

Entité Propriétaire DT_ES_RS

Type doc NT NOTE TECHNIQUE-DESCRIPTIF-NOTE DE CALCUL

**JUSTIFICATION DE LA DEMANDE DES DISPOSITIONS
PARTICULIERES DES CONDITIONS D'APPLICATION DU TITRE
III DU DECRET 99.1046 - EVAPORATEURS DE
CONCENTRATION DE PRODUITS DE FISSION - EVAPORATEUR
4120-22 DE L'ATELIER R2**

Ce document contient des informations masquées dans l'objectif de garantir :

- la protection des installations,
- le secret industriel.

L'ASN détient la version complète de la présente note.

Edition GEIDE du 12/07/2016 - Etat Validé

Signataires :			
	<i>Nom</i>	<i>Entité</i>	<i>Visa</i>
Rédacteur			30/06/2016
Vérificateur			30/06/2016
Approbateur			30/06/2016

Les signatures électroniques portées ci-dessus sont garanties par la GEIDE





E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	MT	100807	12	00017	E	
CLIENT						

NOTE TECHNIQUE

JUSTIFICATION DE LA DEMANDE DES DISPOSITIONS PARTICULIERES DES CONDITIONS D'APPLICATION DU TITRE III DU DECRET 99.1046

EVAPORATEUR DE CONCENTRATION DE PRODUITS DE FISSION EVAPORATEUR 4120-22 de l'Atelier R2

CARACTERISANTS E&P	
UNITE CHAINE	
REPERE EQUIPEMENT	
BATIMENT BLOC	
NIVEAU	
SALLE	
SECTEUR (site)	
AIRE (site)	
CODE ARTICLE	
CARACTERISANTS AREVA NC HAGUE	
TYPE DOC	
AUTRE	
GROUPE	
FAMILLE	
SPEC.TECH.	

Rév.	Rédaction	Vérification	Approbation
E			

HISTORIQUE DES REVISIONS

Rév.	Signataires et repérages des paragraphes modifiés	
A	Approbation le : 19/11/2013 Rédacteur : ██████████ Vérificateur : ██████████ Approbateur : ██████████	N° de contrôle : 000.....
B	Approbation le : 30/12/2013 Rédacteur : ██████████ Vérificateur : ██████████ Approbateur : ██████████	N° de contrôle : 000.....
C	Approbation le : 13/01/2014 Rédacteur : ██████████ Vérificateur : ██████████ Approbateur : ██████████ Modification des §10 et §11	N° de contrôle : 000.....
D	Approbation le : 09/09/2014 Rédacteur : ██████████ Vérificateur : ██████████ Approbateur : ██████████	N° de contrôle : 000.....
E	Approbation le : Rédacteur : ██████████ Vérificateur : ██████████ Approbateur : ██████████	N° de contrôle : 000.....

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
CLIENT						

SOMMAIRE

1	OBJET DU DOCUMENT ET CHAMP D'APPLICATION	7
2	OBJET DE LA REVISION	7
3	SIGLES ET ABREVIATIONS	8
4	DOCUMENTS DE REFERENCE	9
5	DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DE L'EVAPORATEUR ESPN	10
5.1	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	10
5.2	CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT PROCEDE : DONNEES DE CONCEPTION.....	13
5.3	CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT CALOPORTEUR : DONNEES DE CONCEPTION	13
6	CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES	14
7	EXIGENCES REGLEMENTAIRES	16
7.1	APPLICABLES LORS DE SA FABRICATION.....	16
7.2	APPLICABLES A L'ESPN	16
7.2.1	Classement de l'équipement.....	16
7.2.2	Inspection périodique	16
7.2.3	Requalification périodique	17
8	OBSTACLES A LA MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS REGLEMENTAIRES.....	19

8.1	ENVIRONNEMENT DE L'ESPN	19
8.2	ACCESSIBILITE A L'EQUIPEMENT.....	21
8.3	EXAMEN VISUEL.....	22
8.4	MISE EN PRESSION (EPREUVE HYDRAULIQUE)	23
8.4.1	Compartiment nucléaire	23
8.4.2	Compartiment sous pression.....	23
8.5	PERIMETRE DE LA DEMANDE DE DISPOSITIONS PARTICULIERES	23
9	ESTIMATION DE LA PROBABILITE DE LA DEFAILLANCE	24
9.1	DETERMINATION DU FACTEUR FABRICATION.....	24
9.1.1	Dossier descriptif.....	24
9.1.2	Matériau	25
9.1.3	Présentation du dossier de calcul	25
9.1.4	Note de calcul statique	26
9.1.4.1	<i>Situation à la conception</i>	26
9.1.4.2	<i>Situation de service et épreuve réévaluée</i>	27
9.1.4.2.1	<i>Le matériau</i> :.....	27
9.1.4.2.2	<i>Cas pression à [REDACTED]</i>	28
9.1.4.2.3	<i>Cas pression à [REDACTED]</i>	33
9.1.5	Vérification au séisme	37
9.1.5.1	<i>Résultat et synthèse des épaisseurs limites en service pour les calculs statiques et sismiques</i>	44
9.1.6	Note de calcul en fatigue	46
9.1.7	Niveau du facteur de fabrication de l'équipement.....	53
9.2	DETERMINATION DU FACTEUR ETAT	54
9.2.1	Modes de dégradation	54
9.2.2	Etat général par : Examen visuel	55

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
CLIENT						

9.2.3	Etat face à la perte d'épaisseur par corrosion homogène et généralisée : Mesures d'épaisseur	59
9.2.3.1	Suivi de l'épaisseur résiduelle de l'équipement	60
9.2.3.1.1	<i>Techniques de mesures d'épaisseur existantes pour les évaporateurs PF</i>	60
9.2.3.1.2	<i>Etendue des mesures d'épaisseur pour l'évaporateur R2 4120-22</i>	61
9.2.3.1.3	<i>Dates des campagnes de mesures d'épaisseur</i>	63
9.2.3.1.4	<i>Synthèse des résultats des mesures d'épaisseur</i>	63
9.2.3.2	Critère de fin d'exploitation face à la perte d'épaisseur par corrosion	67
9.2.3.2.1	<i>Critère de fin d'exploitation</i>	67
9.2.3.2.2	<i>Application</i>	67
9.2.3.3	Conclusion sur l'état face la perte d'épaisseur par corrosion homogène et généralisée	68
9.2.4	Etat face au risque de fissuration par fatigue : Suivi de l'historique des cycles	68
9.2.4.1	Hypothèse de conception	68
9.2.4.2	Historique	68
9.2.4.3	Détermination d'une durée de vie de fonctionnement réduite par rapport à la fatigue	68
9.2.5	Niveau du facteur état de l'équipement	69
9.3	DETERMINATION DU FACTEUR DEGRADATION	69
9.3.1	Sensibilité de l'équipement face aux dégradations potentielles	70
9.3.2	Corrosion uniforme et généralisée	73
9.3.2.1	Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation	73
9.3.2.1.1	<i>Comportement du matériau face à la corrosion : Données expérimentales R&D et suivi corrosion</i>	73
9.3.2.1.2	<i>Comportement du matériau face à la corrosion : REX</i>	74
9.3.2.1.3	<i>Retour d'expérience des inspections</i>	74
9.3.2.1.4	<i>Probabilité d'apparition de la dégradation de type corrosion</i>	81
9.3.2.2	Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation	81
9.3.2.3	Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations	82
9.3.2.3.1	<i>Adéquation du suivi de la perte d'épaisseur</i>	82
9.3.2.3.2	<i>Adéquation du suivi de paramètres ayant une influence sur la corrosion</i>	83

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
CLIENT						

9.3.2.3.3	<i>Adéquation des inspections par rapport à la corrosion généralisée et uniforme</i>	85
9.3.2.4	Niveau du facteur de dégradation	86
9.3.3	Fatigue	86
9.3.3.1	Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation	86
9.3.3.2	Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation	86
9.3.3.3	Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations	87
9.3.3.3.1	<i>Ré évaluation de l'adéquation des inspections liées à la fatigue</i>	88
9.3.3.3.2	<i>Niveau du facteur de dégradation</i>	88
9.3.4	Facteur Global de dégradation de sécurité de l'équipement	89
9.4	DETERMINATION DU NIVEAU DE SECURITE DE L'ESPN	89
10	EVALUATION DES CONSEQUENCES DE LA DEFAILLANCE DE L'ESPN	90
10.1	RETOUR D'EXPERIENCE (REX)	90
10.1.1	Détection de l'évènement	90
10.1.2	Conséquences de l'évènement	90
10.2	RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DE L'ESPN	91
10.3	CONSEQUENCES SUR LE PERSONNEL	92
10.4	CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT	92
11	PERIMETRE DE LA DEMANDE D'AMENAGEMENT D'APPLICATION DU TITRE III POUR LE SUIVI EN SERVICE	93

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

1 OBJET DU DOCUMENT ET CHAMP D'APPLICATION

Les Equipements Sous Pression Nucléaires (ESPN) sont soumis aux dispositions de suivi en service du Titre III du décret [1] relatif aux Equipements Sous Pression. Ces dispositions sont précisées dans l'arrêté [2] dans son titre III et dans ses annexes 5 et 6.

