+04	2.0E+04	2.8E+04	3.6E+04	4.8E+04	6.0E+04	7.6E+04

TAB-15.3.19 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHERE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE RUPTURE DE DEUX TUBES DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR

Temps (s)	0	457	717	820	1028	1396	1680	1742	10720	10940	16334	24995
KR85F	0,0E+00	3,8E+02	5,3E+02	5,4E+02	5,8E+02	6,2E+02	6,2E+02	6,2E+02	6,4E+02	8,7E+02	1,0E+03	1,0E+03
KR85M	0,0E+00	6,8E+02	1,0E+03	1,1E+03	1,2E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,8E+03	2,8E+03	3,4E+03	3,4E+03
KR87	0,0E+00	6,5E+02	9,7E+02	1,0E+03	1,2E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,8E+03	1,9E+03	2,0E+03	2,0E+03
KR88	0,0E+00	9,9E+02	1,5E+03	1,6E+03	1,8E+03	2,4E+03	2,4E+03	2,4E+03	2,5E+03	3,7E+03	4,3E+03	4,3E+03
XE131M	0,0E+00	7,9E+01	1,2E+02	1,2E+02	1,4E+02	1,8E+02	1,8E+02	1,8E+02	2,0E+02	3,7E+02	4,6E+02	4,6E+02
XE133F	0,0E+00	1,3E+04	2,0E+04	2,1E+04	2,4E+04	3,1E+04	3,1E+04	3,1E+04	3,4E+04	6,5E+04	8,1E+04	8,1E+04
XE133M	0,0E+00	5,1E+02	7,8E+02	8,2E+02	9,4E+02	1,2E+03	1,2E+03	1,2E+03	1,4E+03	2,6E+03	3,2E+03	3,2E+03
XE135F	0,0E+00	2,8E+03	4,3E+03	4,6E+03	5,3E+03	7,0E+03	7,0E+03	7,0E+03	7,7E+03	1,5E+04	2,0E+04	2,0E+04
XE138	0,0E+00	1,3E+03	1,9E+03	1,9E+03	2,1E+03	2,5E+03	2,5E+03	2,5E+03	2,5E+03	2,5E+03	2,5E+03	2,5E+03
I131	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,1E+00	1,2E+01	3,6E+01	3,6E+01	3,6E+01	3,6E+01	4,1E+01	7,5E+01	7,5E+01
I132F	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,1E+00	8,3E+00	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,5E+01	3,4E+01	3,4E+01
I133F	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,6E+00	2,3E+01	6,5E+01	6,5E+01	6,5E+01	6,6E+01	7,5E+01	1,3E+02	1,3E+02
I134F	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,9E+01	2,7E+00	7,4E+00	7,5E+00	7,5E+00	7,5E+00	7,6E+00	8,2E+00	8,2E+00
I135	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,7E+00	1,5E+01	4,3E+01	4,3E+01	4,3E+01	4,3E+01	4,8E+01	7,7E+01	7,7E+01
CS134F	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	9,2E+01	3,7E+00	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	1,2E+01	2,3E+01	2,3E+01
CS138F	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,0E+00	4,1E+00	1,2E+01	1,2E+01	1,2E+01	1,2E+01	1,4E+01	2,5E+01	2,5E+01
CS137	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,8E-01	2,8E+00	7,9E+00	7,9E+00	7,9E+00	8,0E+00	9,2E+00	1,7E+01	1,7E+01
CS138F	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,1E+00	1,5E+01	4,2E+01	4,2E+01	4,2E+01	5,1E+01	6,9E+01	7,2E+01	7,2E+01
SR89	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	8,1E-02	3,3E-01	9,5E-01	9,5E-01	9,5E-01	9,6E-01	1,1E+00	2,0E+00	2,0E+00
SR90	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,1E-04	2,1E-03	6,0E-03	6,0E-03	6,0E-03	6,1E-03	7,0E-03	1,3E-02	1,3E-02
AG110M	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,7E-02	1,9E-01	5,5E-01	5,5E-01	5,5E-01	5,5E-01	6,3E-01	1,2E+00	1,2E+00
CO58	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,8E-01	1,1E+00	3,3E+00	3,3E+00	3,3E+00	3,3E+00	3,8E+00	6,9E+00	6,9E+00
CO80	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-02	6,3E-02	1,8E-01	1,8E-01	1,8E-01	1,8E-01	2,1E-01	3,9E-01	3,9E-01
CR51	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,6E-01	1,0E+00	3,0E+00	3,0E+00	3,0E+00	3,0E+00	3,5E+00	6,3E+00	6,3E+00
FE59	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	9,6E-03	3,9E-02	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,3E-01	2,4E-01	2,4E-01
MN54	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,8E-02	1,5E-01	4,4E-01	4,4E-01	4,4E-01	4,5E-01	5,2E-01	9,4E-01	9,4E-01
SB122F	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,8E-02	1,2E-01	3,3E-01	3,3E-01	3,3E-01	3,4E-01	3,8E-01	6,9E-01	6,9E-01
SB124F	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,5E-02	6,1E-02	1,8E-01	1,8E-01	1,8E-01	1,8E-01	2,1E-01	3,7E-01	3,7E-01
SB125	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,8E-03	1,1E-02	3,3E-02	3,3E-02	3,3E-02	3,3E-02	3,8E-02	7,0E-02	7,0E-02
somme	0,0E+00	2,1E+04	3,1E+04	3,2E+04	3,7E+04	4,9E+04	4,9E+04	4,9E+04	5,2E+04	9,5E+04	1,2E+05	1,2E+05

Temps (s)	0	457	717	820	1028	1396	1680	1742	10720	10940	16334	24995
XE133F	0,0E+00	1,3E+04	2,0E+04	2,1E+04	2,4E+04	3,1E+04	3,1E+04	3,1E+04	3,4E+04	6,5E+04	8,1E+04	8,1E+04
Total GR	0,0E+00	2,1E+04	3,1E+04	3,2E+04	3,7E+04	4,8E+04	4,8E+04	4,8E+04	5,2E+04	9,5E+04	1,2E+05	1,2E+05
I131	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,1E+00	1,2E+01	3,6E+01	3,6E+01	3,6E+01	3,6E+01	4,1E+01	7,5E+01	7,5E+01
I131 Equ	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+00	2,0E+01	5,7E+01	5,7E+01	5,7E+01	5,8E+01	6,6E+01	1,2E+02	1,2E+02
Total Iode	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+01	6,1E+01	1,7E+02	1,7E+02	1,7E+02	1,8E+02	2,0E+02	3,3E+02	3,3E+02
CS137	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,8E-01	2,8E+00	7,9E+00	7,9E+00	7,9E+00	8,0E+00	9,2E+00	1,7E+01	1,7E+01
Total I + Total Cs	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,1E+01	8,6E+01	2,5E+02	2,5E+02	2,5E+02	2,6E+02	3,0E+02	4,6E+02	4,6E+02
Total Sr	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	8,2E-02	3,3E-01	9,6E-01	9,6E-01	9,6E-01	9,7E-01	1,1E+00	2,0E+00	2,0E+00
Total PC	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,9E-01	2,8E+00	8,1E+00	8,1E+00	8,1E+00	8,2E+00	9,4E+00	1,7E+01	1,7E+01
TOTAL	0,0E+00	2,1E+04	3,1E+04	3,2E+04	3,7E+04	4,9E+04	4,9E+04	4,9E+04	5,2E+04	9,5E+04	1,2E+05	1,2E+05

TAB-15.3.20 ACTIVITÉ DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE – ACTIVITÉS INITIALES EN PRODUIT DE FISSION

Assemblage le plus pénalisant en Bq	
	Assemblage UOX 4.2 % + 12 Gd t = 60 h
Kr 83M	4,31E+08
Kr 85F	2,91E+14
Kr 85M	7,74E+11
Kr 87	9,77E+01
Kr 88	9,26E+09
Xe 131M	2,91E+14
Xe 133F	4,70E+16
Xe 133M	1,10E+15
Xe 135F	1,36E+15
Xe 135M	1,58E+13
Xe 138	négligeable
I 131	2,24E+16
I 132F	2,32E+16
I 133F	7,82E+15
I 134F	6,50E-04
I 135	9,79E+13
Ba 140	4,29E+16
Br 82F	2,84E+13
Br 83	1,01E+08
Br 84F	5,26E-19
Cs 134F	6,79E+15

Assemblage le plus pénalisant en Bq

	Assemblage UOX 4.2 % + 12 Gd t = 60 h
Cs 134M	6,56E+08
Cs 136F	1,42E+15
Cs 137	3,52E+15
Cs 138F	2,04E-17
La 140	4,70E+16
Rb 86F	5,21E+13
Rb 87	6,54E+05
Rb 88	1,03E+10
Rb 89	négligeable
Ru 103F	3,61E+16
Ru 106	1,45E+16
Sr 89	2,87E+16
Sr 90	2,23E+15
Te 131F	2,14E+14
Te 131M	9,50E+14
Te 132	2,25E+16
Te 133F	1,80E-04
Te 133M	7,96E-04
Te 134	6,28E-10

TAB-15.3.21 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHERE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE – CAS 1

Temps (en heures)	0.00	0.08	5.00	10.00	24.00	120	168	240	360	720
Temps (en jours)	0.00	0.00	0.21	0.42	1.00	5	7	10	15	30

XE131M	0.0E+00	4.0E+01	2.2E+04	2.3E+04	2.4E+04	2.7E+04	2.8E+04	2.9E+04	3.0E+04	3.2E+04
XE133F	0.0E+00	6.5E+03	3.5E+06	3.7E+06	3.8E+06	3.8E+06	3.8E+06	3.8E+06	3.8E+06	3.8E+06
XE133M	0.0E+00	1.5E+02	8.2E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04
XE135F	0.0E+00	1.9E+02	9.4E+04	9.9E+04	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05
XE135M	0.0E+00	2.2E+00	2.4E+03	3.8E+03	5.4E+03	5.8E+03	5.8E+03	5.8E+03	5.8E+03	5.8E+03
XE138	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
KR83M	0.0E+00	5.9E-05	2.0E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02
KR85F	0.0E+00	1.3E+02	6.9E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04
KR85M	0.0E+00	1.1E-01	4.7E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01
KR87	0.0E+00	1.3E-11	3.9E-09	3.9E-09	3.9E-09	3.9E-09	3.9E-09	3.9E-09	3.9E-09	3.9E-09
KR88	0.0E+00	1.3E-03	5.1E-01	5.2E-01	5.2E-01	5.2E-01	5.2E-01	5.2E-01	5.2E-01	5.2E-01
I131	0.0E+00	6.2E+00	9.5E+00	9.7E+00	9.8E+00	9.9E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01
I132F	0.0E+00	6.3E+00	8.7E+00	8.7E+00	8.7E+00	8.7E+00	8.7E+00	8.7E+00	8.7E+00	8.7E+00
I133F	0.0E+00	2.2E+00	3.3E+00	3.3E+00	3.3E+00	3.4E+00	3.4E+00	3.4E+00	3.4E+00	3.4E+00
I134F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
I135	0.0E+00	2.7E-02	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02
CS134F	0.0E+00	1.9E+00	2.9E+00	3.0E+00	3.0E+00	3.0E+00	3.0E+00	3.0E+00	3.0E+00	3.0E+00
CS134M	0.0E+00	1.8E-07	2.5E-07	2.5E-07	2.5E-07	2.5E-07	2.5E-07	2.5E-07	2.5E-07	2.5E-07
CS136F	0.0E+00	3.9E-01	6.1E-01	6.2E-01	6.2E-01	6.2E-01	6.2E-01	6.2E-01	6.2E-01	6.2E-01
CS137	0.0E+00	9.7E-01	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00
CS138F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
BA140	0.0E+00	1.5E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02
BR82F	0.0E+00	7.8E-03	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02
BR83	0.0E+00	2.8E-08	3.8E-08	3.8E-08	3.8E-08	3.8E-08	3.8E-08	3.8E-08	3.8E-08	3.8E-08
BR84F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LA140	0.0E+00	1.6E-02	2.5E-02	2.6E-02	2.6E-02	2.6E-02	2.6E-02	2.6E-02	2.6E-02	2.6E-02
RB86F	0.0E+00	1.4E-02	2.2E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02
RB87	0.0E+00	1.8E-10	2.8E-10	2.8E-10	2.9E-10	2.9E-10	2.9E-10	2.9E-10	2.9E-10	2.9E-10
RB88	0.0E+00	1.2E-04	5.5E-04	5.5E-04	5.5E-04	5.5E-04	5.5E-04	5.5E-04	5.5E-04	5.5E-04
RB89	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
RU103	0.0E+00	1.2E-02	1.9E-02	2.0E-02	2.0E-02	2.0E-02	2.0E-02	2.0E-02	2.0E-02	2.0E-02
RU106	0.0E+00	5.0E-03	7.8E-03	7.9E-03	7.9E-03	7.9E-03	7.9E-03	7.9E-03	7.9E-03	7.9E-03
SR89	0.0E+00	9.9E-03	1.5E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.6E-02
SR90	0.0E+00	7.7E-04	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03
TE131F	0.0E+00	7.3E-05	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04
TE131M	0.0E+00	3.3E-04	5.0E-04	5.1E-04	5.1E-04	5.1E-04	5.1E-04	5.1E-04	5.1E-04	5.1E-04
TE132	0.0E+00	7.8E-03	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02
TE133F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
TE133M	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
TE134	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Total	0.0E+00	7.0E+03	3.8E+06	4.0E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06

Total GR	0.0E+00	7.0E+03	3.8E+06	4.0E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06
Total I	0.0E+00	1.5E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01
Total Autres	0.0E+00	3.3E+00	5.2E+00	5.3E+00	5.3E+00	5.3E+00	5.3E+00	5.3E+00	5.3E+00	5.3E+00

TAB-15.3.22 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE – CAS 2

Temps (en heures)	0.00	0.08	5.00	10.00	24.00	120	168	240	360	720
Temps (en jours)	0.00	0.00	0.21	0.42	1.00	5	7	10	15	30

XE131M	0.0E+00	1.2E+03	2.2E+04	2.3E+04	2.4E+04	2.7E+04	2.8E+04	2.9E+04	3.0E+04	3.2E+04
XE133F	0.0E+00	1.9E+05	3.6E+06	3.7E+06	3.8E+06	3.8E+06	3.8E+06	3.8E+06	3.8E+06	3.8E+06
XE133M	0.0E+00	4.4E+03	8.2E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04
XE135F	0.0E+00	5.3E+03	9.5E+04	9.9E+04	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05
XE135M	0.0E+00	6.2E+01	2.4E+03	3.8E+03	5.4E+03	5.9E+03	5.9E+03	5.9E+03	5.9E+03	5.9E+03
XE138	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
KR83M	0.0E+00	1.7E-03	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02	2.1E-02
KR85F	0.0E+00	3.6E+03	6.9E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04	7.3E+04
KR85M	0.0E+00	3.0E+00	4.8E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01
KR87	0.0E+00	3.8E-10	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09
KR88	0.0E+00	3.6E-02	5.2E-01	5.3E-01	5.3E-01	5.3E-01	5.3E-01	5.3E-01	5.3E-01	5.3E-01
I131	0.0E+00	1.8E-01	3.4E+00	3.6E+00	3.6E+00	3.7E+00	3.8E+00	3.9E+00	3.9E+00	4.0E+00
I132F	0.0E+00	1.8E-01	2.4E+00	2.5E+00	2.5E+00	2.5E+00	2.5E+00	2.5E+00	2.5E+00	2.5E+00
I133F	0.0E+00	6.2E-02	1.1E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00
I134F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
I135	0.0E+00	7.7E-04	1.3E-02	1.3E-02	1.3E-02	1.3E-02	1.3E-02	1.3E-02	1.3E-02	1.3E-02
CS134F	0.0E+00	5.4E-02	1.0E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00
CS134M	0.0E+00	5.1E-09	7.4E-08	7.5E-08	7.5E-08	7.5E-08	7.5E-08	7.5E-08	7.5E-08	7.5E-08
CS136F	0.0E+00	1.1E-02	2.2E-01	2.3E-01	2.3E-01	2.3E-01	2.3E-01	2.3E-01	2.3E-01	2.3E-01
CS137	0.0E+00	2.8E-02	5.4E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01
CS138F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
BA140	0.0E+00	4.2E-04	8.1E-03	8.5E-03	8.6E-03	8.6E-03	8.6E-03	8.6E-03	8.6E-03	8.6E-03
BR82F	0.0E+00	2.2E-04	4.2E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03
BR83	0.0E+00	7.9E-10	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08
BR84F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
LA140	0.0E+00	4.6E-04	8.9E-03	9.4E-03	9.4E-03	9.4E-03	9.4E-03	9.4E-03	9.4E-03	9.4E-03
RB86F	0.0E+00	4.1E-04	7.9E-03	8.3E-03	8.3E-03	8.3E-03	8.3E-03	8.3E-03	8.3E-03	8.3E-03
RB87	0.0E+00	5.2E-12	9.9E-11	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10
RB88	0.0E+00	3.3E-06	4.1E-04	4.2E-04	4.2E-04	4.2E-04	4.2E-04	4.2E-04	4.2E-04	4.2E-04
RB89	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
RU103	0.0E+00	3.6E-04	6.8E-03	7.2E-03	7.2E-03	7.2E-03	7.2E-03	7.2E-03	7.2E-03	7.2E-03
RU106	0.0E+00	1.4E-04	2.8E-03	2.9E-03	2.9E-03	2.9E-03	2.9E-03	2.9E-03	2.9E-03	2.9E-03
SR89	0.0E+00	2.8E-04	5.5E-03	5.7E-03	5.7E-03	5.7E-03	5.7E-03	5.7E-03	5.7E-03	5.7E-03
SR90	0.0E+00	2.2E-05	4.2E-04	4.4E-04	4.5E-04	4.5E-04	4.5E-04	4.5E-04	4.5E-04	4.5E-04
TE131F	0.0E+00	2.1E-06	3.8E-05	4.0E-05	4.0E-05	4.0E-05	4.0E-05	4.0E-05	4.0E-05	4.0E-05
TE131M	0.0E+00	9.4E-06	1.7E-04	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-04
TE132	0.0E+00	2.2E-04	4.2E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03	4.4E-03
TE133F	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
TE133M	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
TE134	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Total	0.0E+00	2.0E+05	3.8E+06	4.0E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06