De ce fait, l'évaporateur de concentration de Produits de Fission 4120-22 de l'atelier R2 de l'INB 117 est soumis à ces dispositions réglementaires de suivi en service. Il pourra être nommé "évaporateur R2 4120-22" dans la suite du document.

L'accessibilité à l'ESPN étant difficile du fait de son implantation et de l'ambiance radiologique, la totalité des gestes réglementaires n'est pas réalisable sur cet ESPN. Il doit ainsi faire l'objet d'une demande de décision individuelle d'octroi de dispositions particulières de suivi en service en absence de dérogation existante conformément au guide [3].

Le présent document, à l'appui de notre demande, comprend :

- La description de l'équipement et les justifications pour solliciter des modalités particulières de suivi en service,
- L'analyse des différents facteurs impactant la probabilité de défaillance de l'équipement et notamment l'analyse des données disponibles concernant :
 - sa fabrication,
 - son état,
 - sa sensibilité aux dégradations.
- Si le niveau de risque de défaillance est établi à fort, un plan de surveillance renforcé doit être présenté.

2 OBJET DE LA REVISION

L'objet de cette révision est la prise en compte des demandes complémentaires formulées :

- dans le courrier [4],
- Suite à la VdS du 2 décembre 2015 [5], l'équipement présente un risque de défaillance fort et la méthodologie du guide inter-exploitant ne peut donc être utilisée en appliquant les matrices de cotation.

Un plan de surveillance renforcée est présenté dans ce document conformément à la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire [6]

E&P	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type Doc.</th> <th>Activité</th> <th>Cat.MT</th> <th>N° Ordre</th> <th>Révision</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MT</td> <td>100807</td> <td>12</td> <td>0017</td> <td>E</td> </tr> </tbody> </table>	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	MT	100807	12	0017	E	REF
Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision								
MT	100807	12	0017	E								
AREVA NC		REF										

3 SIGLES ET ABREVIATIONS

ASV	Affiné Sous Vide
CND	Contrôle Non Destructif
DE	Double-Enveloppe
DEX	Dossier d'EXploitation
DMF	Durée Minimale de Fonctionnement
EF	Eau surchauffée
ESPN	Equipements Sous Pression Nucléaire
GRC	Grand Rayon de Carre
INB	Installation Nucléaire de Base
OIHA	Organisme Indépendant Habilité par l'ASN
PF	Produits de Fission
PG	Performance Globale
PI	Performance Intrinsèque
POES	Programme d'Opération, d'Entretien et de Surveillance
PS	Pression maximale admissible
RPS	Rapport Provisoire de Sûreté
ZIS	Zone Identifiée Sensible

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

4

DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] Décret 99.1046 du 13 décembre 1999 relatif aux Equipements Sous Pression.
- [2] Arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux Equipements Sous Pression Nucléaires.
- [3] CODEP – DEP – 2013 – 034129 : Conditions particulières d'application du Titre III du décret 99 – 1046 aux Equipements Sous Pression Nucléaire.
- [4] CODEP – DRC – 2015 – 050405 : Demande d'information sur la gestion par AREVA du risque présenté par les évaporateurs de produits de fission des usines UP3 et UP2-800 La Hague.
- [5] CODEP – DEP – 2014 – 017304 : Rejet des demandes de conditions particulières d'application du titre III du décret du 13 décembre 1999 aux équipements sous pression nucléaires du 9 avril 2014.
- [6] Décision de l'Autorité de sûreté nucléaire de juin 2016 relative aux évaporateurs concentrateurs de solutions de produits de fission des installations nucléaires de base no 116, dénommée « usine UP3 A », et no 117, dénommée « usine UP2 800 », exploitées par AREVA NC dans l'établissement de La Hague (département de la Manche).
- [7] AS 100807 00 0005 G : Justification du classement de l'évaporateur 4120 – 22 de l'atelier R2 en « ESPN de Niveau 2 » selon l'arrêté du 12 décembre 2005.
- [8] Décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux.
- [9] Arrêté du 21 décembre 1999 relatif à la classification et à l'évaluation de conformité des équipements sous pression.
- [10] Arrêté du 15 Mars 2000 relatif à l'exploitation des équipements sous pression.
- [11] Fiche COLEN n°24 : Vérification intérieure des équipements.
- [12] CODEP – DEP – 2013 – 066339 : Transmission de dossiers de demandes d'octroi de conditions particulières d'application du titre III du décret 99.1046 à des équipements sous pression nucléaires.
- [13] 2015-70511 : Rapport d'inspection contrôle visuel de l'évaporateur PF 4120-22 de l'atelier R2.
- [14] 2015-69369 : Fiches de contrôle test en pression ESPN - Evaporateur 4120-22 de l'atelier R2 année 2015.
- [15] NT 100807 12 0005 : Dossier Descriptif de l'évaporateur 4120 – 22 de l'atelier R2.
- [16] 1996-4625 v 1.0 : Note de calcul partie chaudronnerie.
- [17] 1996-4626 v 1.0 : Note de calcul ½ coquilles et double enveloppe.
- [18] NT 1202 12 002 003 Rév. B : Note de calcul : Contrainte thermique et fatigue.
- [19] 1996-25117 v 1.0 : Atelier R2 – étude sismique des évaporateurs PF repere 4120-21-22-23.
- [20] NT 100210 12 0017 Rév. B : Note de calcul – Détermination des épaisseurs minimales - Tenue à la pression.
- [21] NT 100210 12 0006 : Evaporateur marmite de l'atelier R2 - détermination des épaisseurs minimales - Tenue à la pression.
- [22] NT 100210 12 0007 B : Note de calcul en fatigue des évaporateurs R2 et T2 4120-21/22/23.
- [23] NT 100210 12 0004 D : Evaporateur marmite de l'atelier R2 - Calculs de tenue sismique - Analyse mécanique.
- [24] NT 100210 12 0016 B : Evaporateurs marmite de l'atelier R2 - Calculs de tenue sismique () - Analyse mécanique.
- [25] NT 100807 00 0017 D : Inventaire des équipements ESPN du site AREVA NC de La Hague.
- [26] 2015-56815 : Note de justification : calculs en fatigue des ESPN.
- [27] 2013 - 29913 : Programme des Opérations d'Entretien et de Surveillance (POES) – Evaporateur 4120 – 22 de l'Atelier R2.

E&P	Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision	REF
AREVA NC	NT 100807 12 0017 E	REF

- [28] 2005-11322 v16.0 : Consigne d'exploitation – Atelier R2 – Unités 4120/4160.
 [29] Courrier COR ARV 3SE INS 13-003 : Guide inter-exploitant des conditions particulières d'application du Titre III du décret 99.1046 aux équipements relevant des annexes 5 et 6 de l'arrêté du 12 décembre 2005.

5 DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DE L'EVAPORATEUR ESPN

5.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement et les caractéristiques des flux traités dans l'évaporateur sont présentés dans l'Analyse de Sûreté de justification de classement en niveau de l'ESPN, [7].

L'évaporateur est constitué de cinq compartiments indissociables (Figure 1) :

- un compartiment procédé en dépression contenant des produits de fission à concentrer dont l'activité est supérieure à 370 GBq,
- quatre compartiments sous pression (demi-coquilles de chauffe) soudés extérieurement sur la virole ou le fond du compartiment procédé et contenant le fluide caloporteur (EF : eau surchauffée) sans activité radiologique :
 - une demi-coquille latérale supérieure (■),
 - une demi-coquille latérale inférieure (■),
 - deux demi-coquilles en fond de bouilleur (■).

E&P	Type Doc.	Activité	Ca.LMT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

Evaporateur 4120-22 atelier R2

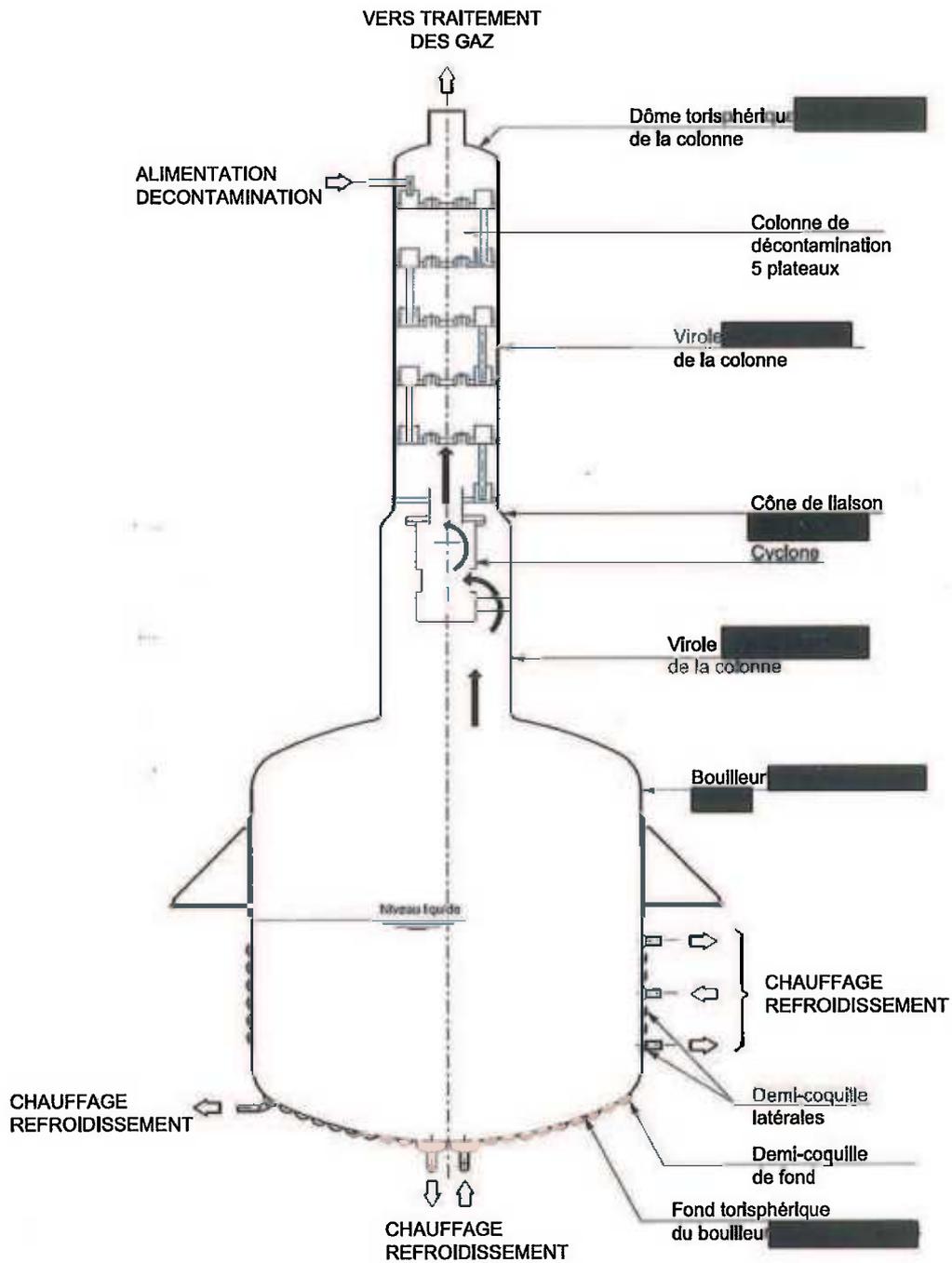


Figure 1 - Schéma descriptif de l'évaporateur R2 4120-22.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

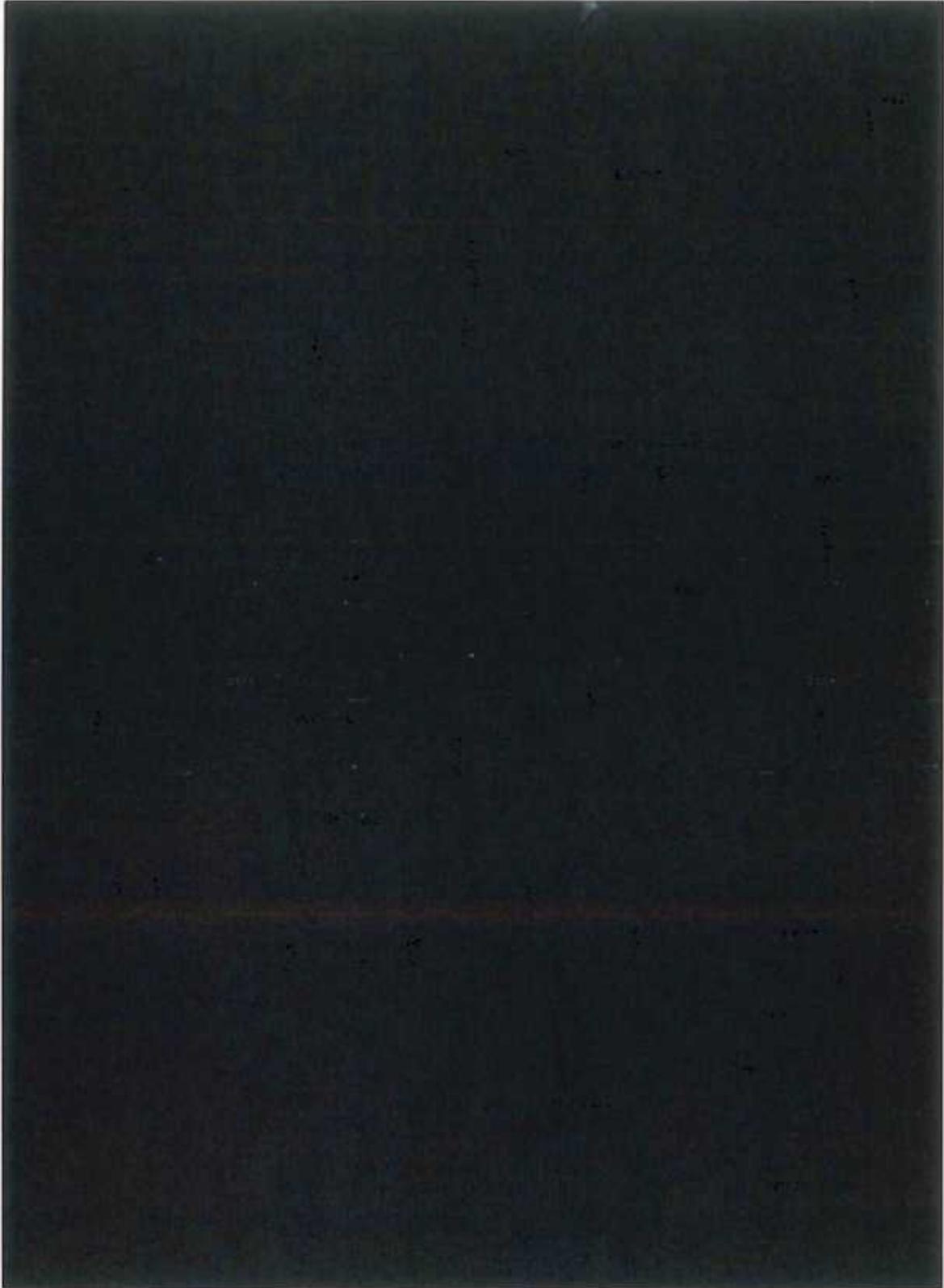


Figure 2 - Schéma de principe de l'évaporateur R2 4120-22 et son circuit caloporteur 4160.