Total GR	0.0E+00	2.0E+05	3.8E+06	4.0E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06	4.1E+06
Total I	0.0E+00	4.2E-01	7.0E+00	7.2E+00	7.3E+00	7.4E+00	7.5E+00	7.6E+00	7.6E+00	7.7E+00
Total Autres	0.0E+00	9.5E-02	1.8E+00	1.9E+00	1.9E+00	1.9E+00	1.9E+00	1.9E+00	1.9E+00	1.9E+00

TAB-15.3.23 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE BRÈCHE ISOLABLE SUR LES SYSTÈMES RIS EN MODE RA (\leq DN 250) À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE (ÉTATS C, D)

Temps (s)	0	36000	72000	122400	172800	604800	864000	1728100	2592000
Temps (h)	0	10	20	34	48	168	240	480	720
Temps (j)	0	0.4	0.8	1	2	7	10	20	30
KR85F	0.0E+00	3.6E+01	3.6E+01	3.6E+01	3.6E+01	3.6E+01	3.6E+01	3.6E+01	3.6E+01
KR85M	0.0E+00	6.9E+01	6.9E+01	6.9E+01	6.9E+01	6.9E+01	6.9E+01	6.9E+01	6.9E+01
KR87	0.0E+00	2.4E+00	2.4E+00	2.4E+00	2.4E+00	2.4E+00	2.4E+00	2.4E+00	2.4E+00
KR88	0.0E+00	4.7E+01	4.7E+01	4.7E+01	4.7E+01	4.7E+01	4.7E+01	4.7E+01	4.7E+01
XE131M	0.0E+00	2.5E+01	2.5E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.7E+01	2.8E+01	2.9E+01	3.0E+01
XE133F	0.0E+00	4.5E+03	4.5E+03	4.6E+03	4.6E+03	4.7E+03	4.7E+03	4.7E+03	4.7E+03
XE133M	0.0E+00	1.7E+02	1.7E+02	1.7E+02	1.7E+02	1.7E+02	1.7E+02	1.7E+02	1.7E+02
XE135F	0.0E+00	8.5E+02	1.0E+03	1.1E+03	1.1E+03	1.1E+03	1.1E+03	1.1E+03	1.1E+03
XE138	0.0E+00	7.5E-09	7.5E-09	7.5E-09	7.5E-09	7.5E-09	7.5E-09	7.5E-09	7.5E-09
I131	0.0E+00	9.1E+00	1.1E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01
I132F	0.0E+00	5.3E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01	5.6E-01
I133F	0.0E+00	1.3E+01	1.6E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01
I134F	0.0E+00	3.0E-03	3.1E-03	3.1E-03	3.1E-03	3.1E-03	3.1E-03	3.1E-03	3.1E-03
I135	0.0E+00	4.8E+00	5.4E+00	5.7E+00	5.7E+00	5.7E+00	5.7E+00	5.7E+00	5.7E+00
CS134F	0.0E+00	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01
CS136F	0.0E+00	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01
CS137	0.0E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01
CS138F	0.0E+00	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03
SR89	0.0E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00	1.2E+00
SR90	0.0E+00	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03	7.7E-03
AG110M	0.0E+00	1.7E-01	1.7E-01	1.7E-01	1.7E-01	1.7E-01	1.7E-01	1.7E-01	1.7E-01
CO58	0.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
CO60	0.0E+00	5.7E-02	5.7E-02	5.7E-02	5.7E-02	5.7E-02	5.7E-02	5.7E-02	5.7E-02
CR51	0.0E+00	9.3E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.3E-01
FE59	0.0E+00	3.5E-02	3.5E-02	3.5E-02	3.5E-02	3.5E-02	3.5E-02	3.5E-02	3.5E-02
MN54	0.0E+00	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01
SB122F	0.0E+00	9.5E-02	9.5E-02	9.5E-02	9.5E-02	9.5E-02	9.5E-02	9.5E-02	9.5E-02
SB124F	0.0E+00	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02	5.5E-02
SB125	0.0E+00	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02
somme	0.0E+00	5.7E+03	6.0E+03	6.1E+03	6.2E+03	6.3E+03	6.3E+03	6.3E+03	6.3E+03

TAB-15.3.24 ACTIVITÉ REJETÉE À L'ATMOSPHÈRE (EN GBQ) SUITE À UN ACCIDENT DE DÉFAILLANCE MULTIPLE DES SYSTÈMES DANS LE BAN & BTE SOUS SÉISME

Temps (s)	1	1800	3600	7200	86400	432000	604800	1296000	2592000
Temps (h)	0	0,5	1	2	24	120	168	360	720
Temps (j)	0,00	0,02	0,04	0,08	1,0	5	7	15	30
KR85F	1,6E+01	1,8E+04	2,5E+04	2,9E+04	3,0E+04	3,0E+04	3,0E+04	3,0E+04	3,0E+04
KR85M	2,2E+00	2,7E+03	4,0E+03	5,9E+03	1,0E+04	1,0E+04	1,0E+04	1,0E+04	1,0E+04
KR87	1,0E+00	1,3E+03	2,2E+03	3,6E+03	5,4E+03	5,4E+03	5,4E+03	5,4E+03	5,4E+03
KR88	3,4E+00	4,1E+03	6,2E+03	8,9E+03	1,4E+04	1,4E+04	1,4E+04	1,4E+04	1,4E+04
XE131M	2,8E+00	3,2E+03	4,5E+03	5,2E+03	6,1E+03	6,1E+03	6,2E+03	6,2E+03	6,3E+03
XE133F	3,2E+02	3,7E+05	5,1E+05	6,0E+05	7,6E+05	7,6E+05	7,6E+05	7,6E+05	7,6E+05
XE133M	7,2E+00	8,3E+03	1,2E+04	1,4E+04	2,0E+04	2,0E+04	2,0E+04	2,0E+04	2,0E+04
XE135F	2,4E+01	2,8E+04	4,1E+04	5,2E+04	9,8E+04	1,0E+05	1,0E+05	1,0E+05	1,0E+05
XE138	5,8E-01	1,0E+03	2,0E+03	3,8E+03	4,1E+03	4,1E+03	4,1E+03	4,1E+03	4,1E+03
I131	4,9E-02	1,1E+00	4,6E+00	2,0E+01	3,7E+02	8,0E+02	9,6E+02	1,4E+03	1,5E+03
I132F	1,4E-06	1,0E+00	4,0E+00	1,4E+01	5,9E+01	5,9E+01	5,9E+01	5,9E+01	5,9E+01
I133F	6,1E-06	1,7E+00	8,0E+00	3,6E+01	5,4E+02	6,8E+02	6,9E+02	6,9E+02	6,9E+02
I134F	3,0E-07	4,1E-01	1,5E+00	4,8E+00	9,6E+00	9,6E+00	9,6E+00	9,6E+00	9,6E+00
I135	2,6E-06	1,2E+00	5,4E+00	2,3E+01	2,2E+02	2,3E+02	2,3E+02	2,3E+02	2,3E+02
CS134F	1,9E-02	5,8E-01	1,5E+00	5,3E+00	7,7E+01	7,7E+01	7,7E+01	7,7E+01	7,7E+01
CS136F	1,3E-04	3,3E-01	1,2E+00	5,2E+00	8,3E+01	8,3E+01	8,3E+01	8,3E+01	8,3E+01
CS137	1,3E-02	4,2E-01	1,1E+00	3,9E+00	5,7E+01	5,7E+01	5,7E+01	5,7E+01	5,7E+01
CS138F	3,9E-03	2,1E+02	5,8E+02	1,3E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03	1,6E+03
SR89	1,9E-06	1,3E-02	7,3E-02	3,9E-01	6,7E+00	6,7E+00	6,7E+00	6,7E+00	6,7E+00
SR90	1,2E-08	8,5E-05	4,6E-04	2,4E-03	4,3E-02	4,3E-02	4,3E-02	4,3E-02	4,3E-02
AG110M	6,8E-01	8,0E-01	8,9E-01	1,1E+00	4,7E+00	4,7E+00	4,7E+00	4,7E+00	4,7E+00
CO58	7,4E-01	8,4E-01	1,1E+00	2,2E+00	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01	2,4E+01
CO60	2,8E-01	2,9E-01	3,2E-01	3,8E-01	1,6E+00	1,6E+00	1,6E+00	1,6E+00	1,6E+00
CR51	1,7E-01	2,6E-01	4,8E-01	1,5E+00	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01
FE59	4,9E-03	9,5E-03	2,0E-02	6,0E-02	8,1E-01	8,1E-01	8,1E-01	8,1E-01	8,1E-01
MN54	1,1E-01	1,2E-01	1,6E-01	3,1E-01	3,3E+00	3,3E+00	3,3E+00	3,3E+00	3,3E+00
SB122F	9,4E-04	8,3E-03	3,3E-02	1,5E-01	2,2E+00	2,2E+00	2,2E+00	2,2E+00	2,2E+00
SB124F	1,9E-02	2,5E-02	4,1E-02	1,0E-01	1,3E+00	1,3E+00	1,3E+00	1,3E+00	1,3E+00
SB125	7,6E-07	3,7E-03	1,0E-02	2,5E-02	2,4E-01	2,4E-01	2,4E-01	2,4E-01	2,4E-01
somme	3,8E+02	4,3E+05	6,1E+05	7,3E+05	9,5E+05	9,6E+05	9,6E+05	9,6E+05	9,6E+05

TAB-15.3.25 FACTEURS CORRECTIFS

Kr 83M	3,9E+00
Kr 85	1,6E+00
Kr 85M	3,9E+00
Kr 87	4,0E+00
Kr 88	4,0E+00
Xe 131M	3,7E+00
Xe 133	3,7E+00
Xe 133M	3,7E+00
Xe 135	3,6E+00
Xe 135M	3,7E+00
Xe 138	3,8E+00
I 131	3,7E+00
I 132	3,7E+00
I 133	3,7E+00
I 134	3,7E+00
I 135	3,7E+00
Ba 140	1,0E+02
Br 82	3,2E+00
Br 83	3,9E+00
Br 84	3,9E+00
Cs 134	2,6E+00
Cs 134M	3,0E+00
Cs 136	2,9E+00
Cs 137	2,8E+00
Cs 138	3,5E+00
La 140	5,1E+01



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 3

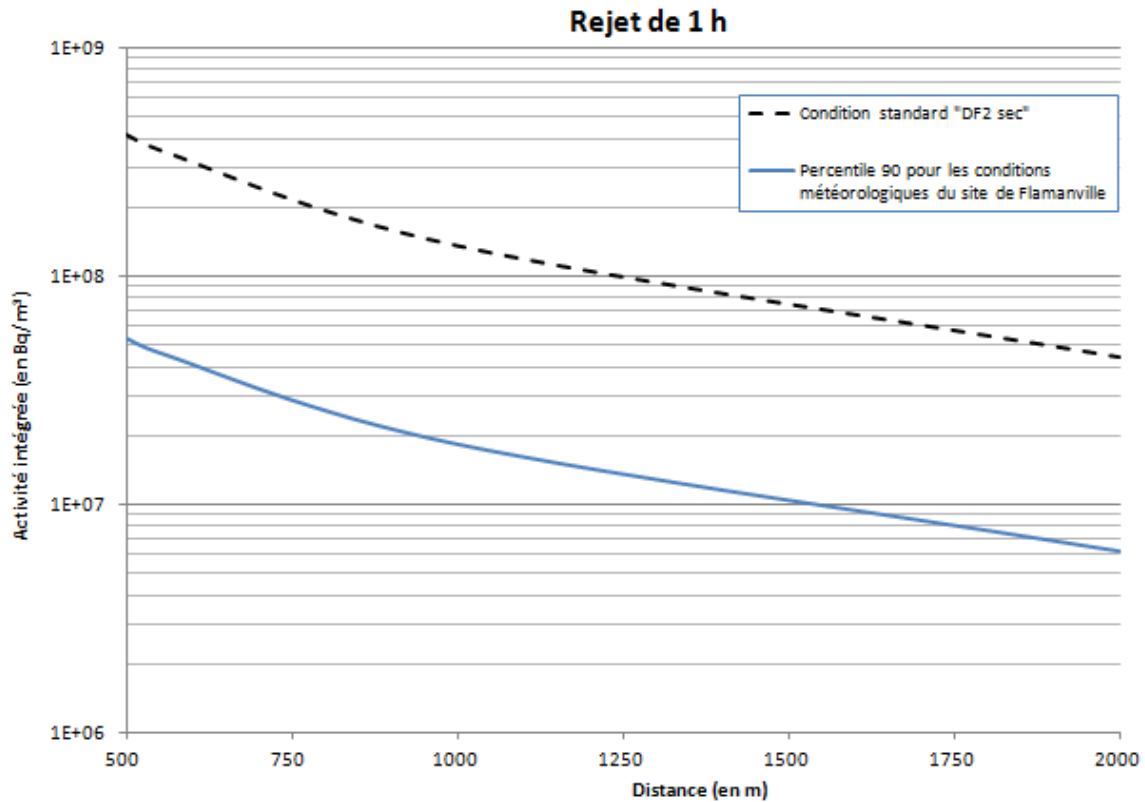
PAGE 120/121

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Rb 86	3,0E+00
Rb 87	2,8E+00
Rb 88	3,7E+00
Rb 89	3,7E+00
Ru 103	5,1E+01
Ru 106	5,1E+01
Sr 89	1,1E+01
Sr 90	1,1E+01
Te 131F	9,0E+02
Te 131M	9,0E+02
Te 132	9,0E+02
Te 133	9,0E+02
Te 133M	9,0E+02
Te 134	9,0E+02

**FIG-15.3.1 COMPARAISON DES ACTIVITÉS VOLUMIQUES
INTÉGRÉES CORRESPONDANT À LA CONDITION
MÉTÉOROLOGIQUE STANDARD « DF2 SEC » D'UNE PART ET AU
PERCENTILE 90 POUR LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES
AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE D'AUTRE PART**



SOMMAIRE

.15.4 DEMONSTRATION DE SURETE DE LA RECHARGE	3
1. ETUDES GENERIQUES ET SPECIFIQUES	3
1.1. ETUDES GÉNÉRIQUES D'ACCIDENTS	3
1.2. ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ RÉALISÉE POUR CHAQUE RECHARGE	3
2. DEMARCHE D'IDENTIFICATION DES PARAMETRES CLES	4
2.1. DEMARCHE GENERALE	4
2.2. ETAPE 1 : IDENTIFICATION DES PARAMETRES ELIGIBLES	4
2.3. ETAPE 2 : IDENTIFICATION DES PARAMETRES CLES	4
2.4. APPLICATION A LA GESTION EPR	5
3. LISTE DES PARAMETRES CLES ET DES VALEURS LIMITES	5
4. DEMONSTRATION DE SURETE EFFECTIVE	5
4.1. COMPATIBILITE AVEC LES HYPOTHESES DU RDS	5
4.2. MISE EN OEUVRE DE LA DEMARCHE	6
4.3. DOCUMENT SPECIFIQUE D'EVALUATION DE SURETE DE CHAQUE RECHARGE	6
4.4. VERIFICATION PAR LA MESURE	7
LISTE DES REFERENCES	8



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 4

PAGE 2/12

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TABLEAUX :

TAB-15.4.1 LISTE DES ACCIDENTS VERIFIES EN RECHARGE..... 9

**TAB-15.4.2 PARAMETRES CLES GENERAUX ET SPECIFIQUES DES ETUDES
PCC 10**

FIGURES :

FIG-15.4.1 DÉMARCHE D'IDENTIFICATION DES PARAMÈTRES CLÉS 12

.15.4 DEMONSTRATION DE SURETE DE LA RECHARGE

L'objet de ce chapitre est de présenter l'organisation de la démonstration de sûreté de cœurs exploités selon une gestion combustible donnée. Celle-ci repose sur une articulation précise entre des études génériques d'accidents (voir section 15.2) et des vérifications de sûreté spécifiques effectuées avant toute nouvelle campagne.

1. ETUDES GENERIQUES ET SPECIFIQUES

1.1. ETUDES GÉNÉRIQUES D'ACCIDENTS

Pour la réalisation des études d'accidents génériques, il est nécessaire de disposer d'une représentation des plans de chargement correspondant à l'exploitation des réacteurs selon la gestion concernée. Il s'agit de la « gestion prévisionnelle » du combustible.

La gestion prévisionnelle EPR FA3 intègre huit cycles de transition et deux cycles à l'équilibre avec prolongation de cycle de 70 JEPP et sans prolongation de cycle, et un cycle anticipé de 30 JEPP.

Par ailleurs, des provisions dites « pour aléa de gestion » sont retenues sur certaines données d'entrée des études d'accidents. En complément des conservatismes (et notamment des découplages entre cycles) introduits dans les calculs, ces provisions permettent d'élargir le domaine physique couvert par la démonstration de sûreté afin d'assurer un champ d'application adapté aux besoins de l'exploitation.

Pour la première gestion EPR FA3, ce domaine étendu couvre une variabilité de moins quatre assemblages combustibles UO₂ par rapport à la recharge neuve nominale et une anticipation jusqu'à 40 JEPP [Réf \[1\]](#). Cette variabilité est explicitement intégrée au présent RDS par des cycles couverts par les études génériques.

Méthodes d'études d'accidents

L'étude d'un accident comporte usuellement trois étapes principales :

- étape 1 : calcul des données neutroniques,
Cette étape consiste à calculer les Données Neutroniques Générales (DNG), communes à plusieurs accidents, et les Données Neutroniques Spécifiques (DNS), relatives à un accident en particulier.
- étape 2 : simulation du transitoire accidentel
La simulation d'un transitoire cœur et/ou chaudière fournit les évolutions des grandeurs physiques en situation accidentelle tant vis-à-vis des paramètres neutroniques et thermohydrauliques que des distributions de puissance.
- étape 3 vérification du (des) critère(s) d'étude concerné(s).