**5.2 CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT
PROCEDE : DONNEES DE CONCEPTION**

Données	Unité(s)	Compartiment procédé
Fluide		Concentrats PF
Masse Volumique	kg.m ⁻³	■
Pression Normale de service	bar relatif	■
Pression de calcul	bar relatif	■
Température Normale de service	°C	■
Volume total	L	■
Volume Utile	L	■

**5.3 CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU COMPARTIMENT
CALOPORTEUR : DONNEES DE CONCEPTION**

Données	Unité(s)	Compartiment caloporteur (½ coquilles)
Fluide		Eau glacée / Eau surchauffée
Masse Volumique	kg.m ⁻³	■
Pression Maximale Admissible (PS)	bar relatif	Actuelle : 12 Future : 10,3 (*)
Température Maximale Admissible	°C	155 (**)
Volume Boucle	m ³	■
Volume Utile ½ Coquilles	L	■
Volume ½ coquille latérale supérieure	L	■
Volume ½ coquille latérale inférieure	L	■
Volume ½ coquilles fond du bouilleur	L	■

(*) La PS actuelle est à 12 bar relatif, et sera modifiée à l'issus de l'instruction par l'OIHA en tant que modification notable (la chauffe actuelle sur les évaporateurs PF en fonctionnement est autour de la valeur de 10,3 bar relatif).

(**) Le dépassement incidentel de la température normale de l'EF est contrôlé par un seuil de température haute (■) sur la sortie EF de l'échangeur ■ dont l'atteinte arrête automatiquement l'envoi de vapeur sur l'échangeur. Ce TCGH est fixé à ■

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES

L'évaporateur R2 4120-22 est constitué (Figure 1) :

- d'une colonne de décontamination à plateaux à calottes, avec en partie basse un cyclone « casse-mousses »,
- d'un bouilleur (ou pot).

Les principales caractéristiques de l'évaporateur R2 4120-22 sont les suivantes :

- hauteur totale : [REDACTED]
- hauteur de la colonne : [REDACTED]
- hauteur du bouilleur : [REDACTED]
- diamètre intérieur du bouilleur : [REDACTED]
- diamètre intérieur de la colonne : [REDACTED] (réduction) / [REDACTED] (colonne),
- volume utile : [REDACTED]
- volume total : [REDACTED]

Le matériau constitutif de l'évaporateur R2 4120-22 est [REDACTED] ([REDACTED]), de désignation normée [REDACTED].

Les épaisseurs nominales d'approvisionnement des différents composants de l'évaporateur R2 4120-22 sont (représenté Figure 3 selon le code couleur défini ci-dessous) :

- Colonne (Partie haute) : [REDACTED] (Orange)
- Colonne (Partie basse) : [REDACTED] (Vert)
- Bouilleur (Fonds GRC) : [REDACTED] (Bleu)
- Bouilleur (Virole) : [REDACTED] (Rouge)
- Demi-coquilles : [REDACTED] (Rose)

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

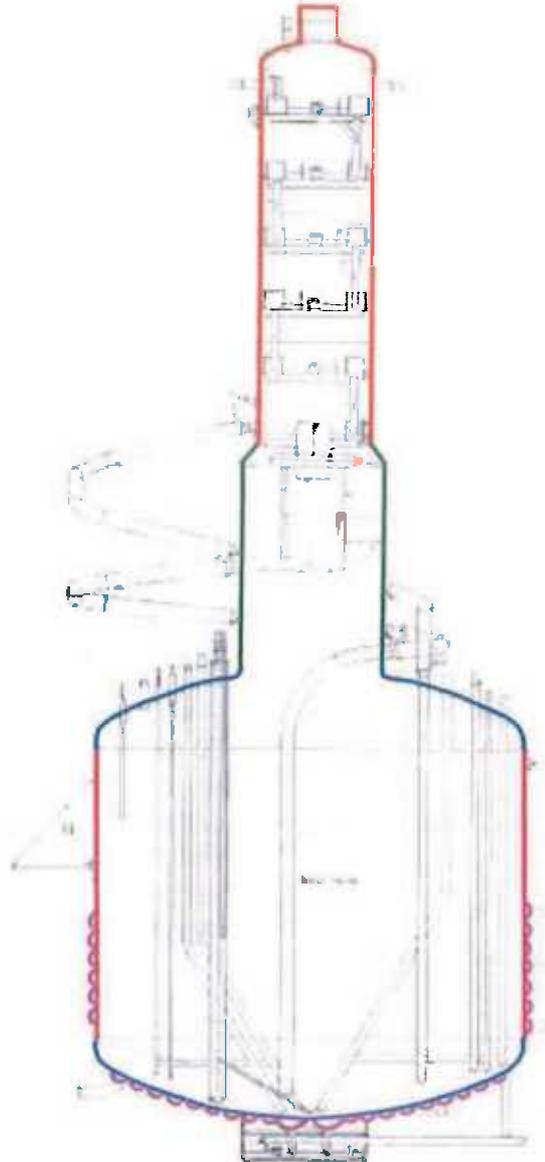


Figure 3 - Epaisseurs nominales de fabrication des tôles de l'évaporateur R2 4120-22.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
AREVA NC	NT	100807	12	0017	E	REF

7 EXIGENCES REGLEMENTAIRES

7.1 APPLICABLES LORS DE SA FABRICATION

L'équipement bien que non soumis au décret du 2 avril 1926 [8] « portant règlement sur les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux » a respecté les exigences de ce décret tant pour sa conception, sa fabrication que pour sa mise en service.

L'évaporateur R2 4120-22 a été conçu, fabriqué (épreuve initiale le 12/03/90 [redacted] – Voir DER 1202 12 001 226 A) et mis en service le 09 Août 1994 avant l'évolution réglementaire de 1999 / 2000 (Décret 99.1046 du 13 décembre 1999 [1], Arrêté du 21 décembre 1999 [9] et Arrêté du 15/03/2000 [10]).

Il a été demandé un régime dérogatoire vis-à-vis de l'Arrêté du 15/03/2000 [10] pour la réalisation des contrôles réglementaires compte tenu :

- de sa conception entièrement soudée sans partie démontable,
- de la difficulté d'accéder à son contact périodiquement, sans entreprendre des actions complexes de rinçage / décontamination avec un risque résiduel important pour le personnel intervenant (exposition / non mise en sécurité des personnes, ...).

7.2 APPLICABLES A L'ESPN

7.2.1 Classement de l'équipement

L'évaporateur 4120-22 de concentration des Produits de Fission (PF) de l'Atelier R2 relève du classement N2 et de catégorie IV selon les exigences des arrêtés du 12 décembre 2005 [2] et du 21 décembre 1999 [9].

Le fluide caloporteur (eau surchauffée) appartient aux fluides de Groupe 2. Cependant, d'après l'article 4 de l'arrêté [2], si l'équipement est de niveau N1 ou N2, comme c'est le cas pour l'évaporateur R2 4120-22, les critères de classement des fluides de groupe 1 sont à appliquer même si le fluide est de groupe 2.

D'après les annexes 5 et 6 de l'arrêté ESPN [2], si l'équipement est un récipient de catégorie I à IV et de niveau N1 ou de catégorie II à IV et de niveau N2 ou N3 contenant un fluide autre qu'un liquide dont la pression de vapeur, à la température maximale admissible, est inférieure ou égale à 0,5 bar au-dessus de la pression atmosphérique normale alors cet équipement est soumis à l'inspection périodique et à la requalification périodique.

L'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2 est un équipement de niveau N2 et de catégorie IV, alors il est soumis à l'inspection périodique et à la requalification périodique.

7.2.2 Inspection périodique

En application de l'annexe 5 de l'arrêté ESPN [2], l'inspection périodique doit comprendre une vérification extérieure et intérieure de l'équipement ainsi qu'une vérification extérieure des accessoires de sécurité installés sur l'équipement.

E&P	Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision	REF
AREVA NC	NT 100807 12 0017 E	REF

D'après l'annexe 5 de l'arrêté ESPN [2], la vérification extérieure et intérieure de l'équipement porte sur toutes les parties visibles après exécution de toutes les mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles.