Les paramètres associés à un critère d'étude ou à un critère de découplage (réactivité, RFTC, températures pastille/gaine, etc.) sont calculés à partir des grandeurs issues de l'étape précédente. Les marges aux critères peuvent alors être quantifiées.

1.2. ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ RÉALISÉE POUR CHAQUE RECHARGE

Pour tenir compte des spécificités de chaque cœur, une évaluation de sûreté est effectuée avant toute nouvelle campagne. Elle repose sur une démarche simplifiée, essentiellement par comparaison avec les études génériques et en utilisant des méthodes cohérentes avec ces dernières. Elle consiste à vérifier :

- dans une 1^{ère} phase : que les conclusions des études de conception sont directement applicables,
- à défaut, dans une 2^{ème} phase : que la sûreté reste démontrée *via* la réalisation d'une analyse complémentaire spécifique.

1ère phase :

La démarche suivie pour démontrer la sûreté de la recharge consiste à vérifier que, pour la prochaine campagne, un ensemble de paramètres physiques, identifiés au préalable à partir des études génériques, respecte les limites issues de ces études génériques. Ce faisant, ces études et leurs conclusions sont applicables à la recharge étudiée. Cette approche est dite *approche par paramètres clés*.

La liste nécessaire et suffisante de ces paramètres et les valeurs limites associées sont présentées dans le [§ 3.](#)

2nde phase :

Le non-respect éventuel de la valeur limite associée à un paramètre clé, voire d'une hypothèse d'étude, impose une évaluation complémentaire pour apporter la preuve du respect des exigences de sûreté pour ce cœur particulier.

Cette évaluation peut prendre différentes formes, allant d'une analyse simple jusqu'à la reprise complète de l'étude d'un incident ou accident. Si nécessaire, elle peut conduire à une modification temporaire des Spécifications Techniques d'Exploitation (STE).

2. DEMARCHE D'IDENTIFICATION DES PARAMETRES CLES**2.1. DEMARCHE GENERALE**

La démarche retenue consiste à examiner les données d'entrée des études d'accidents et à appliquer différents filtres pour déterminer la liste nécessaire et suffisante des paramètres qui doivent être retenus comme paramètres clés (voir [FIG-15.4.1](#)).

2.2. ETAPE 1 : IDENTIFICATION DES PARAMETRES ELIGIBLES

La première étape consiste à déterminer les paramètres éligibles à une vérification en recharge. Pour chaque accident, la liste des paramètres servant de données d'entrée aux études de conception est étudiée selon les critères suivants :

- **Critère 1 : dépendance à la composition du cœur** (plan de chargement et/ou inventaire en combustible)
Le critère 1 permet d'éliminer les paramètres qui ne dépendent pas du plan de chargement ni de l'inventaire combustible précis.
- **Critère 2 : influence du paramètre**
Le critère 2 permet d'éliminer les paramètres neutroniques n'ayant pas de poids effectif (également appelés paramètres non dominants) sur les grandeurs en sortie des études d'accidents qui font l'objet de la vérification d'un critère d'étude.
- **Critère 3 : monotonie du paramètre**
Si l'évolution de la marge au critère d'étude en fonction de la valeur du paramètre passe par un minimum, celui-ci est retenu lors de l'étude générique. Par conséquent, une variation plus large du paramètre d'entrée n'aura pas d'impact sur la marge minimale en sortie du transitoire.

Un paramètre répondant à ces trois critères est un paramètre éligible, c'est-à-dire un paramètre candidat à la vérification en recharge.

Ainsi les paramètres éligibles dépendent uniquement de la sensibilité des résultats des études à la valeur des données cœur en entrée.

2.3. ETAPE 2 : IDENTIFICATION DES PARAMETRES CLES

La deuxième étape consiste à confronter les résultats des calculs de sensibilité aux provisions introduites sur les paramètres d'entrée et aux marges constatées par rapport aux critères d'étude :

- Critère 4 : ampleur des provisions

Les provisions introduites sur un paramètre sont parfois suffisamment importantes pour exclure qu'un plan d'exploitation conduise à dépasser la valeur retenue sur ce paramètre dans les études génériques. Dans un tel cas de figure, il n'est pas nécessaire de vérifier le respect de cette valeur limite à chaque recharge.

- Critère 5 : ampleur de la marge aux critères d'étude

Dans le cas où la marge au critère d'étude est importante, au regard de l'impact sur celle-ci de la variation potentielle du paramètre, toute remise en cause de critère d'étude peut être exclue.

Si les paramètres éligibles ne sont pas éliminés sur ces deux critères, ils deviennent des paramètres clés à vérifier pour chaque recharge.

2.4. APPLICATION A LA GESTION EPR

Cette démarche d'identification des paramètres clés est réalisée pour la gestion dans la note (cf. [Réf \[1\]](#)).

3. LISTE DES PARAMETRES CLES ET DES VALEURS LIMITES

Les paramètres clés peuvent être classés en deux catégories principales :

- Les paramètres clés généraux

Les paramètres clés généraux regroupent les données d'entrées des études de conception neutronique (voir section 4.3.), thermohydraulique (voir section 4.4), et thermomécanique (voir section 4.2) et les données neutroniques utilisées comme hypothèses d'entrée communes à plusieurs accidents. Ces paramètres constituent des données dites générales pour l'ensemble des études d'accident.

Certains accidents, notamment ceux pour lesquels la distribution de puissance varie peu, sont entièrement caractérisés par ces paramètres clés généraux. Le respect de leurs valeurs limites suffit donc à garantir l'applicabilité de l'étude générique. La liste des accidents dont la vérification dépend uniquement des paramètres clés généraux est présentée dans le tableau (voir [TAB-15.4.1](#)).

- Les paramètres clés spécifiques

Ces paramètres sont associés aux transitoires incidentels ou accidentels durant lesquels la distribution de puissance évolue sensiblement. Pour ceux-ci le respect des paramètres clés généraux est nécessaire mais pas suffisant pour assurer le caractère enveloppe de l'étude générique ou le respect des critères d'étude.

C'est pourquoi à chaque accident de ce type sont associés un ou plusieurs paramètres clés, dont les conditions de calcul et les valeurs limites sont spécifiques à ce transitoire accidentel. La liste des accidents dont la vérification nécessite le calcul de paramètres clés spécifiques est présentée dans le tableau (voir [TAB-15.4.1](#)).

Les paramètres clés généraux et spécifiques sont présentés de manière synthétique dans le tableau (voir [TAB-15.4.2](#)).

4. DEMONSTRATION DE SURETE EFFECTIVE

La démonstration de la sûreté de chaque recharge consiste à mettre en œuvre la démarche exposée aux paragraphes précédents. Elle se traduit par les étapes décrites ci-après.

4.1. COMPATIBILITE AVEC LES HYPOTHESES DU RDS

Le Rapport de Sûreté est associé à un domaine de validité couvrant notamment :

- Un domaine combustible, incluant les différentes technologies couvertes par le RDS (combustible de référence et autres conceptions) ;

- Un mode de gestion du combustible (gestion prévisionnelle et variabilité de la recharge neuve définie dans le RDS) ;
- Un mode d'exploitation du réacteur (mode de pilotage, suivi de réseau, fonctionnement prolongé à puissance réduite, etc.) ;
- Des hypothèses sur les caractéristiques des matériels.

Lors de l'évaluation de sûreté effectuée pour chaque recharge, l'appartenance à ce domaine est vérifiée, en intégrant les caractéristiques réelles du réacteur, du plan de chargement et des assemblages de combustible, ainsi que toute évolution affectant la démonstration.

4.2. MISE EN OEUVRE DE LA DEMARCHE

La démarche de vérification (voir [§ 1.2.](#)) est alors mise en œuvre, sur la base de la liste de paramètres clés (voir [§ 3.](#)).

Chaque paramètre est calculé avec des méthodes cohérentes avec celles utilisées dans les études génériques. Les conditions de calcul de l'ensemble des paramètres clés sont décrites dans la note [Réf \[2\]](#). Par ailleurs, les irradiations des assemblages varient par rapport à celles de la gestion prévisionnelle du combustible. Elles font l'objet d'un suivi expérimental, sont mises à jour avant chaque arrêt et prises en compte lors de l'évaluation de la sûreté de la recharge suivante.

Le calcul des paramètres clés est effectué à l'aide d'une chaîne de calcul de même niveau de modélisation physique que celle utilisée pour les études génériques (voir section 15.0.2).

En cas de dépassement de la valeur limite associée à un paramètre clé ou de remise en cause d'une hypothèse d'étude, il convient de montrer qu'une analyse complémentaire permet de garantir le respect des critères d'étude.

Cette évaluation peut prendre différentes formes, allant d'une analyse simple jusqu'à la reprise complète de l'étude d'un accident. Les principales modalités de traitement de dépassement sont listées ci-après :

- Valorisation des marges existantes par rapport aux critères dans les études génériques ;
- Utilisation des marges propres au réacteur et au modèle de combustible ;
- Valorisation des marges constatées sur certains paramètres clés ou certains résultats de mesure pour compenser les dépassements observés sur d'autres paramètres ou accommoder les dépassements de critères observés lors des essais physiques ;
- Suppression d'hypothèses de découplage simplificatrices habituellement retenues dans les études de recharge ;
- Réévaluation des paramètres clés ou des valeurs attendues des paramètres mesurés à l'aide d'une méthode de calculs plus fine ;
- Réévaluation des paramètres de sûreté avec les valeurs de paramètres clés de la recharge ou à partir de résultats de mesure à l'aide d'études de sensibilité ou par un calcul explicite ;
- Mise en place de dispositions d'exploitation particulières suite à l'évaluation de sûreté de la recharge ou aux résultats obtenus lors des essais physiques ;
- Reprise complète de l'étude de l'accident conduisant à la définition de nouvelles limites sur les paramètres clés.

4.3. DOCUMENT SPECIFIQUE D'EVALUATION DE SURETE DE CHAQUE RECHARGE

Les résultats de l'évaluation de sûreté de chaque recharge sont synthétisés dans le Dossier Spécifique d'évaluation de la Sûreté (DSS) associé à cette recharge, transmis au CNPE et à l'Autorité de Sûreté Nucléaire avant la divergence de la tranche.

Le DSS contient notamment :

- Les caractéristiques des assemblages chargés, leur position en cœur et leur irradiation moyenne respective ;
 - Les contraintes particulières s'appliquant à la recharge ;
 - La comparaison des valeurs recharges des paramètres clés aux valeurs limites des études génériques et le traitement des dépassements éventuels ;
 - Les mises à jour des STE et le paramétrage du contrôle commande spécifiques à la recharge étudiée (par exemple, les concentrations en bore en états d'arrêt et les seuils de protection anti-dilution) ;
- L'ensemble de ces éléments permet de démontrer la sûreté de la recharge étudiée, depuis le rechargement du combustible jusqu'à la fin de la campagne, et fournit les éléments nécessaires à l'exploitation dans le respect des STE.

4.4. VERIFICATION PAR LA MESURE

Les essais physiques au redémarrage permettent de vérifier la conformité du cœur réel aux hypothèses fondamentales des études de sûreté (efficacité des absorbants, contre-réactions neutroniques, etc.), qu'elles soient génériques ou spécifiques.

Avant chaque campagne, un dossier spécifique d'essais physiques au démarrage (DSEP) est établi et transmis au CNPE. Il présente les résultats des calculs prévisionnels sur les principaux paramètres d'essais qui seront confrontés aux mesures. Après les essais physiques, en cas de dépassement des écarts calcul/mesure prévus dans les études, une analyse supplémentaire est réalisée avec, si nécessaire, reprise de l'étude spécifique et du DSS.

Par ailleurs, le suivi d'irradiation durant la campagne permet notamment de s'assurer du respect de l'épuisement maximal de décharge (valeur moyenne assemblage).



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 4

PAGE 8/12

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES REFERENCES

[1] Note D305918004415A – Note d’Analyse d’exhaustivité du DGES - Première gestion EPR FLA3

[2] D455015007419C - Flamanville 3 - Première gestion EPR - Évaluation de la sûreté des recharges – Méthodes de calcul des paramètres clés

TAB-15.4.1 LISTE DES ACCIDENTS VERIFIES EN RECHARGE

	ETUDES PCC DEPENDANT UNIQUEMENT DES PARAMETRES CLES GENERAUX	ETUDES PCC NECESSITANT DES PARAMETRES CLÉS SPÉCIFIQUES
Défaillance ARE conduisant à une augmentation du débit ARE (MFEAN) en puissance	X	
Augmentation excessive de débit vapeur initié en puissance (AEDV) (phases CT & MT)	X	
Perte totale d'alimentation électrique externe de courte durée (PTAEE<2h)	X	
Perte de l'eau alimentaire normale (PEAN)	X	
Perte d'une pompe primaire sans AAR partiel	X	
Retrait incontrôlé de groupe en puissance (RIGP) (phase CT)	X	
Dysfonctionnement du RCV entraînant une variation de l'inventaire en eau du circuit primaire	X	
Transitoire de pression primaire	X	
Baisse incontrôlé du niveau primaire en arrêt à froid (*)	X	
Perte d'un train RIS-RA en mode RA en arrêt à froid (*)	X	
Ouverture intempestive d'une soupape pressuriseur au-dessus de P9	X	
APRP petite brèche en puissance et AN/GV au-dessus de P9 (*)	X	
Rupture de tube GV - 1 tube / 2 tubes (*)	X	
Fermeture intempestive d'une ou de toutes les vannes d'isolement vapeur	X	
Réduction forcée de débit primaire - 4 pompes	X	
Brèche sur une tuyauterie connectée à la piscine de désactivation en APR (*)	X	
Perte totale des alimentations électriques externes (PTAEE>2h) en AN/RIS-RA (*)	X	
Rupture de tuyauterie vapeur initiée en puissance	X	
APRP grosse brèche et brèche intermédiaire en puissance et AN/GV au-dessus de P9	X	
APRP grosse brèche et brèche intermédiaire en AN/GV sous P9 (*)	X	
APRP grosse brèche et brèche intermédiaire en AN/RIS-RA et API (*)	X	
Défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué)	X	
Rupture de l'arbre d'une pompe primaire	X	
Brèche isolable sur le système RIS-RA en mode RA (*)	X	
Retrait Incontrôlé de Groupes à puissance nulle (RIGZ)		X
CDG		X
Retrait d'une grappe en puissance (R1GP)		X
EDG		X
Défaillance ARE conduisant à une augmentation du débit ARE (MFEAN) à puissance nulle		X
Dilution incontrôlée d'acide borique phase long terme (DIL LT)		X
Augmentation Excessive de Débit Vapeur initiée à puissance nulle (AEDV)		X
Ejection de grappe MT		X
Rupture de Tuyauterie Vapeur initiée à puissance nulle (RTV4)		X
Ouverture intempestive d'une vanne de contournement à l'atmosphère ou d'une soupape GV sous P9		X



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 4

PAGE 10/12

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.4.2 PARAMETRES CLES GENERAUX ET
SPECIFIQUES DES ETUDES PCC**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 15

SECTION 4

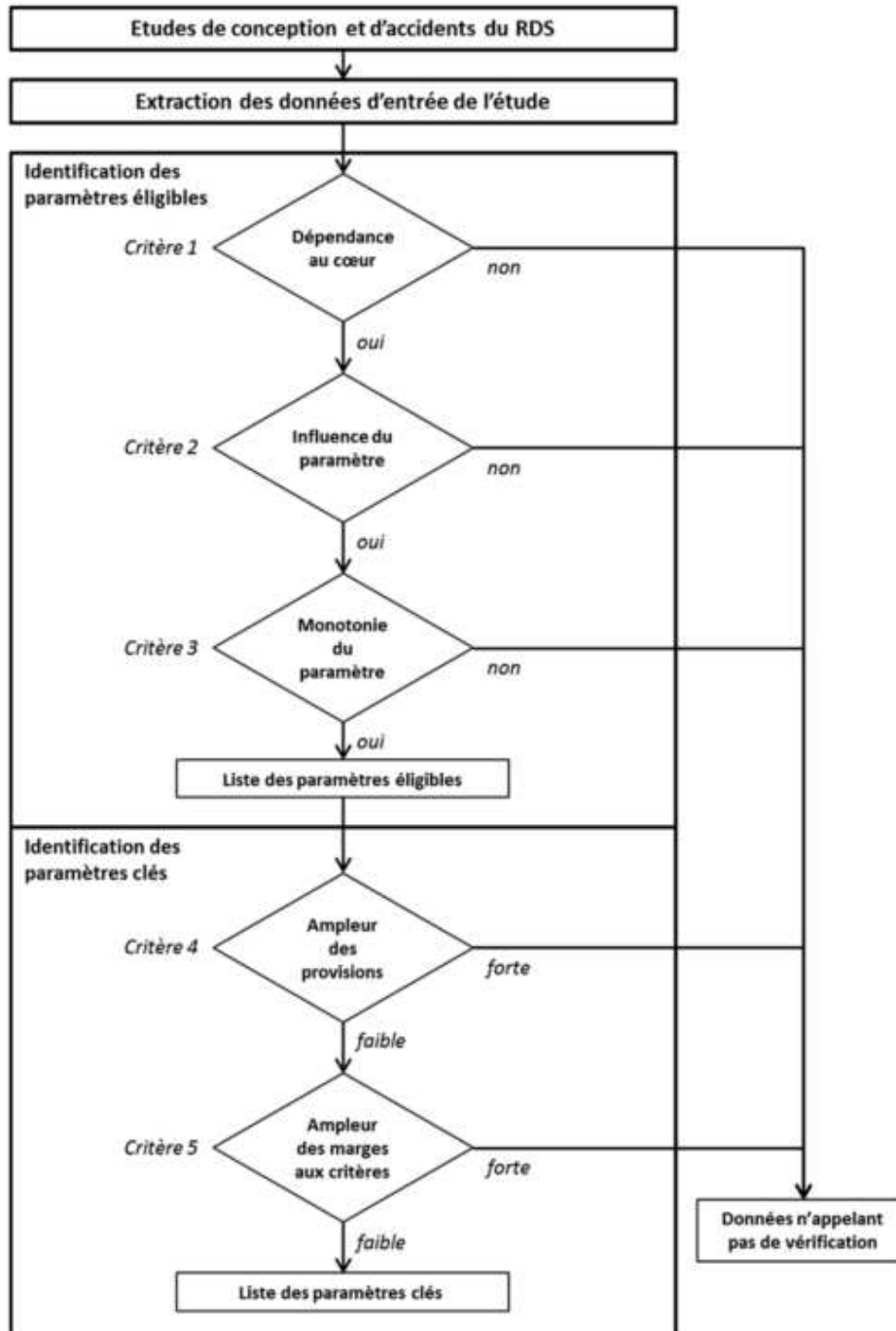
PAGE 11/12

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

FIG-15.4.1 DÉMARCHE D'IDENTIFICATION DES PARAMÈTRES CLÉS





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15A

PAGE

1/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.15.ANNEXE15A	CODES DE CALCUL UTILISÉS DANS LE CHAPITRE 15	. 2
1.	□	5
2.	□	5
3.	□	6
4.	□	6
5.	□	6
6.	□	7
7.	□	7
8.	□	7
9.	□	7
10.	□	8
11.	□	8
12.	□	8
13.	□	8
14.	□	8
15.	□	8
16.	□	8
17.	□	8
18.	□	9
LISTE DES RÉFÉRENCES.		10

.15.ANNEXE15A CODES DE CALCUL UTILISÉS DANS LE CHAPITRE 15

Cette annexe décrit brièvement les codes de calcul utilisés dans le cadre des études des événements PCC (voir chapitre 15), et des études de protection contre les suppressions (voir section 3.6.3).

Les différents codes sont présentés dans les paragraphes suivants :

□

Les tableaux ci-après indiquent quels sont les codes de calcul utilisés pour chaque événement :

□

CODES DE CALCUL UTILISES DANS LE CHAPITRE 15, ÉTUDES PCC

Section	Évènement	Codes de calcul
15.2.2a	Arrêt automatique du réacteur intempestif [état A]	□
15.2.2b	Défaillance de l'ARE conduisant à une réduction de la température de l'eau alimentaire [états A, B]	□
15.2.2c	Défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit d'eau alimentaire [états A, B]	□ □
15.2.2d	Augmentation excessive du débit vapeur [état A]	□ □
15.2.2e	Déclenchement Turbine [état A]	□
15.2.2g	Perte du vide au condenseur [état A]	□
15.2.2h	Perte totale d'alimentation électrique externe de courte durée (<2h) [états A, C, D, E]	□
15.2.2i	Perte de l'eau alimentaire normale (perte des 4 pompes ARE et de la pompe AAD) [état A]	□ □
15.2.2k	Perte d'une pompe primaire sans AAR partiel	□
15.2.2m	Retrait incontrôlé de groupes [état A]	□
15.2.2p	Mauvais positionnement et chute d'une grappe, sans limitation	□
15.2.2q	Démarrage d'une boucle primaire inactive à une température incorrecte	□
15.2.2r	Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire [états A à E]	□
15.2.2s	Dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation ou une diminution de l'inventaire du circuit primaire [état A]	□
15.2.2t	Transitoires de pression du côté primaire (aspersion intempestive au pressuriseur, réchauffement intempestif du pressuriseur) [état A]	□
15.2.2v	Baisse incontrôlée du niveau primaire [états C3, D, E]	□
15.2.2w	Perte d'un train RIS/RRA en mode RA [états C3, D, E]	□

Section	Évènement	Codes de calcul
15.2.2x	Perte d'un train de refroidissement PTR ou d'un système support du PTR [état A]	□
15.2.3a	Petite brèche vapeur ou d'eau alimentaire (< DN 50) incluant les ruptures des lignes connectées aux GV (\leq DN 50) [états A, B]	□
15.2.3b	Perte des alimentations électriques externes (>2heures) [état A]	□
15.2.3c	Ouverture intempestive d'une soupape pressuriseur [état A]	□ □
15.2.3d	Ouverture intempestive d'une vanne de contournement à l'atmosphère ou d'une soupape GV [état A]	□ □
15.2.3e	APRP petite brèche (\leq DN50) [états A,B]	□
15.2.3f	Rupture de tube de générateur de vapeur 1 tube [état A]	□
15.2.3g	Fermeture intempestive d'une ou de toutes les vannes d'isolement vapeur [état A]	□
15.2.3h	Non-conformité du cœur	□
15.2.3i	Réduction forcée du débit primaire (4 pompes)	□
15.2.3k	Défaillance des circuits de traitement des effluents liquides ou gazeux	□
15.2.3m	Retrait incontrôlé de groupes [état B, C ou D]	□
15.2.3p	Retrait incontrôlé d'une grappe [état A]	□
15.2.3q	Rupture d'une ligne véhiculant du fluide primaire à l'extérieur de l'enceinte, par exemple ligne d'échantillonnage nucléaire	□
15.2.3r	Perte des alimentations électriques externes (> 2 heures) – Aspect refroidissement de la piscine BK [état A]	□
15.2.3s	Perte d'un train de refroidissement PTR ou d'un système support du PTR [état F]	□
15.2.3t	Rupture de tuyauterie isolable sur un circuit connecté à la piscine de désactivation [états A à F]	□
15.2.4a	Perte des alimentations électriques externes (> 2 heures) [état C]	□
15.2.4b	Rupture de tuyauterie vapeur [état A, B]	□

Section	Évènement	Codes de calcul
		□
15.2.4c	Rupture de tuyauterie d'eau alimentaire [état A, B]	□
15.2.4d	Ouverture intempestive d'une vanne de contournement à l'atmosphère ou d'une soupape GV [état B]	□
15.2.4e	Éjection de grappe [états A et B]	□
15.2.4f	APRP grosse brèche et brèche intermédiaire (jusqu'à la rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur) [états A,B]	□
15.2.4g	APRP petite brèche (\leq DN50) [états C, D, E]	□
15.2.4h	Défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué)	□
15.2.4i	Rupture de l'arbre d'une pompe primaire	□
15.2.4k	Rupture de tube de générateur de vapeur, 2 tubes dans un GV [état A]	□
15.2.4m	Accident de manutention du combustible	□
15.2.4p	Dilution suite à la rupture non isolable d'un tube d'échangeur de chaleur [états C À E]	□
15.2.4q	Brèche isolable sur le système RIS en mode RA (\leq DN 250), à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte [états C, D et E]	□
15.2.4r	Petite brèche primaire non isolable (\leq DN 50) ou brèche isolable sur le RIS en mode RA (\leq DN 250), aspect vidange piscine [état E]	□
15.2.4s	Défaillance multiple de systèmes dans le Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires (BAN) et le Bâtiment de Traitement des Effluents (BTE) sous séisme	□
15.3	Conséquences radiologiques	□

1. □

□

2. □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15A

PAGE

6/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

3.

4.

5.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15A

PAGE

7/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

6. 0

0

7. 0

0

8. 0

0

9. 0

0



RAPPORT DE SURETE
— DE FLAMANVILLE 3 —

CHAPITRE

15

CENTRALES NUCLÉAIRES

Version Publique

SECTION

ANNE-
XE15A

Palier EPR

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

PAGE

8/10

□

10. □

□

11. □

□

12. □

□

13. □

□

14. □

□

15. □

□

16. □

□

17. □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15A

PAGE

9/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

18. □

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15A

PAGE

10/10

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

SOMMAIRE

.15.ANNEXE15B CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE PRISES EN COMPTE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS DONNÉES GÉOMÉTRIQUES DE LA TRANCHE – JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES	5
1. DONNÉES GÉOMÉTRIQUES DE LA TRANCHE	5
2. MODE D'EXPLOITATION	5
3. CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE	6
4. COEFFICIENTS DE RÉACTIVITÉ	7
5. FISSION ET PUISSANCE RÉSIDUELLES APRÈS L'ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR (AAR)	7
6. CHAINES DE PROTECTION	8
6.1. CHAINES DE PROTECTIONS NUCLÉAIRES	9
6.2. CHAÎNE DE PROTECTION BAS RFTC	10
6.3. CHAÎNE DE PROTECTION NOMBRE ÉLEVÉ DE COLLECTEURS DÉFAILLANTS	11
6.4. CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE LINÉIQUE ÉLEVÉE	11
6.5. CHAÎNE DE PROTECTION INTERACTION PASTILLE GAINÉ	11
6.6. CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE THERMIQUE ÉLEVÉE	11
6.7. CHAÎNE DE PROTECTION BAS ET TRÈS BAS DÉBIT BOUCLE	12
6.8. CHAÎNE DE PROTECTION BASSE VITESSE GMPP	12
6.9. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT (PAS DE GMPP EN SERVICE)	12
6.10. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT STANDARD	12
6.11. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION EN PUISSANCE	13
6.12. CHAINES DE PROTECTION CONTRE LES VARIATIONS ANORMALES DE PRESSION ET DE NIVEAU DANS LE PRESSURISEUR	13
6.13. CHAINES DE PROTECTION CONTRE LES DÉFAUTS D'ALIMENTATION DES GV	14
6.14. MISE EN SERVICE DES SYSTÈMES DE SAUVEGARDE	14
6.15. PROTECTIONS RELATIVES À LA PRESSION ENCEINTE	17

6.16. PROTECTIONS RELATIVES AU NIVEAU PISCINE BK	17
6.17. MODIFICATION DES SEUILS DE PROTECTION EN PROLONGATION DE CYCLE	18
7. FONCTIONS LCO	18
7.1. LCO CŒUR	18
7.2. LCO P/S	20
8. PERMISSIFS	22
9. CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DE SÛRETÉ	22
9.1. SYSTÈMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F1A CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT	23
9.2. SYSTÈMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F1B CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT	26
10. CODES DE CALCUL UTILISÉS	28
11. APPROCHE UTILISÉE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS CONCERNANT LE RAPPORT DE FLUX THERMIQUE CRITIQUE (RFTC)	29

TABLEAUX :

TAB-15.ANNEXE15B.1	PRINCIPALES DONNÉES GÉOMÉTRIQUES	31
TAB-15.ANNEXE15B.2	CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE	32
TAB-15.ANNEXE15B.3	CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE	34
TAB-15.ANNEXE15B.4	COEFFICIENT DE RÉACTIVITÉ.....	36
TAB-15.ANNEXE15B.5	CONCENTRATION EN BORE DANS LE CIRCUIT PRIMAIRE	37
TAB-15.ANNEXE15B.6	PUISSANCE RÉSIDUELLE (TERME B+C)	38
TAB-15.ANNEXE15B.7	PUISSANCE RÉSIDUELLE (TERME A+B+C) (% PN).....	41
TAB-15.ANNEXE15B.8	CARACTÉRISTIQUES DE LA CHUTE DES GRAPPES (ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR).....	43
TAB-15.ANNEXE15B.9	ANTIRÉACTIVITÉ APPORTÉE PAR L'AAR	44
TAB-15.ANNEXE15B.10	INSERTIONS LIMITES DES GROUPES DE CONTRÔLE	45
TAB-15.ANNEXE15B.11	CHAÎNES DE PROTECTION RELATIVES AU CŒUR.....	51
TAB-15.ANNEXE15B.12	CHAÎNES DE PROTECTION RELATIVES AUX CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE	52
TAB-15.ANNEXE15B.13	DÉMARRAGE DU SYSTÈME D'INJECTION DE SÉCURITÉ	55
TAB-15.ANNEXE15B.14	MISE EN SERVICE DU SYSTÈME D'ISOLEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE.....	56
TAB-15.ANNEXE15B.15	MISE EN SERVICE DU SYSTÈME D'ISOLEMENT DES LIGNES VAPEUR	57
TAB-15.ANNEXE15B.16	MISE EN SERVICE DES POMPES DU SYSTÈME D'ALIMENTATION DE SECOURS DES GV ET ISOLEMENT	58
TAB-15.ANNEXE15B.17	AUTRES SIGNAUX.....	59
TAB-15.ANNEXE15B.18	ACTIONS DES CHAÎNES DE PROTECTION	63
TAB-15.ANNEXE15B.19	DÉLAIS DES ACTIONS DE PROTECTION.....	67
TAB-15.ANNEXE15B.20	INCERTITUDES SUR LE NIVEAU POUR LES SEUILS DE PROTECTION SUR NIVEAU GV GAMME ÉTROITE	68
TAB-15.ANNEXE15B.21	INCERTITUDES POUR LES SEUILS DE PROTECTION SUR NIVEAU GV GAMME LARGE	69

TAB-15.ANNEXE15B.22	FONCTIONS LCO	70
TAB-15.ANNEXE15B.23	PERMISSIFS	71
TAB-15.ANNEXE15B.24	CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ISMP)	76
TAB-15.ANNEXE15B.25	CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ISBP).....	83
TAB-15.ANNEXE15B.26	CARACTÉRISTIQUES DU RIS (ACCU).....	92
TAB-15.ANNEXE15B.27	CARACTÉRISTIQUES DU RIS (IRWST)	93
TAB-15.ANNEXE15B.28	CARACTÉRISTIQUES DE L'ASG.....	95
TAB-15.ANNEXE15B.29	CONTOURNEMENT VIV	96
TAB-15.ANNEXE15B.30	CARACTÉRISTIQUES DES VDA.....	97
TAB-15.ANNEXE15B.31	CARACTÉRISTIQUES DES SOUPAPES SÛRETÉ GV	98
TAB-15.ANNEXE15B.32	CARACTÉRISTIQUES DU RBS	99
TAB-15.ANNEXE15B.33	CARACTÉRISTIQUES DES SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PZR.....	100
TAB-15.ANNEXE15B.34	CARACTÉRISTIQUES DU PTR	101
TAB-15.ANNEXE15B.35	CARACTÉRISTIQUES DU JPI	102
TAB-15.ANNEXE15B.36	CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES NON- F1	103
TAB-15.ANNEXE15B.37	PUISSANCE RÉSIDUELLE DANS LA PISCINE DE STOCKAGE □	104
TAB-15.ANNEXE15B.38	CARACTÉRISTIQUES DU RIS EN MODE RA ET DU RRI.....	105

FIGURES :

FIG-15.ANNEXE15B.1	SCHÉMA DU GV	106
FIG-15.ANNEXE15B.2	SCHÉMA DU PRESSURISEUR	107
FIG-15.ANNEXE15B.3	PRINCIPE DE CHUTE DE PRESSION DU GV	108
FIG-15.ANNEXE15B.4	PRINCIPAUX SYSTÈMES FLUIDES F1A(SCHÉMA FONCTIONNEL SIMPLIFIÉ).....	109
FIG-15.ANNEXE15B.5	COURBES DE FUEL CENSUS	110

.15. ANNEXE15B CARACTÉRISTIQUES DE LA TRANCHE PRISES EN COMPTE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS DONNÉES GÉOMÉTRIQUES DE LA TRANCHE – JEU D'HYPOTHÈSES INTERMÉDIAIRES

Certaines études ont été réalisées avec un jeu d'hypothèses intermédiaires puis réconciliées avec le jeu d'hypothèses du sous-chapitre 15.1. Le jeu d'hypothèses intermédiaires est présenté ci-dessous.

Dans ce sous-chapitre sont indiquées les caractéristiques de la tranche qui s'appliquent aux études d'accidents du chapitre 15. Les caractéristiques spécifiques à une étude d'accident donnée sont précisées à la section consacrée à la description de cette étude d'accident.

Les caractéristiques de la tranche prises en compte dans les études d'accidents concernent :

- les données géométriques de la tranche,
- les conditions initiales de la tranche (prenant en compte les différents modes d'exploitation de la tranche),
- les coefficients de réactivité,
- la puissance résiduelle,
- les signaux d'instrumentation et de contrôle relatifs à l'Arrêt Automatique du Réacteur et au fonctionnement des systèmes de sûreté,
- les caractéristiques des systèmes de sécurité.

Ces caractéristiques sont données avec mention de leur valeur conservative (minimale ou maximale, conformément aux règles des études de PCC de la section 15.0.2) et prises en compte dans les études d'accidents PCC du sous-chapitre 15.2.

1. DONNÉES GÉOMÉTRIQUES DE LA TRANCHE

Le tableau [TAB-15. ANNEXE15B.1](#) répertorie les principales données géométriques relatives au circuit primaire et au secondaire des générateurs de vapeur.

Les figures [FIG-15. ANNEXE15B.1](#) et [FIG-15. ANNEXE15B.2](#) représentent les géométries du GV (générateur de vapeur) et du PZR (pressuriseur), et précisent les mesures de niveau correspondantes.

2. MODE D'EXPLOITATION

Les modèles neutroniques, les modèles thermomécaniques et les distributions de puissance utilisés pour analyser le comportement du cœur dans les diverses situations normales et accidentelles relatives aux études de sûreté représentent les modes d'exploitation suivants :

- le fonctionnement en base,
- le fonctionnement en suivi de réseau journalier avec télé réglage superposé,
- le fonctionnement prolongé à puissance réduite grappes dans les limites données par les spécifications techniques d'exploitation,
- le fonctionnement en prolongation de cycle à hauteur de 70 JEPP,
- l'anticipation de cycle à hauteur de 30 JEPP.

3. CONDITIONS INITIALES DE LA TRANCHE

Dans les études d'accidents, on obtient les conditions initiales en ajoutant ou soustrayant (selon ce qui est pénalisant d'après les règles des études de PCC) aux valeurs nominales les incertitudes maximales de l'état permanent.

L'incertitude de l'état permanent comprend l'erreur de mesure, les fluctuations du permanent, et le cas échéant, la bande morte de régulation ainsi que l'incertitude procédé en ce qui concerne le niveau dans les générateurs de vapeur.

Les valeurs nominales et les incertitudes maximales qui leurs sont associées sont définies dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.2](#) pour tous les paramètres concernés :

- Puissance cœur,
- Pression pressuriseur,
- Température moyenne primaire,
- Niveau pressuriseur,
- Niveau GV.