De ce fait, comme l'explique l'annexe 3 du courrier [3], si, par conception, il n'existe aucune partie visible après exécution de toutes les mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles, la vérification visuelle porte donc sur un ensemble de parties vides.

L'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2 est entièrement soudé par conception, ainsi la vérification visuelle intérieure porte sur un ensemble de parties vides.

La fiche COLEN n°24 [11] précise tout de même que « pour un équipement qui, par conception, ne présenterait aucune partie interne visible après exécution de toutes les mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles, l'absence de vérification intérieure doit être prise en compte :

- par l'exploitant qui définira dans le programme des opérations d'entretien et de surveillance les modalités de contrôles adaptés aux modes de dégradation redoutés,
- par l'organisme indépendant habilité et accepté qui réalise ou fait réaliser lors de la requalification périodique de l'équipement tout examen ou essai complémentaire jugé utile. »

En application de l'annexe 5 de l'arrêté ESPN [2], l'intervalle entre deux inspections périodiques ne peut dépasser 40 mois.

7.2.3 Requalification périodique

En application de l'annexe 6 de l'arrêté ESPN [2], la requalification périodique d'un équipement comprend les opérations suivantes :

- une inspection de requalification périodique ;
- une épreuve hydraulique (ou une épreuve de résistance) ;
- la vérification des accessoires de sécurité qui le protègent.

L'inspection de requalification périodique comprend :

- une vérification intérieure et une vérification extérieure de l'équipement, y compris des assemblages permanents réalisés sur l'équipement et des accessoires sous pression installés sur l'équipement ;
- une vérification de l'existence et de l'adéquation du dossier descriptif, de la notice d'instructions et du dossier d'exploitation ;
- tout examen ou essai complémentaire jugé utile par l'organisme ou le service d'inspection reconnu.

Elle porte sur toutes les parties visibles après exécution de toutes les mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles.

L'épreuve est réalisée au vu des résultats favorables de l'inspection. Elle consiste à maintenir l'équipement à une pression égale [] de la pression maximale admissible PS.

E&P	Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision	REF
AREVA NC	NT 100807 12 0017 E	REF

Dans le cas d'un équipement multi-compartmenté, l'épreuve hydraulique s'applique à tous les compartiments dont la pression maximale admissible est supérieure à 0,5 bar relatif. En effet, aucune épreuve hydraulique n'est à prévoir sur un compartiment qui ne peut fonctionner qu'en dessous de 0,5 bar relatif. Ainsi, si un compartiment ne peut fonctionner qu'en dessous de 0,5 bar relatif comme c'est le cas du compartiment nucléaire de l'évaporateur R2 4120-22 (voir § 5.2), aucune épreuve hydraulique n'est à réaliser.

En effet, il est précisé dans l'annexe 1 du courrier [12] que « la mise en pression du compartiment nucléaire en dépression n'est pas une exigence réglementaire ».

En application de l'annexe 6 de l'arrêté ESPN [2], l'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2 est un récipient sur lequel les critères de classement des fluides de groupe 1 sont à appliquer, l'intervalle entre deux requalifications périodiques ne peut donc dépasser 5 ans (soit 60 mois).

E&P	Type Doc.	Activité	Cal.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

OBSTACLES A LA MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS REGLEMENTAIRES

8.1 ENVIRONNEMENT DE L'ESPN

L'évaporateur R2 4120-22 est situé dans une cellule en zone inaccessible au personnel () en dépression par rapport aux locaux adjacents accessibles et par rapport à la pression atmosphérique au moyen du réseau de ventilation bâtiment ().

La cellule d'implantation de l'évaporateur est une cellule () classée ().
La cellule est donc entièrement fermée.

L'épaisseur des murs en béton armé de la cellule () est de :

- o voile Ouest : ()
- o voile Est ()
- o voile Nord : ()
- o voile Sud : ()

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

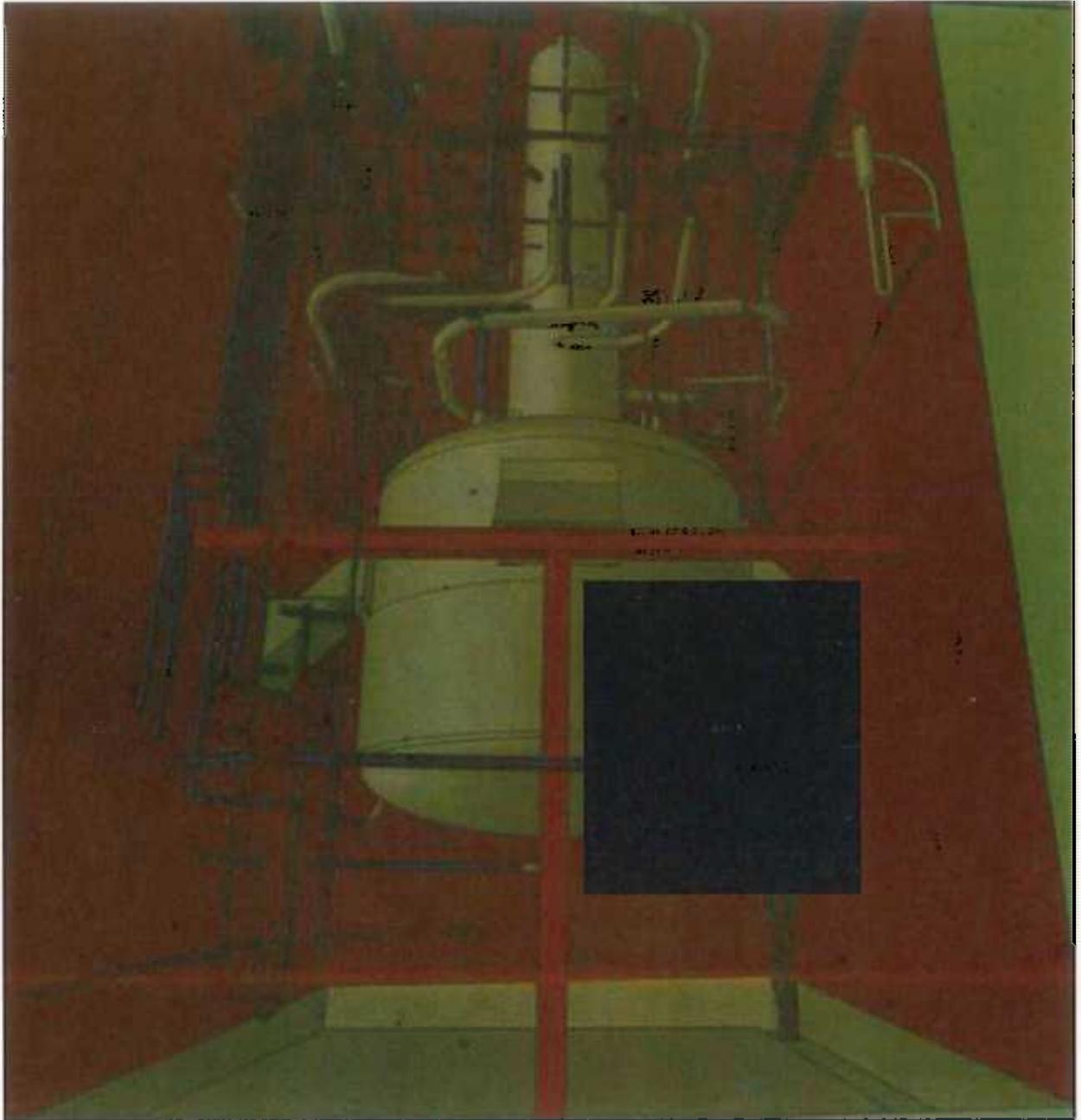


Figure 4 - Vue 3D de l'évaporateur R2 4120-22 dans la cellule [REDACTED]

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

8.2 ACCESSIBILITE A L'EQUIPEMENT

L'équipement est situé dans une cellule [REDACTED]. En conformité avec nos standards de conception, des passages d'endoscope au nombre de deux existent sur le voile entre la [REDACTED] et [REDACTED] adjacente (local [REDACTED]).

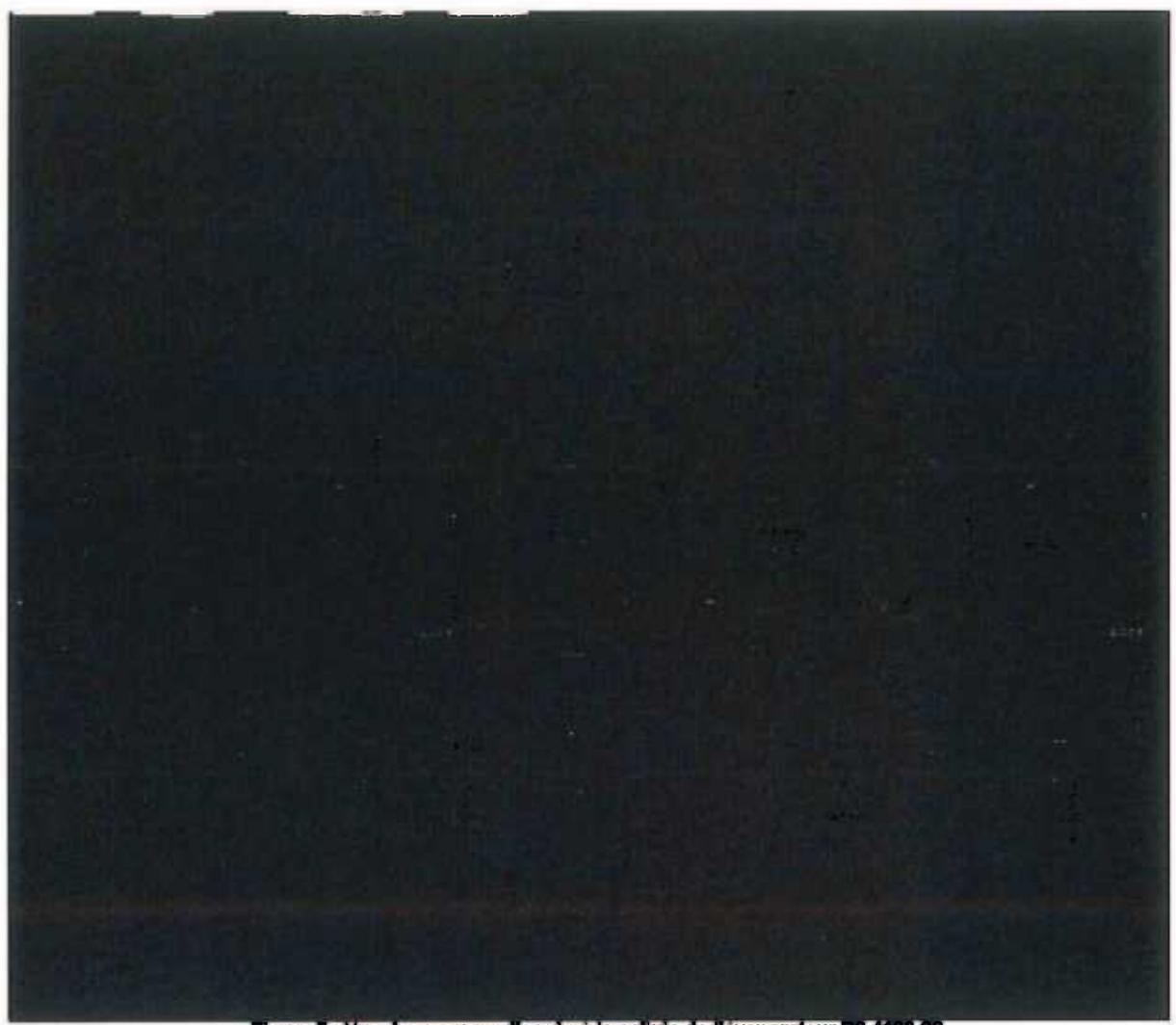


Figure 5 - Vue des moyens d'accès à la cellule de l'évaporateur R2 4120-22.

E&P	Type Doc.	Activité	CaLMT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

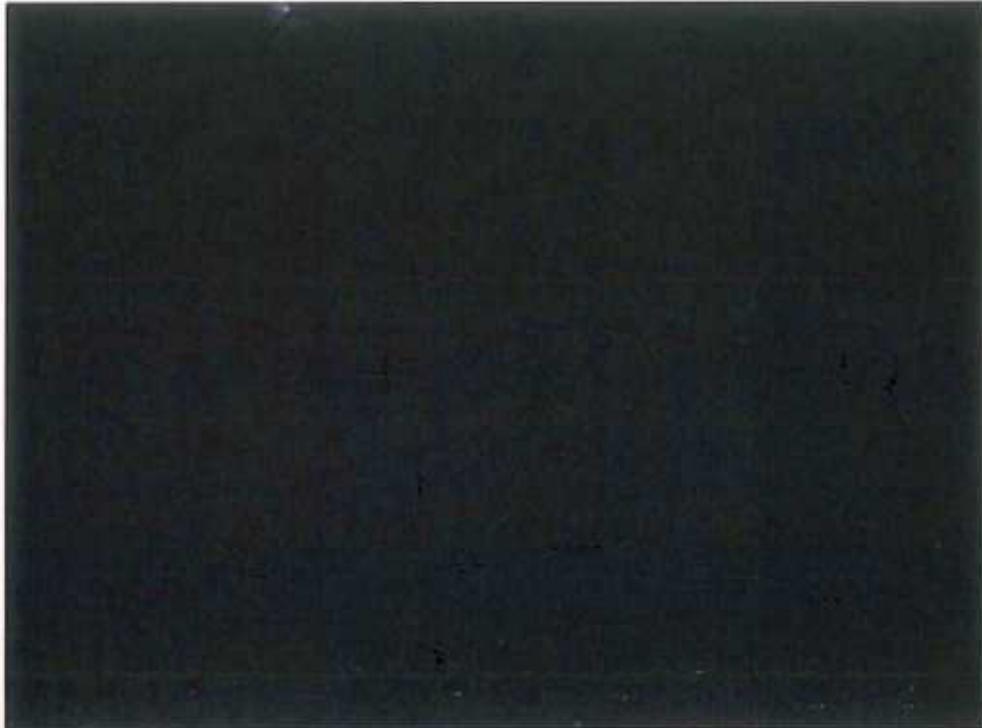


Figure 6 - Fourreaux d'endoscope.

L'implantation de l'évaporateur de concentration de produits de fission 4120-22 de l'atelier R2 en zone inaccessible (dosimétrie extrêmement élevée) rend les inspections réglementaires impossibles.

Les débits de dose relevés dans le cadre de la campagne de mesures d'épaisseur réalisées entre fin d'année 2012 et début d'année 2013 sur l'évaporateur PF (évaporateur vidangé, rincé, rempli partiellement avec de l'eau) sont les suivants :

- entre [redacted] au niveau des ouvertures des bouchons d'endoscopes,
- entre [redacted] dans la cellule zone [redacted] du mur,
- entre [redacted] dans la cellule zone [redacted] du mur,
- de [redacted] dans le sas d'intervention en zone [redacted] de l'ouverture.

L'accès au contact de l'équipement est donc impossible avec les débits de dose environnants. Le REX sur les rinçages [redacted] préalable au démontage de [redacted] montre qu'il est difficile de faire abaisser le débit de dose environnant sans endommager le matériau constitutif de l'évaporateur avec plusieurs rinçages corrosifs.

8.3 EXAMEN VISUEL

L'équipement est un équipement sous pression nucléaire à multi compartiments entièrement soudé, en conformité avec les standards de conception des équipements nucléaires situés dans les cellules de zone 4 afin de prévenir et réduire les risques dans les cellules (en [redacted] des Usines UP2 – 400, UP2 – 800 et UP3), sans élément démontable permettant d'effectuer les inspections visuelles internes des différents compartiments.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

L'examen visuel externe des parois de l'équipement sera partiel compte tenu de l'implantation de l'équipement en [REDACTED] et des possibilités d'introduction de moyens de vision à distance au travers des fourreaux d'endoscope existants.