La puissance nominale du cœur retenue dans les études d'accidents est de 4300 MWth.

Pour les PCC BK, des valeurs spécifiques de puissance résiduelle correspondant à une puissance 4500MWth sont utilisées. Elles sont présentées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.37](#).

La réponse transitoire du réacteur dépend de la distribution initiale de la puissance. La conception neutronique du cœur du réacteur permet de minimiser la distribution de puissance par l'intermédiaire des grappes de contrôle et par le respect des consignes d'exploitation.

Les répartitions de puissance les plus pénalisantes qui puissent exister en fonctionnement normal sont prises comme conditions initiales du transitoire. Elles correspondent aux limites des seuils de la densité de puissance linéique maximale et du bas RFTC.

On considère plusieurs points de fonctionnement :

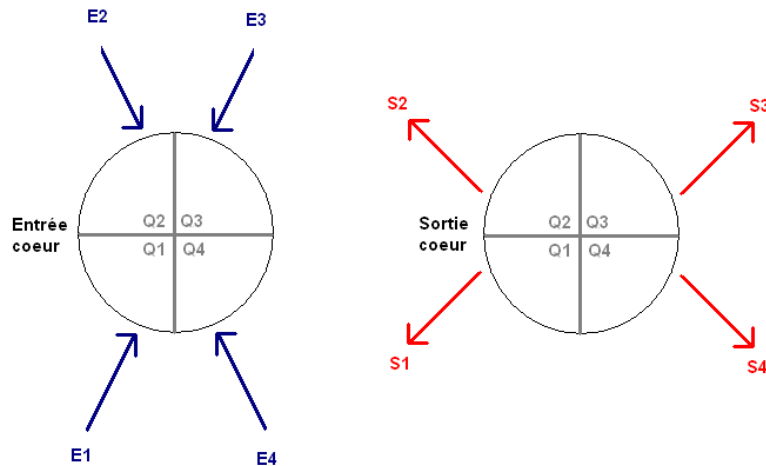
- un point de fonctionnement au débit thermohydraulique (égal au débit « best estimate » - \square %), sans bouchage et sans encrassement de tube GV,
- un point de fonctionnement au débit thermohydraulique avec \square % de tubes GV bouchés et encrassés,
- un point de fonctionnement au débit mécanique (égal au débit « best estimate » + \square %), sans bouchage et sans encrassement de tube GV,
- un point de fonctionnement au débit mécanique avec \square % de tubes GV bouchés et encrassés.

Le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.3](#) donne la description des points de fonctionnement énoncés ci-dessus. En prolongation de cycle les paramètres de fonctionnement sont fournis à 100%PN, 90%PN, 80%PN et 70%PN.

Le mélange des débits dans la cuve du réacteur est pris en compte de la façon suivante :

Lorsque qu'un mélange minimisé constitue une condition initiale pénalisante, on prend en compte un mélange réduit entre les débits boucle à l'intérieur de la cuve du réacteur, \square :

\square




Quand un important mélange des débits boucle dans la cuve du réacteur est pénalisant, un mélange parfait est pris en compte dans la cuve du réacteur : les températures des 4 quarts du cœur sont identiques et égales à la valeur moyenne.

De même, lorsque le mélange des débits boucle dans la cuve n'a pas d'impact significatif, l'hypothèse d'un mélange parfait est pris en compte.

4. COEFFICIENTS DE RÉACTIVITÉ

La réponse transitoire du réacteur dépend des effets des contre-réactions neutroniques, en particulier du coefficient de température du modérateur et du coefficient Doppler. Le chapitre 4 traite en détail de ces coefficients de réactivité et de leurs valeurs.

Dans l'étude de certains transitoires, l'approche conservatrice implique l'utilisation de valeurs de coefficients de réactivité maximales, alors que dans l'étude d'autres événements, elle implique l'utilisation de valeurs de coefficients de réactivité minimales. Les valeurs utilisées sont indiquées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.4](#). 

La concentration en bore dans le circuit primaire à l'état initial (conditions de fonctionnement nominales) et la concentration en bore de l'état sûr sont indiquées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.5](#).

5. FISSION ET PUISSANCE RÉSIDUELLES APRÈS L'ARRÊT AUTOMATIQUE DU RÉACTEUR (AAR)

Dans un cœur sous-critique, la puissance résiduelle est constituée :

- des fissions résiduelles dues aux neutrons retardés (terme A),
- de la désintégration des produits de capture U239 et Np239 (terme B),
- de la désintégration des produits de fission et des actinides à l'exception de l'U239 et du Np239 (terme C).

La puissance thermique due aux fissions résiduelles (terme A) suite à l'arrêt automatique du réacteur dépend du nombre de neutrons générés par les différentes sources de neutrons dans le cœur, comprenant :

- la désintégration des précurseurs des neutrons retardés,
- les fissions spontanées d'actinides,
- les réactions (α, n).

La puissance thermique résiduelle due à la désintégration des produits de fissions et des actinides (terme B+C) dépend de la quantité de ces produits au moment de l'AAR. Les principaux paramètres ayant une influence sur la composition nucléide du cœur sont liés au type de combustible et à la gestion du combustible :

- l'enrichissement initial du combustible,
- le nombre de lots de combustible dans le cœur,
- l'enrichissement et l'épuisement des différents lots,
- l'historique de l'épuisement (séquences d'irradiation) de chacun des lots (longueur du cycle, puissance spécifique d'irradiation).




Le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.6](#) présente les trois évolutions de puissance résiduelle prévues et liées au terme B+C, elles sont enveloppes de l'ensemble des cycles de la première gestion retenue pour FA3.

Le terme A est fonction des caractéristiques des neutrons instantanés et des neutrons retardés et de la variation du facteur de multiplication effective K du cœur pendant et après l'AAR :

- les paramètres cinétiques concernant les neutrons instantanés et les six groupes de neutrons retardés sont définis,
- la variation du facteur de multiplication en fonction du temps $K(t)$ dépend des caractéristiques de l'AAR (valeur de réactivité de la grappe de commande en fonction du temps, basée sur la caractéristique de descente indiquée dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.8](#)) et des paramètres thermo-hydrauliques du cœur.



Ce terme A est soit calculé en ligne pendant l'étude d'accident, soit fourni comme donnée d'entrée générée de façon conservatrice à l'aide d'une simulation découplée d'AAR (par exemple en cas d'APRP, de RTE et de RTGV).

Le terme A+B+C  avec et sans séisme pour N et N-1 grappes chutées est présenté dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.7](#). Les valeurs sont enveloppes de l'ensemble des cycles de la première gestion retenue pour FA3 (puissance 4300 MWth).

Pour les PCC BK, des valeurs spécifiques de puissance résiduelle correspondant à une puissance 4500MWth sont utilisées. Elles sont présentées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.37](#).

6. CHAINES DE PROTECTION

Les signaux de contrôle-commande pris en compte dans les études d'accidents PCC concernent l'activation de l'AAR ou des systèmes classés F1 (certains signaux non classés F1 peuvent être considérés si cela est conforme aux règles d'études d'accidents).

Les signaux F1 associés aux chaînes de protections relatives au cœur, qui sont utilisés dans les études d'accidents PCC, sont répertoriés dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.11](#). Ce tableau donne

la logique et les permissifs associés au signal, ainsi que les points de consigne et les incertitudes associés.

Les tableaux [TAB-15. ANNEXE15B.12](#) à [TAB-15. ANNEXE15B.17](#) indiquent les mêmes renseignements concernant les chaînes de protection déclenchées par les signaux F1 relatifs aux circuits primaires et secondaires.

Certains signaux non F1 apparaissent dans les tableaux [TAB-15. ANNEXE15B.11](#) et [TAB-15. ANNEXE15B.12](#). Ces signaux ne sont pas pris en compte pour les études PCC s'ils ont un effet bénéfique vis-à-vis du critère de sûreté. Par contre, si l'activation de ce système non F1 par le transitoire accidentel aggrave les conséquences vis-à-vis du critère de sûreté, l'étude PCC est réalisée en considérant que le système fonctionne normalement.

Les caractéristiques des systèmes F1 des soupapes de sûreté du pressuriseur et du GV, sont indiquées respectivement dans les tableaux [TAB-15. ANNEXE15B.33](#) et [TAB-15. ANNEXE15B.31](#).

Les listes de signaux F1 mentionnées ci-dessus n'intègrent pas les actions manuelles F1 ; celles-ci sont abordées, dans le chapitre traitant de l'étude d'accident considérée.

Les actions sont récapitulées dans le tableau [TAB-15. ANNEXE15B.18](#).

Les temps apparaissant dans les tableaux correspondent aux délais de réponse globale T des chaînes I&C que ce soit pour un AAR ou une action d'un système de sauvegarde. Le délai de réponse globale des chaînes I&C $T = T_1 + T_2$ comprend un temps T_1 de réponse de la chaîne de mesure et un temps T_2 de traitement du signal du système de protection. De plus, il figure également les temps T_{action} (noté T_{AAR} dans le cas d'un arrêt automatique du réacteur) incluant la durée de manœuvre des actionneurs comme par exemple la chute des grappes (dans le cas d'un arrêt automatique du réacteur) ou l'atteinte de la vitesse nominale pour une pompe ou l'ouverture à 100% en ce qui concerne une vanne. Les valeurs mentionnées sont des valeurs maximales. Dans les études où un temps d'action minimal est pénalisant, l'action est considérée comme instantanée.

Les délais des actions ne figurant pas dans les tableaux de description des chaînes de protection se trouvent dans le tableau [TAB-15. ANNEXE15B.19](#).

Les incertitudes portant sur les seuils de protection relatives aux niveaux GV en gamme étroite et gamme large prenant en compte les incertitudes procédés sont indiquées respectivement dans les tableaux [TAB-15. ANNEXE15B.20](#) et [TAB-15. ANNEXE15B.21](#).

6.1. CHAINES DE PROTECTIONS NUCLÉAIRES

Le rôle de ces chaînes est de limiter les conséquences des accidents d'insertion de réactivité dans les différents niveaux de flux neutronique en utilisant l'instrumentation excore. Les principales caractéristiques des protections nucléaires sont rappelées au tableau [TAB-15. ANNEXE15B.11](#).

Les protections nucléaires comportent 3 types de chaînes :

Chaînes de Niveau Source (CNS)

Les signaux CNS sont utilisés pour éviter l'atteinte de la criticité à la suite d'une augmentation excessive de réactivité depuis un état d'arrêt. Elles génèrent une alarme et un démarrage automatique du système de borication de sécurité (RBS).

L'émission du signal des CNS est bloquée pour un flux (signal de niveau intermédiaire) supérieur à la valeur du permissif P5 (validation manuelle) ou pour un flux (signal de niveau puissance) supérieur à la valeur P2 (automatique).

Ce signal est débloqué pour un flux (signal de niveau puissance) inférieur à la valeur du permissif P2 (automatique) ou pour un flux (signal de niveau intermédiaire) inférieur à la valeur du permissif P5 (automatique).

Chaînes de niveau intermédiaire (CNI)

Le rôle des CNI est de protéger le réacteur contre une augmentation excessive de flux à partir d'un état à puissance nulle ou à faible puissance.

Les CNI génèrent deux signaux de protection :

- protection (AAR) par haut flux nucléaire niveau intermédiaire,
- protection (AAR) par faible temps de doublement.

L'émission des signaux de protection (AAR) peut être bloquée manuellement pour un flux (signal de niveau puissance) supérieur à la valeur du permissif P6 ou P2 et est débloquée automatiquement si le flux est inférieur à P6 ou P2.

Chaînes de niveau puissance (CNP)

Le rôle des CNP est de protéger le réacteur contre les risques liés à l'apparition de la crise d'ébullition ou à la fusion du combustible pour des transitoires très rapides.

Les CNP génèrent un signal d'arrêt automatique du réacteur par taux élevé d'augmentation de flux nucléaire.

6.2. CHAINE DE PROTECTION BAS RFTC

Cette chaîne protège le cœur contre le risque de la crise d'ébullition pendant les transitoires accidentels quel que soit l'événement initiateur qui conduit à une baisse incontrôlée du RFTC. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.11](#).

Le RFTC est calculé en ligne dans le système de protection en utilisant les paramètres suivants :

- la distribution axiale de puissance du canal chaud (issue des signaux des collectrons).
- la température d'entrée (issue de la mesure de température en BF/GE),
- la pression (issue de la mesure de pression au pressuriseur),
- le débit primaire (issu de la mesure de vitesse relative des GMPP).

Cette chaîne génère un Arrêt automatique du réacteur par bas RFTC .

Elle génère également l'AAR par haute qualité en sortie de canal chaud (AARX_{OUT}).

La valeur de seuil d'AAR bas RFTC retenue pour le réacteur EPR FA3 est la suivante :

- valeur étude DNBRT = .

Les seuils de protection site sont décalés s'il y a détection de défaillance d'une ou de plusieurs cannes collectrons .

La valeur de seuil d'AAR haute qualité retenue pour le réacteur EPR FA3 est la suivante :

- valeur étude XRT = .

En cas de détection d'une séquence anormale d'insertion des grappes, le signal d'AAR est élaboré en utilisant un seuil spécifique : DNB_{AS}.

Des signaux d'AAR spécifiques sont également élaborés dans les cas suivants :

- détection d'une chute de grappe (le seuil correspondant s'intitule DNB_{rod drop}),

- détection d'un déséquilibre de puissance entre deux collectrons symétriques (imbalance) (le seuil correspondant s'intitule $DNB_{imb/rod\ drop}$),
- détection de franchissement des insertions limites de protection (le seuil correspondant s'intitule DNB_{IL}).

Le permissif P2 permet d'activer la génération des signaux d'AAR quand le niveau de puissance atteint une certaine valeur.

6.3. CHAÎNE DE PROTECTION NOMBRE ÉLEVÉ DE COLLECTRONS DÉFAILLANTS

Cette chaîne a pour rôle de provoquer un AAR en cas de défaillance d'un nombre élevé de collectrons.

Le permissif P2 permet d'activer la génération de ce signal quand le niveau de puissance atteint une certaine valeur. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.11](#).

6.4. CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE LINÉIQUE ÉLEVÉE

Cette chaîne protège le cœur contre le risque de fusion au centre de la pastille de combustible quel que soit l'événement initiateur qui conduit à une augmentation incontrôlée de la puissance linéique. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.11](#).

La valeur de puissance linéique maximale est issue directement des signaux des 72 collectrons de l'instrumentation nucléaire incore qui sont liés aux 4 divisions du système de protection.

Le seuil de protection site est décalé automatiquement lorsque des défaillances collectrons sont détectées.

En cas de détection d'une séquence d'insertion anormale des grappes, le signal d'AAR est élaboré en utilisant un seuil spécifique.

Le permissif P2 permet d'activer la génération du signal quand le niveau de puissance atteint une certaine valeur.

6.5. CHAÎNE DE PROTECTION INTERACTION PASTILLE GAINÉ

Cette chaîne protège le cœur contre le risque d'interaction pastille gainé quel que soit l'événement initiateur qui conduit à une augmentation incontrôlée de la puissance linéique.

Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.11](#).

6.6. CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE THERMIQUE ÉLEVÉE

Cette chaîne permet de limiter les conséquences d'une augmentation excessive de réactivité dans un état de puissance intermédiaire (y compris à puissance nominale). La puissance thermique est calculée par bilan enthalpique. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.11](#).

Deux signaux d'AAR sont élaborés dans cette chaîne : un signal d'AAR par haute puissance thermique et un signal d'AAR par faible marge à la saturation en BC.

Ces deux signaux sont inhibés en dessous du permissif P5 étant donné que ces protections ne sont pas nécessaires pour les faibles niveaux de puissance.

6.7. CHAÎNE DE PROTECTION BAS ET TRÈS BAS DÉBIT BOUCLE

Ces chaînes ont pour rôle de provoquer un AAR en cas de diminution de débit primaire pour éviter le phénomène de crise d'ébullition. Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.12](#).

La chaîne très bas débit provoque un AAR [] []

La fonction est inhibée en dessous du permissif P3 (absence de risque de crise d'ébullition).

La chaîne bas débit provoque un AAR [] []

La fonction est inhibée en dessous du permissif P12.

Les 4 signaux « perte d'un GMPP » sont envoyés vers le système de surveillance.

6.8. CHAÎNE DE PROTECTION BASSE VITESSE GMPP

Cette chaîne a pour rôle de protéger le cœur en cas de diminution de débit primaire due à un problème affectant les quatre GMPP.

Elle provoque un AAR [] et est inhibée dans les états d'arrêts (P12). Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.12](#).

6.9. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT (PAS DE GMPP EN SERVICE)

Cette chaîne a pour rôle de limiter les conséquences d'une dilution hétérogène ou homogène d'acide borique quand les GMPP ne fonctionnent pas.

Elle assure l'arrêt de cette dilution et le maintien du cœur dans un état sous critique.

La concentration en bore vue par le boremètre est comparée à la valeur seuil []. Le franchissement de ce seuil entraîne la fermeture automatique des vannes redondantes en aval du réservoir du système RCV et le basculement de l'aspiration des pompes de charge vers le réservoir IRWST.

Dans le cas du signal d'anti-dilution : états d'arrêt pompes primaires à l'arrêt, on procède également à un isolement automatique (classé F1A) de la décharge basse pression RCV par fermeture des vannes en aval du soutirage au RIS en fonctionnement RA.

Les actions de protection sont validées par le permissif P7 ou par un signal ATWS dû au blocage mécanique des grappes en puissance.

Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.11](#).

6.10. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION DANS LES ÉTATS D'ARRÊT STANDARD

Cette chaîne a pour rôle de limiter les conséquences d'une dilution homogène d'acide borique dans les états d'arrêt avec les GMPP en service.

Elle assure l'arrêt de cette dilution et le maintien du cœur dans un état sous critique.

La détection de la dilution est basée sur une reconstruction en ligne de la concentration d'acide borique.

Cette reconstruction utilise les données suivantes :

- la concentration en acide borique de la ligne de charge du RCV fournie par le boremètre,

- le débit de charge du système RCV,
- la température d'entrée fournie par la mesure en BF,
- la température du RCV pour corriger la valeur de concentration en bore.