Pour l'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2, la surface pouvant être inspectée l'ensemble [REDACTED] et [REDACTED] de la surface totale. [REDACTED] en présence d'un organisme mandaté par l'ASN en octobre 2015. Le compte rendu de cette inspection est consultable dans la note [13].

8.4 MISE EN PRESSION (EPREUVE HYDRAULIQUE)

8.4.1 Compartiment nucléaire

Dans le cas d'un équipement multi-compartmenté tel que l'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2, le compartiment nucléaire est en dépression en fonctionnement normal, ainsi aucune épreuve hydraulique n'est réalisée sur le compartiment nucléaire.

8.4.2 Compartiment sous pression

Le test en pression des compartiments caloporteurs de l'équipement a été réalisé en octobre 2015 [14].

8.5 PERIMETRE DE LA DEMANDE DE DISPOSITIONS PARTICULIERES

La vérification extérieure et intérieure de l'équipement n'est réalisable que partiellement compte tenu des éléments suivants :

- Son implantation dans une cellule de [REDACTED] dont l'ouverture induit une exposition élevée des intervenants ;
- Le nombre limité de passages d'endoscopes ;
- L'ambiance radiologique à proximité de l'équipement.

Ces difficultés motivent la demande d'aménagement pour l'application des dispositions particulières de suivi en service de cet équipement, avec un programme de surveillance renforcé.

ESTIMATION DE LA PROBABILITE DE LA DEFAILLANCE

Conformément à la méthode d'élaboration d'un dossier de demande de conditions particulières d'application du titre III du décret du 13 décembre 1999 [1] aux ESPN [3], l'analyse du niveau de sécurité de l'équipement doit être réalisée de manière itérative, en partant de la situation réelle de l'équipement, puis, si besoin, en intégrant les mesures compensatoires à mettre en œuvre au fur et à mesure de l'analyse et de la connaissance de l'équipement.

Les facteurs à considérer pour l'estimation de ce niveau de sécurité sont définis dans [3] :

- Facteur Fabrication
- Facteur Etat
- Facteur Dégradation

9.1 DETERMINATION DU FACTEUR FABRICATION

« Le facteur fabrication concerne tous les éléments qui permettent d'évaluer le niveau de qualité de fabrication de l'équipement et le niveau de confiance que l'on peut attribuer à cette qualité. Il est basé sur un dossier de fin de fabrication et l'état descriptif de l'équipement.

Ces éléments peuvent être complétés par des expertises de l'équipement incluant des contrôles directement sur l'équipement, des reprises de calculs,....

Les niveaux de probabilité sont définis comme suit :

- **Niveau 1** : Equipement conforme à un code de construction ou à une norme harmonisée et dont le dossier de fabrication est complet,
- **Niveau 2** : Equipement conforme aux règles de l'art ou équipement dont les éléments pertinents du dossier de fabrication ont été reconstitués par l'exploitant sur la base de données du fabricant, quel que soit le référentiel de construction (code, norme, règles de l'art,...),
- **Niveau 3** : Absence de dossier de fabrication de l'équipement ».

9.1.1 Dossier descriptif

L'équipement a été conçu conformément au référentiel réglementaire et normatif de l'époque et par rapport aux standards de conception, il dispose d'un dossier descriptif [15] comprenant les documents qui attestent de sa conformité.

Le Dossier Descriptif de l'équipement [15] est conforme à la réglementation de l'époque et conforme à la réglementation actuelle au travers de son contenu :

- Notes de calcul,
- Plans d'ensemble,
- Plans de détails,
- Procédures et qualification (LOFC, Cahier de soudage, PV de qualification des modes opératoires de soudage, Qualification des soudeurs, Procédure de traitement thermique, Procédure de CND...),
- Documents de contrôles et épreuves (Contrôle des approvisionnements, Certificats matière, PV d'état des lieux, PV de contrôle dimensionnel, PV de CND, Plans de repérage radios...),

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

- Documents essais et recette (PV d'épreuve au vide, PV d'épreuve hydraulique, PV de contrôle dimensionnel, Plan d'identification matières...).

9.1.2 Matériau

Le matériau utilisé pour la fabrication de l'évaporateur R2 4120-22 est [REDACTED].

Successivement dénommé [REDACTED] a été effectué suite à sa mise au point par le [REDACTED] entre [REDACTED] et [REDACTED]. [REDACTED] a été développé spécifiquement pour des applications en [REDACTED] (jusqu'à [REDACTED]) contenant [REDACTED].

Un suivi de la qualité des demi-produits a été réalisé tout au long du processus d'approvisionnement lors de la fabrication des évaporateurs PF de R2 selon le référentiel technique d'AREVA : l'ensemble des exigences de qualité d'élaboration de [REDACTED] a été pris en compte par l'intermédiaire de la définition de critères de qualité et de contrôles de l'approvisionnement matière des tôles, des tubes sans soudures, des barres, des pièces forgées et des métaux d'apport utilisés dans la construction des évaporateurs.

9.1.3 Présentation du dossier de calcul

- Dossier de conception d'origine :
 - Calcul statique
 - 1996-4625 v 1.0 : Note de calcul partie chaudronnerie [16].
 - 1996-4626 v 1.0 : Note de calcul ½ coquilles et double enveloppe [17].
 - Calcul Fatigue
 - NT 1202 12 001 003 Rév. A : Note de calcul : Contrainte thermique et fatigue [18]
 - Calcul au séisme
 - 1996-25117 v 1.0 : Atelier R2 – étude sismique des évaporateurs PF repere 4120-21-22-23 [19].
 - NT 100210 12 0017 : Note de calcul – Détermination des épaisseurs minimales - Tenue à la pression [20].
- Dossier de calcul – Pression de Calcul [REDACTED] bars :
 - Calcul statique
 - NT 100210 12 0006 : Evaporateur marmite de l'atelier R2 – détermination des épaisseurs minimales– tenue à la pression [21].
 - Calcul Fatigue
 - NT 100210 12 0007 B : Note de calcul en fatigue des évaporateurs R2 et T2 4120-21/22/23 [22].
 - Calcul au Séisme :
 - NT 100210 12 0004 D : Evaporateur marmite de l'atelier R2 - Calculs de tenue sismique – Analyse mécanique [23].
- Dossier de calcul – Pression de Calcul [REDACTED] bars :
 - Calcul statique
 - NT 100210 12 0017 : Note de calcul – Détermination des épaisseurs minimales - Tenue à la pression [20].
 - Calcul Fatigue

- NT 100210 12 0007 B : Note de calcul en fatigue des évaporateurs R2 et T2 4120-21/22/23 [22].
 - Calcul au Séisme :
- NT 100210 12 0016 B : Evaporateurs marmite de l'atelier R2 - Calculs de tenue sismique [dossier] - Analyse mécanique [24].

9.1.4 Note de calcul statique

Lors de la conception de l'évaporateur R2 4120-22, des notes de calcul statiques ont été réalisées :

- Note de calcul partie chaudronnerie [16],
- Note de calcul ½ coquilles et double enveloppe [17],

9.1.4.1 Situation à la conception

L'équipement a été dimensionné avec les éléments suivants :

- Le Code de calcul utilisé : [redacted] avec majoration de la pression d'épreuve (2 x Ps)
- Les conditions de calculs :
 - Chargement :

Le chargement mécanique considéré pour le corps de l'évaporateur est la superposition des cas élémentaires :

- Pression maximale de service dans l'évaporateur en tête de colonne,
- pression hydrostatique du liquide de solution PF

En condition de design, la masse volumique du liquide est [redacted]. La pression hydrostatique résultante sur les parois de l'évaporateur est calculée pour chacun des éléments de la paroi selon la loi linéaire suivante :

[redacted]

Équation 1 - Loi de calcul de la pression hydrostatique.

Où H représente le niveau liquide dans l'équipement.

	Corps
Température de calcul :	[redacted]
Pression d'épreuve au point bas de l'évaporateur (position verticale) :	[redacted]
Pression d'épreuve au point haut de l'évaporateur (position verticale) :	[redacted]
Volume de liquide :	[redacted]
Densité de service :	[redacted]

Tableau 1 - Situation de service prévue à la conception.

En condition d'épreuve, la masse volumique est de [redacted] au lieu de [redacted], et la pression en tête de colonne est de [redacted] au lieu de [redacted].