La concentration calculée est comparée à un seuil dépendant de la température. Le franchissement de ce seuil entraîne la fermeture automatique des vannes redondantes en aval du réservoir du système RCV et le basculement de l'aspiration des pompes de charge vers le réservoir IRWST.

Les actions de protection sont validées par le permissif P8. Elles sont inhibées par le permissif P7.

Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15. ANNEXE15B.11.](#)

6.11. CHAÎNE DE PROTECTION ANTI-DILUTION EN PUISSANCE

Cette chaîne a pour rôle de limiter les conséquences d'une dilution homogène d'acide borique en puissance.

Elle assure l'arrêt de cette dilution et le maintien d'une marge d'anti-réactivité suffisante (par les grappes) pour ramener le cœur en conditions d'AAC même avec la grappe la plus anti-réactive coincée en haut du cœur.

La détection de la dilution est basée sur une reconstruction en ligne de la concentration d'acide borique basée sur un processus itératif.

Cette reconstruction utilise les données suivantes :

- la concentration en acide borique de la ligne de charge du RCV fournie par le boremètre,
- le débit de charge du système RCV,
- la température du RCV pour corriger la valeur de concentration en bore.

La concentration calculée est comparée à un seuil correspondant à la concentration en AAC avec la grappe la plus anti-réactive coincée en haut du cœur et sans considération du xénon. Le seuil prend en compte également l'incertitude globale de la reconstruction de concentration en bore. Le franchissement de ce seuil entraîne la fermeture automatique des vannes redondantes en amont des pompes de charge du système RCV et le basculement de l'aspiration des pompes de charge vers l'IRWST.

Les actions de protection sont inhibées par le permissif P8.

Les principales caractéristiques de cette protection sont rappelées au tableau [TAB-15. ANNEXE15B.11.](#)

6.12. CHAÎNES DE PROTECTION CONTRE LES VARIATIONS ANORMALES DE PRESSION ET DE NIVEAU DANS LE PRESSURISEUR

Les principales caractéristiques des protections contre les variations anormales de température et pression primaires sont rappelées dans le tableau [TAB-15. ANNEXE15B.12.](#)

Ces protections comportent 3 chaînes qui fournissent chacune un signal d'AAR :

- La chaîne de protection par basse pression dans le pressuriseur.
- La chaîne de protection par haute pression dans le pressuriseur.
- La chaîne de protection par haut niveau dans le pressuriseur.

Au titre de la diversification, il y a également une chaîne de protection par basse pression primaire qui utilise les mesures de pression en BC et qui fournit un signal d'AAR.

6.13. CHAINES DE PROTECTION CONTRE LES DÉFAUTS D'ALIMENTATION DES GV


Les principales caractéristiques des protections contre les défauts d'alimentation des GV sont rappelées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.12](#).

La protection est assurée par les chaînes suivantes qui fournissent chacune un signal d'AAR :

- Chaîne de protection par baisse rapide de pression dans un GV.
- Chaîne de protection par basse pression GV.
- Chaîne de protection par haute pression GV.
- Chaîne de protection par très haut niveau dans un GV.
- Chaîne de protection par très bas niveau dans un GV.

Signaux de baisse rapide de pression GV

Deux signaux de baisse rapide de pression GV correspondent à la mitigation des brèches secondaires.

La figure [FIG-15.ANNEXE15B.3](#) illustre le principe de génération des signaux : .



6.14. MISE EN SERVICE DES SYSTÈMES DE SAUVEGARDE

Le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.18](#) fait la synthèse des actions des différentes chaînes de protection et de sauvegarde.

Quelques explications sont données ci-dessous en ce qui concerne les signaux spécifiques d'instrumentation et de contrôle.

Signaux d'IS

Pour les études d'accident du chapitre 15, les signaux de mise en service de l'injection de sécurité sont les suivants :

- Dans l'état A : "pression du pressuriseur < MIN3p".
- Dans l'état B et l'état C GMPP ES : " ΔP_{sat} branche chaude < MIN1p".
- Dans l'état C GMPP HS et l'état D : "niveau branche chaude boucle primaire < MIN1p".

Ces signaux s'appuient sur les capteurs suivants :

- Pour la « pression pressuriseur » : 4 capteurs de pression pressuriseur avec une logique en 2 sur 4,
- Pour " ΔP_{sat} " : 4 capteurs de température en branche chaude (1 par boucle) et 4 capteurs de pression de branche chaude (1 par boucle), avec une logique en 2 sur 4 (2 boucles sur 4).
 ΔP_{sat} est défini comme : $\Delta P_{sat} = P_{BC \text{ effective}} - P_{sat} (T_{BC \text{ effective}})$,
- Pour le « niveau boucle primaire » : 4 mesures de niveau ΔP (1 par boucle), avec des lignes de détection situées respectivement en bas et en haut de la branche chaude, avec une logique en 2 sur 4 (2 boucles sur 4).

Ces données sont synthétisées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.13](#).

Les composants du RIS activés sont :

- Dans l'état A, et l'état B avant isolement des accumulateurs
 - le démarrage de toutes les pompes ISMP et ISBP dans les branches froides du circuit primaire,
 - la confirmation de l'ouverture des vannes des accumulateurs dans l'état A, ces vannes restant ouvertes dans l'état B.
- Dans l'état B après isolement des accumulateurs
 - le démarrage de toutes les pompes ISMP et ISBP dans les branches froides du circuit primaire,
 - les vannes des accumulateurs restent fermées.
- Dans les états C et D
 - le démarrage de toutes les pompes ISMP dans les branches froides du circuit primaire,
 - les pompes ISBP restent en mode de fonctionnement RA ou en arrêt momentané,
 - les vannes des accumulateurs restent fermées.
- au moment de la connexion des trains RIS BP en mode RA, les changements suivants sont mis en place dans le système de soupape de sécurité du pressuriseur et pour les trains RIS MP :
 - les valeurs de consigne des trois soupapes de sécurité du pressuriseur sont diminuées \square ,
 - la grande ligne à débit minimum de chaque pompe ISMP est ouverte, de manière à faire baisser la pression d'appoint par les ISMP dans le circuit primaire jusqu'à environ 40 bar abs.

L'activation du signal IS conduit à l'isolement du circuit primaire principal :

- isolement de la ligne de dégazage du pressuriseur,
- isolement de la ligne d'évent cuve,
- isolement de la ligne de décharge du RCV,
- isolement des lignes d'injection du RBS,
- isolement de la ligne d'injection de nitrogène,
- isolement des lignes de connexion entre le RCV et le RRA,
- isolement de la ligne de vidange utilisée pour collapser la bulle dans le pressuriseur.

Refroidissement partiel

Au moment du signal de démarrage de l'IS, dans l'état A et dans l'état B, un refroidissement partiel démarre automatiquement.

En effet, comme la pression de refoulement de l'ISMP est basse \square , en raison de l'existence du critère de "non sollicitation des soupapes de sûreté GV en cas de RTGV", un refroidissement du circuit primaire est nécessaire pour assurer l'injection d'ISMP.

Ce refroidissement est réalisé par le secondaire et il consiste à abaisser le point de consigne des VDA des 4 GV \square .

Parallèlement, le point de consigne du GCT est réduit \square selon le même gradient. Le refroidissement partiel par l'intermédiaire du GCT n'est pas classé F1.

Certaines fonctions d'instrumentation et de contrôle utilisent le signal de « refroidissement partiel achevé » : la fin du refroidissement partiel est détectée lorsque la pression dans les 4 GV est inférieure à l'objectif fixé pour la pression [] .

Isolement de l'ARE

Pour chaque GV, la ligne ARE principale est divisée en trois lignes parallèles où se trouvent les vannes du circuit principal d'alimentation en eau : la ligne à grand débit, la ligne à petit débit et la ligne à très petit débit :

- En fonctionnement en puissance [], les lignes grand débit et petit débit sont toutes deux ouvertes alors que la ligne très petit débit est fermée. La régulation du débit est assurée par la vanne réglante de la ligne à grand débit.
- En fonctionnement à l'arrêt [], seule la ligne de charge très petit débit ou petit débit est ouverte suivant le niveau de puissance. En dessous de []% PN, la régulation du débit est assurée par la vanne réglante de la ligne très petit débit alors que c'est la ligne petit débit qui prend le relais pour une puissance comprise entre [] et []% PN.

L'isolement de la ligne ARE est exécuté en deux étapes successives :

- D'abord, l'isolement de la ligne ARE grand débit, réalisé par la fermeture des deux vannes installées en série sur la ligne à grand débit. L'ARE est alors partiellement isolée, la ligne ARE petit débit restant ouverte.
- Ensuite, l'isolement de la ligne ARE petit débit et très petit débit, réalisé par la fermeture des deux vannes installées en série sur la ligne petit débit. L'ARE est alors entièrement isolée.

Sur intervention de n'importe quel signal d'AAR, la ligne ARE grand débit est isolée dans tous les GV. La ligne ARE petit débit n'est isolée qu'en cas de nécessité, cet isolement étant lié au GV.

Les principales caractéristiques des chaînes provoquant la mise en service du système d'isolement de l'eau alimentaire normale sont détaillées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.14](#).

Isolement VIV

L'isolement des lignes vapeur est réalisé par la fermeture rapide des robinets principaux et la fermeture des vannes de dérivation et des vannes de purge.

Les principales caractéristiques des chaînes provoquant la mise en route du système d'isolement des lignes vapeur sont rappelées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.15](#).

Activation ASG

Les principales caractéristiques des chaînes provoquant le démarrage des motopompes ASG sont données dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.16](#).

Le démarrage des motopompes est déclenché par l'un quelconque des signaux suivants :

- bas niveau dans un générateur de vapeur MIN2p (GL),
- perte totale des alimentations électriques externes et signal IS.

L'isolement ASG est demandé lorsque le niveau dans un générateur de vapeur devient supérieur à MAX1p (GL).

Déclenchement des GMPP

Dans la conception du réacteur EPR, un signal de déclenchement des GMPP intervient en cas d'APRP. La mise en place de ce signal vise à améliorer la mitigation d'un accident de type APRP en évitant d'avoir un déclenchement GMPP retardé, susceptible de pénaliser la diminution de l'inventaire

en eau du primaire, et par conséquent l'échauffement du cœur. Le signal de déclenchement des GMPP considéré est activé sur « $\Delta P_{GMPP} < MIN1p$ et signal d'IS ». L'association au signal d'IS a pour objectif d'éviter les déclenchements intempestifs des GMPP. Le ΔP se rapporte à la différence de pression entre l'entrée de la pompe primaire (pression de branche en U) et la sortie de la pompe primaire (pression de branche froide). □

Un signal de déclenchement des GMPP intervient également en cas de RTE. Pour limiter l'échauffement du circuit primaire et la décharge du fluide par les soupapes du pressuriseur, tous les GMPP sont arrêtés lorsque 3 générateurs de vapeur sont presque vides. Le signal de déclenchement des GMPP intervient donc lorsque les boucles □ ont détecté un niveau gamme large inférieur au seuil MIN3p□.

Un signal de déclenchement des GMPP est également introduit pour limiter la puissance cœur et les échanges primaire/secondaire en cas de RTV. Les signaux « chute de pression GV > MAX1p » ou « basse pression GV < MIN1p » caractérisent la dépressurisation du circuit secondaire. La combinaison de l'un de ces deux signaux avec un signal de haute pression enceinte anticipé permet d'éviter un déclenchement intempestif des GMPP durant des transitoires conduisant à la dépressurisation du circuit secondaire autres que des brèches secondaires intérieur enceinte. Une temporisation après l'obtention des « baisse rapide de pression GV > MAX1p » ou « basse pression GV < MIN1p » est considérée afin de ne pas pénaliser le RFTC en cas d'accident initié en puissance.

Par ailleurs, le déclenchement des GMPP est également obtenu lors de l'isolement enceinte phase 2.

L'arrêt automatique des GMPP est classé F1A.

Isolement d'un train RRA

Afin d'isoler une brèche extérieure enceinte sur un train RRA, l'isolement du train correspondant est demandé sur haut niveau dans le BAS MAX1p. Ce signal est décrit au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.17](#).

Isolement de la charge RCV

La charge du RCV peut être isolée sur les signaux suivants :

- haut niveau dans le pressuriseur MAX1p,
- haute pression en branche chaude MAX0p,
- haut niveau dans un générateur de vapeur MAX2p (GE) validé par la fin du refroidissement partiel,
- basse pression GV MIN4p et signal IS.

Pour les trois premiers signaux l'isolement de la charge RCV est accompagné de l'isolement de l'injection aux joints des pompes primaires.

La description de ces signaux est fournie au tableau [TAB-15.ANNEXE15B.17](#).

6.15. PROTECTIONS RELATIVES À LA PRESSION ENCEINTE

Les signaux relatifs à la pression enceinte sont synthétisés dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.18](#) et décrits dans les tableaux [TAB-15.ANNEXE15B.14](#) et [TAB-15.ANNEXE15B.17](#).

6.16. PROTECTIONS RELATIVES AU NIVEAU PISCINE BK

Les signaux relatifs au niveau piscine BK sont fournis dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.17](#).

6.17. MODIFICATION DES SEUILS DE PROTECTION EN PROLONGATION DE CYCLE

Les seuils de protection modifiés en prolongation de cycle sont indiqués dans les tableaux [TAB-15.ANNEXE15B.11](#) à [TAB-15.ANNEXE15B.17](#) pour les points de fonctionnement décrits dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.3](#).

7. FONCTIONS LCO

Les LCO sont des fonctions de contrôle-commande permettant d'assurer le caractère enveloppe des conditions initiales utilisées dans les études d'accident. Pour cela, chaque paramètre contrôlé par une chaîne de régulation contrôle-commande déclenche une alarme lorsqu'il dépasse durablement les seuils d'alarme LCO, permettant ainsi de garantir le domaine de variation de ce paramètre par rapport à sa consigne de régulation. Une LCO ne correspond pas forcément à un paramètre régulé comme c'est le cas pour le RFTC par exemple.

Les conditions initiales prises en compte dans les études d'accident sont alors définies par les limites LCO qui incluent les valeurs des seuils d'alarme LCO ainsi que les incertitudes de mesure engendrées par les capteurs, la chaîne d'acquisition et les actionneurs. En effet, les limites LCO définissent le domaine dans lequel se trouvent les paramètres physiques de la tranche en fonctionnement normal. De manière générale, les seuils d'alarme LCO sont donc validés par l'ensemble des études d'accident qui les prennent en compte en tant que conditions initiales.

Les chaînes de surveillance relatives au Primaire et au Secondaire (P/S) possèdent un seul seuil d'activation LCO alors que celles relatives au cœur possèdent en général deux seuils d'activation LCO1 et LCO2. La valeur du premier seuil LCO1 est définie de telle façon que pour les différents événements PCC, le transitoire postulé ne conduit pas à un dépassement du critère de sûreté associé. Le franchissement du premier seuil LCO1 entraîne l'apparition d'une alarme en salle de commande et la mise en œuvre de mesures passives (par exemple blocage de l'extraction des grappes). Si ces mesures passives ne permettent pas de ramener le paramètre surveillé dans le domaine de fonctionnement normal, des mesures actives (par exemple insertion des grappes) sont mises en œuvre si le deuxième seuil LCO2 est franchi.

Il convient de souligner que les LCO P/S sont des alarmes (aucune action automatique) alors que les LCO cœur enclenchent des actions automatiques passives ou actives. De plus, il faut distinguer la surveillance LCO qui est assurée par les régulations (qui peuvent être non classées) des fonctions LCO qui correspondent à des alarmes (classées F2), avec ou sans actions automatiques derrière.

Les valeurs des limites LCO du cœur et du système P/S en cycle naturel et prolongation de cycle permettant de définir les conditions initiales des études d'accident sont également données dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.22](#).

Les fonctions LCO sont décrites dans les paragraphes ci-dessous.

7.1. LCO CŒUR

Puissance thermique primaire

Le rôle de la LCO puissance thermique élevée est de limiter la puissance en fonctionnement normal à des conditions cohérentes avec les hypothèses retenues pour les études d'accident.

Les entrées de la chaîne sont :

- la température branche froide,
- la température branche chaude,
- la pression primaire,
- la vitesse des pompes primaires.



Puissance linéique

Le rôle de la LCO puissance linéique élevée est d'une part de limiter le domaine de puissance linéique admissible en fonctionnement normal vis-à-vis des conséquences des accidents de classe 4 (APRP GB, rotor bloqué d'un GMPP, éjection de grappe), d'autre part de surveiller les conditions pré-accidentelles vis-à-vis du risque de fusion au centre de la pastille pour les accidents pour lesquels la chaîne de puissance linéique élevée n'est pas efficace.

La valeur de puissance linéique est directement issue des mesures de l'instrumentation incore par les collectrons.

Les seuils de surveillance site sont décalés automatiquement lorsque des défaillances collectrons sont détectées.

Cette chaîne de LCO est inhibée pour les faibles niveaux de puissance.

RFTC

Le rôle de la LCO bas RFTC est de surveiller les conditions pré-accidentelles vis-à-vis du risque lié à l'apparition de la crise d'ébullition pendant les transitoires pour lesquels la chaîne de protection bas RFTC n'est pas efficace.

Ainsi la valeur site de l'alarme DNB_{LCO} prend en compte la variation maximale de RFTC au cours des transitoires pour lesquels la chaîne de protection bas RFTC n'est pas efficace ainsi que les incertitudes liées à la méthode de calcul du RFTC. L'accident pour lequel cette variation est la plus grande est la perte totale des alimentations électriques externes (PTAEE).

Les données d'entrée de la chaîne de surveillance du RFTC sont les mêmes que celles de la chaîne de protection bas RFTC présentée au [§ 6.2.](#)

La valeur de l'alarme bas RFTC retenue pour le réacteur EPR FA3 est la suivante :

- valeur étude $DNB_{LCO} = \square$.

Les seuils de surveillance site sont décalés en cas de défaillance d'une ou de plusieurs cannes collectrons \square .

Cette chaîne de LCO est inhibée pour les faibles niveaux de puissance.

Interaction pastille gaine (IPG)

Le rôle de la LCO IPG est de prévenir le risque de déclenchement de l'arrêt automatique du réacteur sollicité par la chaîne IPG.

Cette chaîne de LCO est inhibée pour les faibles niveaux de puissance.

Marge d'arrêt (Insertions limites)

L'objectif de cette LCO est de vérifier que les insertions des groupes de contrôle sont conformes avec :

- La disponibilité d'une marge d'antiréactivité suffisante pour ramener le cœur dans un état sous critique si un AAR a lieu.
- La position des grappes considérée dans les études d'accident PCC.

Les insertions limites à respecter dépendent du niveau de puissance. Le dépassement de ce seuil LCO entraîne dans un premier temps la prévention de la dilution et un blocage de l'augmentation de puissance au secondaire et l'injection d'acide borique dans un deuxième temps.

Les valeurs des insertions limites en cycle naturel et prolongation de cycle sont données dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.10](#). Les insertions limites de fin de vie sont applicables en prolongation de cycle (hypothèse de découplage).

Déformée de flux axial

Le rôle de cette LCO est de limiter les conséquences des accidents pour lesquels un AO en limite de domaine est pénalisant (par exemple un AO en bord droit pour l'APRP, l'éjection de grappe).

Les données d'entrée de la chaîne sont les mesures des collectrons.

Le domaine d'AO est délimité par une limite droite et une limite gauche.



Cette chaîne de LCO est inhibée pour les faibles niveaux de puissance.

Désalignement de grappe

Le rôle de cette LCO est de surveiller la position des grappes afin de détecter les désalignements d'une grappe par rapport à son groupe.

Déséquilibre azimutal de flux

Le rôle de cette LCO est de surveiller la différence de puissance nucléaire entre les 4 quadrants du cœur et de vérifier qu'elle ne dépasse pas une certaine valeur.

Cette valeur maximale est prise en compte :

- Soit dans les états initiaux des transitoires si la chaîne de protection associée ne voit pas ce déséquilibre azimutal,
- Soit dans la conception des chaînes qui voient ce déséquilibre azimutal à travers les seuils et incertitudes considérés.

La valeur du déséquilibre azimutal est calculée en utilisant l'instrumentation excore (niveau de puissance). Elle génère une alarme qui demande à l'opérateur de baisser le niveau de puissance.

Le seuil LCO est modifié en cas de fonctionnement en puissance intermédiaire.

7.2. LCO P/S

Température moyenne primaire

Le rôle de l'alarme est de limiter la température moyenne primaire en fonctionnement normal dans la bande de température primaire définie par les hypothèses retenues pour les études d'accident.

La surveillance et les fonctions LCO sont assurées par différents paramètres P/S selon le niveau de puissance :

- En dessous de $\square\%$ Pn, la surveillance LCO de la température moyenne primaire est assurée par la régulation de pression des lignes vapeur principales grâce à la fonction contrôle commande du GCT.
- Au-dessus de $\square\%$ Pn, la surveillance LCO est assurée par la régulation de la température moyenne primaire grâce à la fonction contrôle commande de contrôle des grappes.

En ce qui concerne la surveillance LCO assurée par la régulation du barillet vapeur et la fonction LCO associée, l'opérateur est alerté par une alarme émise par la fonction LCO lorsque la pression du

barillet vapeur sort du domaine de fonctionnement normal. Les entrées de cette chaîne sont (les 4 premières permettent de déterminer la puissance primaire) :

- la température branche froide,
- la température branche chaude,
- la pression primaire,
- la vitesse des pompes primaires,
- la pression du barillet vapeur.

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors de l'état A1 (entre l'arrêt à chaud et la puissance nominale) et pour une puissance thermique du réacteur supérieure à $\square\%$ Pn.

En ce qui concerne la surveillance et la fonction LCO assurées par la régulation de la température moyenne primaire par les grappes de contrôle, l'opérateur est alerté par une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque la température moyenne primaire sort du domaine de fonctionnement normal. Afin de calculer la température moyenne primaire, les entrées de cette chaîne sont :

- la température branche froide,
- la température branche chaude,

Cette chaîne de LCO est inhibée pour une puissance thermique du réacteur inférieure à $\square\%$ Pn.

Pression primaire

Le rôle de l'alarme est de limiter la pression primaire en fonctionnement normal dans la bande de pression primaire définie par les hypothèses retenues pour les études d'accident.

L'opérateur est alerté par une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque la pression primaire sort du domaine de fonctionnement normal. L'entrée de cette chaîne est :

- la pression primaire (mesurée au PZR).

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors de l'état A1 (entre l'arrêt à chaud et la puissance nominale).

Niveau PZR

Le rôle de l'alarme est de limiter le niveau du PZR en fonctionnement normal dans la bande de niveau pressuriseur définie par les hypothèses retenues pour les études d'accident.

L'opérateur est alerté par une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque le niveau du PZR sort du domaine de fonctionnement normal. Les entrées de cette chaîne sont :

- le niveau PZR,
- la température branche froide,
- la température branche chaude.

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors de l'état A1 (entre l'arrêt à chaud et la puissance nominale).

Niveau GV

Le rôle de l'alarme est de limiter le niveau des GV en fonctionnement normal dans la bande de niveau GV définie par les hypothèses retenues pour les études d'accident.

L'opérateur est alerté par une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque le niveau GV sort du domaine de fonctionnement normal. L'entrée de cette chaîne est le niveau GV.

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors de l'état A1 (entre l'arrêt à chaud et la puissance nominale).

Niveau des boucles primaires

Le rôle de l'alarme est de limiter le niveau des boucles primaires en fonctionnement dans la bande de niveau boucle primaire définie par les hypothèses retenues pour les études d'accident.

L'opérateur est alerté par une alarme envoyée par la fonction LCO lorsque le niveau des boucles primaires sort du domaine de fonctionnement normal. Les entrées de cette chaîne sont :

- le niveau boucle primaire,
- la température branche froide.

Cette chaîne de LCO est inhibée en dehors du fonctionnement en $\frac{3}{4}$ boucles dans les conditions d'arrêt à froid.

8. PERMISSIFS

Les principales caractéristiques fonctionnelles des circuits permissifs sont regroupées dans le tableau [TAB-15.ANNEXE15B.23](#).

Ce tableau donne pour chaque permissif :

- la logique du circuit,
- le type de mesure effectuée,
- le point de consigne du seuil,
- le type d'action,
- toutes les actions initiées.

9. CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DE SÛRETÉ

Dans les études d'accidents PCC, les systèmes pris en compte pour atténuer les conséquences d'un événement sont classés F1.

La liste des systèmes mécaniques F1 pris en compte dans les études d'accidents PCC comprend :

- les grappes d'arrêt du cœur, qui exécutent les Arrêts Automatiques du Réacteur,
- les organes d'isolement du circuit primaire et des GV,
- les circuits d'injection dans le circuit primaire et les GV,
- les systèmes de décharge du circuit primaire et des GV,
- l'aspersion normale du pressuriseur,
- les vannes d'isolement du réservoir de contrôle RCV.

Dans le chapitre 15, ces systèmes sont pris en compte en respectant les règles d'études PCC conservatives et définies dans la section correspondante (voir section 15.0.2) :

- efficacité minimale garantie,
- prise en compte de l'aggravant le plus pénalisant,

- prise en compte de la plus pénalisante des indisponibilités dues à la maintenance préventive.

Les tableaux [TAB-15. ANNEXE15B.24](#) à [TAB-15. ANNEXE15B.36](#) ainsi que [TAB-15. ANNEXE15B.38](#) indiquent les caractéristiques minimales et/ou maximales des circuits fluides F1 pris en compte dans les études d'accidents. Les informations concernant ces systèmes sont utilisées non seulement dans les études PCC du chapitre 15, mais aussi dans les études du sous-chapitre 3.6 concernant la protection contre les surpressions.

D'après le sous-chapitre 15.0, on montrera dans les études PCC que :

- l'état contrôlé peut être atteint en s'appuyant uniquement sur des systèmes F1A. Les systèmes supports classés F1B peuvent être utilisés sous certaines conditions (voir sous-chapitre 3.2)
- le passage de l'état contrôlé à l'état d'arrêt sûr peut se faire en s'appuyant uniquement sur des systèmes F1A et / ou F1B.

9.1. SYSTÈMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F1A CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT

Les systèmes requis pour assurer les fonctions F1A considérées dans les études d'accidents (les systèmes supports, comme le RRI et le SEC, n'étant pas mentionnés) sont :

- Système ADG :
 - Isolement ADG sur compte-rendu d'AAR
- Système APG :
 - Isolement des purges des GV
 - Isolement enceinte phase 1
 - Détection d'activité secondaire
- Système ARE¹ :
 - Isolement grand débit
 - Isolement petit débit
 - Isolement GV
- Système ASG :
 - Mise en service d'une file ASG
 - Isolement d'une file ASG
 - Relignage du refoulement des pompes ASG
 - Protection pompe ASG contre les surdébits
- Système JPI :
 - Isolement enceinte phase 1
- Système KRT :
 - Détection d'activité dans le Hall piscine BK
 - Détection d'activité dans le Hall piscine BR
 - Détection d'activité secondaire

1. L'isolement petit débit assure également l'isolement de la ligne « très petit débit » ARE.

- Isolement enceinte phase 1
- Système PTR :
 - Isolement des pieds de compartiments BK
 - Isolement des pieds de compartiments BR
 - Isolement de l'aspiration des pompes principales PTR
 - Détection d'une baisse de niveau piscine de désactivation □
 - Isolement enceinte phase 1
 - Appoint au primaire par IRWST (via le RIS MP)
- Système RBS :
 - Injection d'eau borée (manuel)
 - Stockage d'eau borée
 - Isolement enceinte phase 1
 - Isolement du CPP
- Système RCP :
 - Ouverture mécanique des soupapes pressuriseur
 - Ouverture pilotée des soupapes pressuriseur
 - Mise hors service d'un GMPP
 - Isolement du CPP
- Système RCV :
 - Isolement aval du ballon RCV et de la station d'hydrogénation
 - Isolement de la charge RCV
 - Isolement de la décharge haute pression (isolement CPP)
 - Isolement de la décharge basse pression RCV (isolement CPP et isolement anti-dilution)
 - Isolement de la ligne d'injection aux joints
 - Isolement enceinte phase 1
 - Isolement enceinte phase 2
 - Isolement passif de la charge et de l'aspersion auxiliaire (isolement CPP)
- Système REN :
 - Isolement enceinte phase 1
 - Isolement enceinte phase 2
- Système RES :
 - Isolement enceinte phase 2
- Système RGL :
 - Disponibilité de la fonction AAR
 - Contribution à la fonction de protection contre le bas RFTC en cas de détection d'une configuration anormale des grappes et contribution à la fonction de protection contre la puissance linéique élevée en cas de détection d'une séquence anormale

- Contribution à la fonction de protection contre la puissance linéique élevée vis-à-vis du phénomène IPG
- Système RIC :
 - Mesure du flux neutronique local dans le cœur avec les collecteurs SPND
- Système RIS-RA (RIS-MP, RIS-BP, accumulateurs, IRWST) :
 - Injection ISMP avec grande ligne à débit minimum fermée
 - Injection ISBP en branche froide
 - Injection par les accumulateurs
 - Injection ISMP avec grande ligne à débit minimum ouverte
 - Isolement de l'aspiration RIS-RA en mode RA
 - Stockage, filtration et récupération d'eau borée dans l'IRWST
 - Mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA
 - Refroidissement de l'IRWST
 - Isolement du CPP
- Système RPE :
 - Isolement enceinte phase 1
 - Fermeture automatique des vannes d'isolement enceinte des drains de plancher 1 et 2 du BR
- Système RPN :
 - Mesure du flux nucléaire par les chaînes de mesure niveau source (CNS)
 - Mesure du flux nucléaire par les chaînes de mesure niveau intermédiaire (CNI)
 - Mesure du flux nucléaire par les chaînes de mesure niveau puissance (CNP)
- Système RPR :
 - Initier l'arrêt du réacteur
 - Initier les dispositions de sauvegarde pour atteindre l'état contrôlé
 - Initier les dispositions support et diesels
 - Elaborer des signaux de permissifs
- Système VDA :
 - Isolement de la décharge à l'atmosphère
 - Relèvement automatique du point de consigne VDA
 - Ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère
 - Refroidissement partiel
- Système VVP :
 - Isolement vapeur principale
 - Ouverture des soupapes GV
- Divers systèmes traversant l'enceinte :
 - Isolement enceinte phase 1
 - Isolement enceinte phase 2

9.2. SYSTÈMES REQUIS POUR ASSURER LES FONCTIONS F1B CONSIDÉRÉES DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENT

Les systèmes (les systèmes supports, comme le RRI et le SEC, n'étant pas mentionnés) requis pour assurer les fonctions F1B (autres que celles précédemment mentionnées) considérées dans les études d'accidents sont :

- Système APG :
 - Isolement des purges GV (manu)
 - Ouverture des lignes de transfert d'une paire de GV (manu)
 - Isolement de l'échantillonnage d'un GV (manu)
 - Isolement enceinte phase 1 (manu)
- Système ARE² :
 - Isolement grand débit (manu)
 - Isolement petit débit (manu)
 - Isolement GV (manu)
- Système ASG :
 - Réglage du niveau GV par ASG (auto)
 - Relignage de l'aspiration des pompes ASG (manu)
- Système EVU :
 - Alcalinisation de l'IRWST (manu)
- Système JAC :
 - Distribution d'eau pour l'appoint à la piscine BK (manu)
- Système JPI :
 - Distribution d'eau pour l'appoint à la piscine BK (manu)
 - Isolement enceinte phase 1 (manu)
- Système JPV :
 - Appoint à la piscine BK (manu)
- Système KRT :
 - Surveillance du débit de dose dans l'enceinte (manu)
 - Isolement enceinte phase 1 (manu)
- Système PTR :
 - Mise en service d'une file principale de refroidissement PTR (manu)
 - Isolement de l'aspiration du troisième train PTR (manu)
 - Déclenchement des trains principaux PTR (auto)
 - Appoint à la piscine BK (manu)
 - Isolement enceinte phase 1 (manu)

2. L'isolement petit débit assure également l'isolement de la ligne « très petit débit » ARE.

- Système RBS :
 - Mise hors service d'un train d'injection RBS (manu)
 - Isolement enceinte phase 1 (manu)
 - Isolement du CPP (manu)
 - Isolement d'une ligne d'injection RBS dans une boucle inactive (manu)
- Système RCP :
 - Ouverture pilotée des soupapes pressuriseur (manu)
 - Mise en service de l'aspersion normale du pressuriseur (sauf séisme et ambiance dégradée) (manu)
 - Mise hors service des chaufferettes pressuriseur (manu)
 - Mise hors service d'un GMPP (auto/manu)
 - Isolement du CPP (manu)
 - Isolement de la barrière thermique d'un GMPP (manu)
- Système RCV :
 - Isolement de la charge RCV (manu)
 - Isolement de la décharge haute pression (isolement CPP) (manu)
 - Isolement de la décharge basse pression RCV (isolement CPP et isolement anti-dilution) (manu)
 - Isolement d'un échangeur HP en cas de dilution (manu)
 - Isolement enceinte phase 1 (manu)
 - Isolement enceinte phase 2 (manu)
- Système REN :
 - Isolement manuel d'une ligne d'échantillonnage du RCP (manu)
 - Isolement enceinte phase 1 (manu)
 - Isolement enceinte phase 2 (manu)
- Système RES :
 - Isolement enceinte phase 2 (manu)
 - Isolement de l'échantillonnage d'un GV (manu)
- Système RIC :
 - Mesure de la température maximale en sortie du cœur T RIC MAX
 - Mesure du niveau de la cuve du réacteur
- Système RIS-RA :
 - Injection ISMP avec grande ligne à débit minimum fermée (manu)
 - Injection ISBP en branche froide (manu)
 - Injection ISBP en branche chaude (manu)
 - Injection ISMP avec grande ligne à débit minimum ouverte (manu)
 - Mise hors service d'un train ISMP (manu)
 - Mise en service d'un train RIS-RA en mode RA (manu)

- Basculement d'un train RIS-RA du mode IS en mode RA (manu)
 - Mise hors service d'un train RIS-RA en mode RA (manu)
 - Isolement de l'aspiration d'un train RIS-RA en mode RA (manu)
 - Isolement des accumulateurs (manu)
 - Refroidissement de l'IRWST (manu)
 - Isolement des traversées du RIS (manu)
 - Isolement du CPP (manu)
- Système RPE :
- Isolement enceinte phase 1 (manu)
- Système RPR :
- Contribution à la réalisation des dispositions post-accidentelles pour atteindre l'état sûr (auto / manu)
 - Contribuer aux dispositions élaborées au PAS/SAS
- Système VDA :
- Isolement de la décharge à l'atmosphère (manu)
 - Ouverture des vannes de décharge à l'atmosphère (manu)
 - Relèvement manuel du point de consigne VDA (manu)
- Système VVP :
- Isolement vapeur principale (manu)
 - Ouverture de la ligne de bypass VVP (manu)

Les caractéristiques des barres de commande d'arrêt sont déjà indiquées dans le tableau [TAB-15. ANNEXE15B.9](#).

En plus des systèmes F1 ci-dessus, des systèmes non F1 peuvent être considérés dans les études d'accident PCC conformément aux règles d'études PCC. Ainsi, si le transitoire n'a pas d'impact sur les performances d'un système F2 ou NC (pas de changement d'état, pas de changement des conditions de fonctionnement et d'environnement), et si le système est en service avant le déclenchement de l'initiateur, le système est supposé continuer à fonctionner normalement. Aucun ordre intempestif venant du contrôle-commande ne doit être supposé dans ces conditions.

Ces systèmes peuvent également être utilisés dans les études d'accidents concernant la protection contre les surpressions.

Leurs principales caractéristiques présentant un intérêt dans ce cadre sont précisées dans le tableau [TAB-15. ANNEXE15B.36](#).

Sur la figure [FIG-15. ANNEXE15B.4](#) est représenté un schéma fonctionnel simplifié des principaux circuits fluides F1A : RIS, ASG, soupapes de sûreté du pressuriseur et des GV, VDA, isolement vapeur, isolement de l'ARE.

10. CODES DE CALCUL UTILISES

Des descriptions sommaires des principaux codes utilisés pour la réalisation des études de transitoires sont données dans l'Annexe 15A. D'autres codes, en particulier des codes très spécialisés dans lesquels la modélisation a été développée pour simuler un phénomène spécifique pour un

accident donné, comme ceux employés pour le calcul des efforts hydrauliques en cas de brèche primaire ou secondaire (voir section 3.6.1), sont décrits dans les chapitres qui traitent des études en question.

Pour chaque étude d'accident présentée au chapitre 15, le code utilisé pour la réalisation des calculs est précisé.

11. APPROCHE UTILISÉE DANS LES ÉTUDES D'ACCIDENTS CONCERNANT LE RAPPORT DE FLUX THERMIQUE CRITIQUE (RFTC)

L'approche générale est détaillée dans le chapitre traitant de la conception thermohydraulique du cœur (voir sous-chapitre 4.4).

Dans le cadre des calculs de pourcentage de crayons entrant en crise d'ébullition, les courbes de fuel census « enveloppe » et « spécifique » (pour des accidents PCC2 et PCC3 avec cumul du manque de tension externe) sont présentées dans la figure [FIG-15.ANNEXE15B.5](#).

Une étude de transitoire s'intéressant à l'aspect RFTC dépend :

- du type de fonction de protection activée (protection bas RFTC ou protection spécifique),
- des conditions limites de fonctionnement prises en compte pour limiter les conditions initiales (condition limite de fonctionnement bas RFTC ou pas),
- de la manière de combiner les incertitudes de RFTC.

Les transitoires sont répartis en trois catégories :

- Transitoires de Type I : transitoires en puissance pour lesquels la protection bas RFTC est efficace.
- Transitoires de Type II : transitoires en puissance pour lesquels la protection bas RFTC n'est pas efficace mais qui valorisent la chaîne de surveillance du RFTC.
- Transitoires de Type III : transitoires pour lesquels les chaînes de protection et de surveillance du RFTC sont inefficaces.

Les transitoires présentés au Chapitre 15 qui s'intéressent au RFTC sont classés comme suit :

Transitoires de Type I :

- Défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit de l'eau alimentaire, initié en puissance (PCC2) (section 15.2.2c).
- Augmentation excessive du débit vapeur (État A – PCC2)¹ (section 15.2.2d).
- Retrait incontrôlé de groupes initié en puissance (PCC2) (section 15.2.2m).
- Mauvais positionnement et chute de grappe(s), sans limitation (PCC2) (section 15.2.2p).
- Défaillance du RCV conduisant à une diminution de la concentration en bore du fluide primaire (État A – PCC2)³ (section 15.2.2r).
- Dysfonctionnement du RCV entraînant une augmentation ou une diminution de l'inventaire du circuit primaire (PCC2) (section 15.2.2s).
- Transitoires de pression du côté primaire (aspersion intempestive au pressuriseur, réchauffement intempestif du pressuriseur – PCC2) (section 15.2.2t).
- Ouverture intempestive d'une soupape pressuriseur [état A] (section 15.2.3c).

3. En ce qui concerne le comportement du RFTC pendant ces transitoires initiés en puissance, les événements sont enveloppés par le retrait incontrôlé d'un groupe en puissance.

- Ouverture intempestive d'une vanne de contournement à l'atmosphère ou d'une soupape GV (état A) (section 15.2.3d).
- Retrait incontrôlé d'une grappe (État A - PCC3) (section 15.2.3p).
- Rupture de tuyauterie vapeur dans l'état A, pour les brèches intermédiaires (PCC3 et PCC4) (section 15.2.4b).

Transitoires de Type II :

- Perte de l'eau alimentaire normale (perte des 4 pompes ARE et de la pompe AAD – PCC2) (section 15.2.2i).
- Perte du vide au condenseur (PCC2) (section 15.2.2g).
- Perte totale d'alimentation électrique externe de courte durée (<2h), états A, C, D (PCC2) (section 15.2.2h).
- Perte d'une pompe primaire sans AAR partiel (PCC2) (section 15.2.2k).
- Retrait incontrôlé de groupes initié en puissance – pour les vitesses d'insertion de réactivité très élevées (PCC2) (section 15.2.2m).
- Fermeture intempestive d'une vanne ou de toutes les vannes d'isolement vapeur (PCC3) (section 15.2.3g).
- Réduction forcée du débit primaire, 4 pompes (PCC3) (section 15.2.3i).
- Rupture de tuyauterie vapeur dans l'état A, pour les grosses brèches (PCC4) (section 15.2.4b).
- Éjection de grappe initiée en puissance ⁴ (PCC4) section 15.2.4e).
- Défaillance d'une pompe primaire (rotor bloqué) (PCC4) (section 15.2.4h).
- Rupture de l'arbre d'une pompe primaire (PCC4) (section 15.2.4i).

Transitoires de Type III :

- Défaillance de l'ARE conduisant à une augmentation du débit de l'eau alimentaire initié à puissance nulle (PCC2) (section 15.2.2c).
- Retrait incontrôlé de groupes initié à puissance nulle dans l'état A (PCC2) (section 15.2.2m).
- Retrait incontrôlé de groupes dans les états B, C ou D (PCC3) (section 15.2.3m).
- Rupture de tuyauterie vapeur (État B - PCC4) (section 15.2.4b).
- Éjection de grappe initiée à puissance nulle (PCC4) (section 15.2.4e).

4. De manière pénalisante ce transitoire est étudié comme les transitoires de type III.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

31/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.1 PRINCIPALES DONNÉES
GÉOMÉTRIQUES

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

32/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.2 CONDITIONS INITIALES DE LA
TRANCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

33/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

34/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.3 CONDITIONS INITIALES DE LA
TRANCHE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

35/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

36/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.4 COEFFICIENT DE RÉACTIVITÉ

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

37/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.5 CONCENTRATION EN BORE DANS
LE CIRCUIT PRIMAIRE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

38/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.6 PUISSANCE RÉSIDUELLE (TERME
B+C)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

39/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

40/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

41/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.7 PUISSANCE RÉSIDUELLE (TERME
A+B+C) (%PN)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

42/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

43/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.8 CARACTÉRISTIQUES DE LA
CHUTE DES GRAPPES (ARRÊT AUTOMATIQUE DU
RÉACTEUR)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

44/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.9 ANTIRÉACTIVITÉ APPORTÉE PAR
L'AAR**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

45/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.10 INSERTIONS LIMITEES DES
GROUPES DE CONTRÔLE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

46/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

47/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

48/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

49/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

50/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

TAB-15.ANNEXE15B.11 CHAÎNES DE PROTECTION RELATIVES AU CŒUR

□

TAB-15.ANNEXE15B.12 CHAÎNES DE PROTECTION RELATIVES AUX CIRCUITS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	ANNEXE15B
			CHAPITRE	15	PAGE	53/110

□

 FLAMANVILLE3	Palier EPR	Version Publique — Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE			SECTION	ANNEXE15B
			CHAPITRE	15	PAGE	54/110

□

TAB-15.ANNEXE15B.13 DÉMARRAGE DU SYSTÈME D'INJECTION DE SÉCURITÉ

□



TAB-15.ANNEXE15B.14 MISE EN SERVICE DU SYSTÈME D'ISOLEMENT DE L'EAU ALIMENTAIRE NORMALE

□



TAB-15.ANNEXE15B.15 MISE EN SERVICE DU SYSTÈME D'ISOLEMENT DES LIGNES VAPEUR

□

TAB-15.ANNEXE15B.16 MISE EN SERVICE DES POMPES DU SYSTÈME D'ALIMENTATION DE SECOURS DES GV ET ISOLEMENT

□

TAB-15.ANNEXE15B.17 AUTRES SIGNAUX

□



□



□

□

TAB-15.ANNEXE15B.18 ACTIONS DES CHAÎNES DE PROTECTION

	AAR	IS	Isolement RCV	Isolement RRA	RBS	DIESELS + Isolement enceinte.	Déclenchement turbine.	Divers
Haut flux neutronique CNS				Si P2 et P5 désactivés	Si P2 et P5 désactivés		par AAR	
Haut flux neutronique CNI	Si P6 désactivé							
Faible temps de doublement CNI	Si P6 désactivé							
dφ/dt (CNP)	Pas de permissif associé							
Bas RFTC	Si P2							
Qualité sortie canal chaud élevée	Si P2							
Faible marge à la saturation BC	Si P5	Si P12 et P15 désactivé						
Puissance linéique élevée	Si P2							
IPG	Si P2							
Nombre élevé de collecteurs défaillants	Si P2							
Haute puissance thermique	Si P5							
Bas débit boucle	Si P12 désactivé							
Très bas débit boucle	Si P3							
Basse vitesse GMPP	Si P12 désactivé							
Dilution en état d'arrêt avec GMPP hors service			Si P7	Si P7				
Dilution en état d'arrêt standard			Si P7 désactivé et P8					
Dilution en puissance			Si P8 désactivé				Possibilité AAR manuel	

	AAR	IS	Isolement ARE ^(a)	Isolement ARE ^(b)	Isolement VAPEUR	Démarrage ASG	Déclench ^t turbine.	Divers
Haut niveau pressuriseur	Si >Max1p et P14 désactivé		Par AAR				Par AAR	* Isolement de la charge RCV Si > MAX1p et P14 désactivé * Isolement IJPP Si > MAX2p et P14 désactivé
Haute pression pressuriseur	Si >Max2p		Par AAR				Par AAR	
Basse pression pressuriseur	Si < MIN2p et P2 activé	Si < MIN3p et P12 désactivé	Par AAR				Par AAR	* Ref. partiel dans tous les GV sur signal IS
Haut niveau GV	Si > MAX1p (GE) et P13 désactivé		Par AAR	Si >MAX0p (GE) après temporisation et P13 désactivé	Si > MAX2p (GE) et ref. partiel terminé et P13 désactivé		Par AAR	* Isolement ASG dans le GVa Si > MAX1p (GL) si P2 activé (action inhibée si P2 désactivé dans le cas où l'ASG n'a pas démarré automatiquement avant et par P13 activé dans tous les cas) * Ref. partiel dans tous les GV Augmentation du point de consigne VDA dans le GVa si ref. partiel terminé Isolement de la charge RCV si ref. partiel terminé Si > MAX2p (GE) si P13 désactivé
Bas niveau GV	Si < MIN1p (GE) et P13 désactivé		Par AAR			(GV/GV) Si < MIN2p (GL) et P13 désactivé	Par AAR	* Isolement de la purge des GV Si <MIN2p (GL) * Arrêt des 4 GMPP Si <MIN3p (GL), P13 et P19 désactivés
Haute pression GV	Si >MAX1p		Par AAR				Par AAR	Ouverture vanne d'isolement VDA dans le GVa Si >MAX1p

	AAR	IS	Isolement ARE ^(a)	Isolement ARE ^(b)	Isolement VAPEUR	Démarrage ASG	Déclench ^t turbine.	Divers
Basse pression GV	Si < MIN1p et P12 désactivé		Par AAR	Si < MIN2p et P12 et P19 désactivés	Si < MIN1p et P12 désactivé		Par AAR	* Isolement VDA dans le GVa (si le VDA s'est ouvert) Si < MIN3p et P12 et P19 désactivés * Isolement de la charge RCV Si < MIN4p et signal IS et P12 et P19 désactivés
Baisse rapide pression GV	Si > MAX0p Si > MAX1p		Par AAR	Si > MAX2p et P19 désactivé	Si > MAX1p		Par AAR	
Pression BC	Si < MIN1p et P12 désactivé		Par AAR				Par AAR	Isolement de la charge RCV et de l'IJPP Si > MAX0p si P14 activé
Faible niveau boucle en BC		Si < MIN1p et P15 activé						* Ref. partiel dans tous les GV sur signal IS
Faible ΔP GMPP + IS								Arrêt des 4 GMPP
Faible marge à la saturation		Si < MIN1p et P15 désactivé et P12 activé						* Ref. partiel dans tous les GV sur signal IS
MDTE + IS						(tous les trains) Si P13 désactivé		
Haute pression enceinte	Si > MAX1p		Par AAR	Si > MAX3p	Si > MAX4p		Par AAR	* Isolement enceinte phase 1 Si > MAX1p * Isolement enceinte phase 2 Si > MAX2p * Arrêt des GMPP Si > MAX1p et Baisse rapide pression GV > MAX1p ou Basse pression GV < MIN1p



Haut niveau dans le BAS										Isolement d'un train RRA Si > MAX1p et P14 activé si le RRA est connecté
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

(a) : Fermeture des vannes d'isolement de la ligne grand débit de tous les GV et arrêt des pompes APA sauf une.

(b) : Fermeture des deux vannes réglantes et d'isolement de la ligne petit débit du GV affecté.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

67/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.19 DÉLAIS DES ACTIONS DE PROTECTION

□

TAB-15.ANNEXE15B.20 INCERTITUDES SUR LE NIVEAU POUR LES SEUILS DE PROTECTION SUR NIVEAU GV GAMME ÉTROITE

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

69/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.21 INCERTITUDES POUR LES SEUILS
DE PROTECTION SUR NIVEAU GV GAMME LARGE**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

70/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.22 FONCTIONS LCO

□

TAB-15.ANNEXE15B.23 PERMISSIFS

□



□



□



□



□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

76/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.24 CARACTÉRISTIQUES DU RIS
(ISMP)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

77/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

78/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

79/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

80/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

81/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

82/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

83/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.25 CARACTÉRISTIQUES DU RIS
(ISBP)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

84/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

85/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

86/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

87/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

88/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

89/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

90/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

91/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

92/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.26 CARACTÉRISTIQUES DU RIS
(ACCU)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

93/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.27 CARACTÉRISTIQUES DU RIS
(IRWST)

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

94/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

95/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.28 CARACTÉRISTIQUES DE L'ASG

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

96/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.29 CONTOURNEMENT VIV

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

97/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.30 CARACTÉRISTIQUES DES VDA

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

98/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.31 CARACTÉRISTIQUES DES
SOUPAPES SÛRETÉ GV**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

99/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.32 CARACTÉRISTIQUES DU RBS

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

100/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.33 CARACTÉRISTIQUES DES
SOUPAPES DE SÛRETÉ DU PZR**

□

TAB-15.ANNEXE15B.34 CARACTÉRISTIQUES DU PTR

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

102/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-15.ANNEXE15B.35 CARACTÉRISTIQUES DU JPI

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

103/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.36 CARACTÉRISTIQUES DES
SYSTÈMES NON-F1**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

104/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-15.ANNEXE15B.37 PUISSANCE RÉSIDUELLE DANS
LA PISCINE DE STOCKAGE** □

□

**TAB-15.ANNEXE15B.38 CARACTÉRISTIQUES DU RIS EN
MODE RA ET DU RRI**

Etat	C1	C2	C3	D
Trains RIS-RA en mode RA initialement en fonctionnement	2 / 4 (2 en attente)	4 / 4	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP)	3 / 4 (1 en attente en mode ISBP)
Débit dans les trains RIS-RA en mode RA (m ³ /h)	□	□	□	□
Incertitude (m ³ /train)	□	□	□	□

□

Caractéristiques des échangeurs RRI

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

106/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.ANNEXE15B.1 SCHÉMA DU GV

□

FIG-15.ANNEXE15B.2 SCHÉMA DU PRESSURISEUR



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

108/110

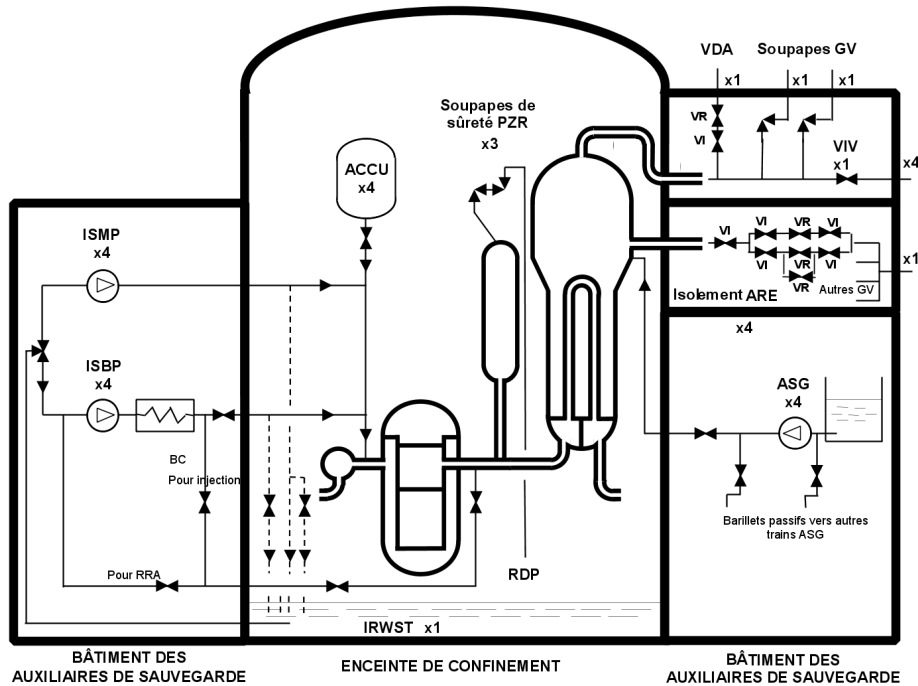
CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.ANNEXE15B.3 PRINCIPE DE CHUTE DE PRESSION DU GV

□

**FIG-15.ANNEXE15B.4 PRINCIPAUX SYSTÈMES FLUIDES F1A
(SCHÉMA FONCTIONNEL SIMPLIFIÉ)**





RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE

15

SECTION

ANNE-
XE15B

PAGE

110/110

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-15.ANNEXE15B.5 COURBES DE FUEL CENSUS

□