	Corps
Température de calcul :	██████████
Pression d'épreuve au point bas de l'évaporateur (position verticale) :	██████████
Densité d'épreuve :	██████████

Tableau 2 - Situation d'épreuve du corps.

- Pression dans les doubles enveloppes de chauffe exercées sur les parois de l'évaporateur et de la demi-coquille.
 - La situation de service prévue à la conception

	½ coquilles
Température de calcul :	██████████
Pression intérieure max	██████████
Volume de liquide :	██████████
Densité de service :	██████████

Tableau 3 - Situation de service prévue à la conception.

- La situation d'épreuve initiale :

	½ coquilles
Température de calcul :	██████████
Pression d'épreuve cuve :	██████████
Densité d'épreuve :	██████████

Tableau 4 - Situation d'épreuve des ½ coquilles (██████████).

Il y a majoration de la pression d'épreuve des ½ coquilles de l'équipement puisque celle-ci est égale ██████████.

9.1.4.2 Situation de service et épreuve réévaluée

9.1.4.2.1 Le matériau :

L'évaporateur est réalisé en ██████████.

- ██████████ (cuve et colonne) :

Module d'Young
 Coefficient de Poisson
 Densité
 Limite élastique ██████████
 Limite de rupture ██████████
 Limite élastique ██████████



- [REDACTED] (½ coquilles) :

Module d'Young
 Coefficient de Poisson
 Densité
 Limite élastique [REDACTED]
 Limite de rupture
 Limite élastique [REDACTED]

⋮
 ⋮
 ⋮
 ⋮
 ⋮
 ⋮

- Contraintes admissibles :

- Conditions normales de service :

[REDACTED]

- Conditions exceptionnelles de service :

[REDACTED]

Avec :

- $R_{p1,0}^t$: valeur minimale garantie de la limite conventionnelle d'élasticité à [REDACTED] à la température de calcul.
- R_m^t : valeur minimale garantie de la résistance à la traction à la température de calcul.

On obtient la contrainte nominale de calcul f suivant la température (température ambiante [REDACTED] et de calcul à [REDACTED]) :

Conditions normales	[REDACTED]						
	[REDACTED]						

Pour rappel, la température de calcul est de [REDACTED]

Conditions exceptionnelles	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

Tableau 5 - Contraintes admissibles

9.1.4.2.2 Cas pression [REDACTED]

En 2011, suite au constat de pertes d'épaisseurs, les calculs réalisés à la conception ont été repris afin de définir les épaisseurs limites vis-à-vis de la tenue mécanique de l'équipement.

Ces calculs ont été repris dans une nouvelle note de calcul statique : NT 100210 12 0006 Evaporateur marmite de l'atelier R2 – Détermination des épaisseurs minimales – tenue à la pression [21].

L'équipement a été vérifié avec les éléments suivants :

- Code de calcul utilisé : [REDACTED]
- Logiciel utilisé : [REDACTED]
- Les conditions de calculs :
 - Chargement :

La pression de calcul dans la double enveloppe exercée sur les parois de la cuve de l'évaporateur et les parois de la demi-coquille est prise égale à Ps. La pression hydrostatique due au fluide contenu sur les parois de l'équipement est ajoutée. Les conditions de calcul sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

- Situation de Service réévaluée

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	[REDACTED]	[REDACTED]
Pression intérieure max :	[REDACTED]	[REDACTED]
Pression intérieure min :	[REDACTED]	[REDACTED]
Hauteur de liquide :	[REDACTED]	[REDACTED]
Densité en service :	[REDACTED]	[REDACTED]

*Nota : La prise en compte d'une température de calcul [REDACTED] provient du REX de l'exploitation

- Vérification dans les conditions d'épreuve demi-coquilles (1,2 PS conformément à la réglementation ESPN en vigueur)

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	[REDACTED]	[REDACTED]
Pression d'épreuve compartiment procédé :	[REDACTED]	[REDACTED]
Hauteur de liquide :	[REDACTED]	[REDACTED]
Densité en épreuve :	[REDACTED]	[REDACTED]

Les charges locales appliquées sur les tubulures de l'évaporateur sont issues des efforts et moments forfaitaires maximaux du référentiel technique interne en adéquation avec les normes en vigueur.

Ci-dessous le modèle utilisé avec les différentes zones étudiées :



E&P

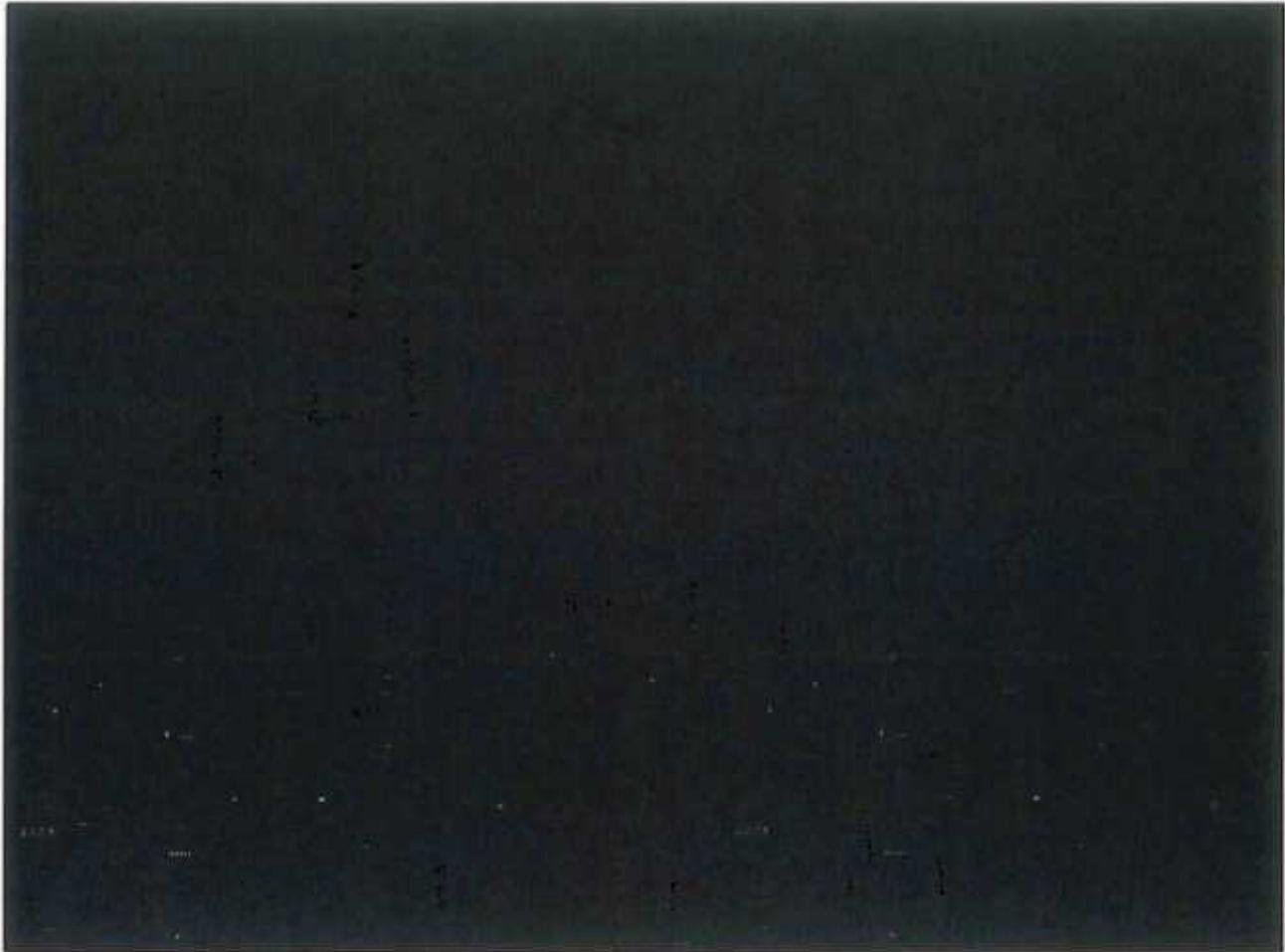
Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision
NT	100807	12	0017	E

REF

AREVA
NC

--

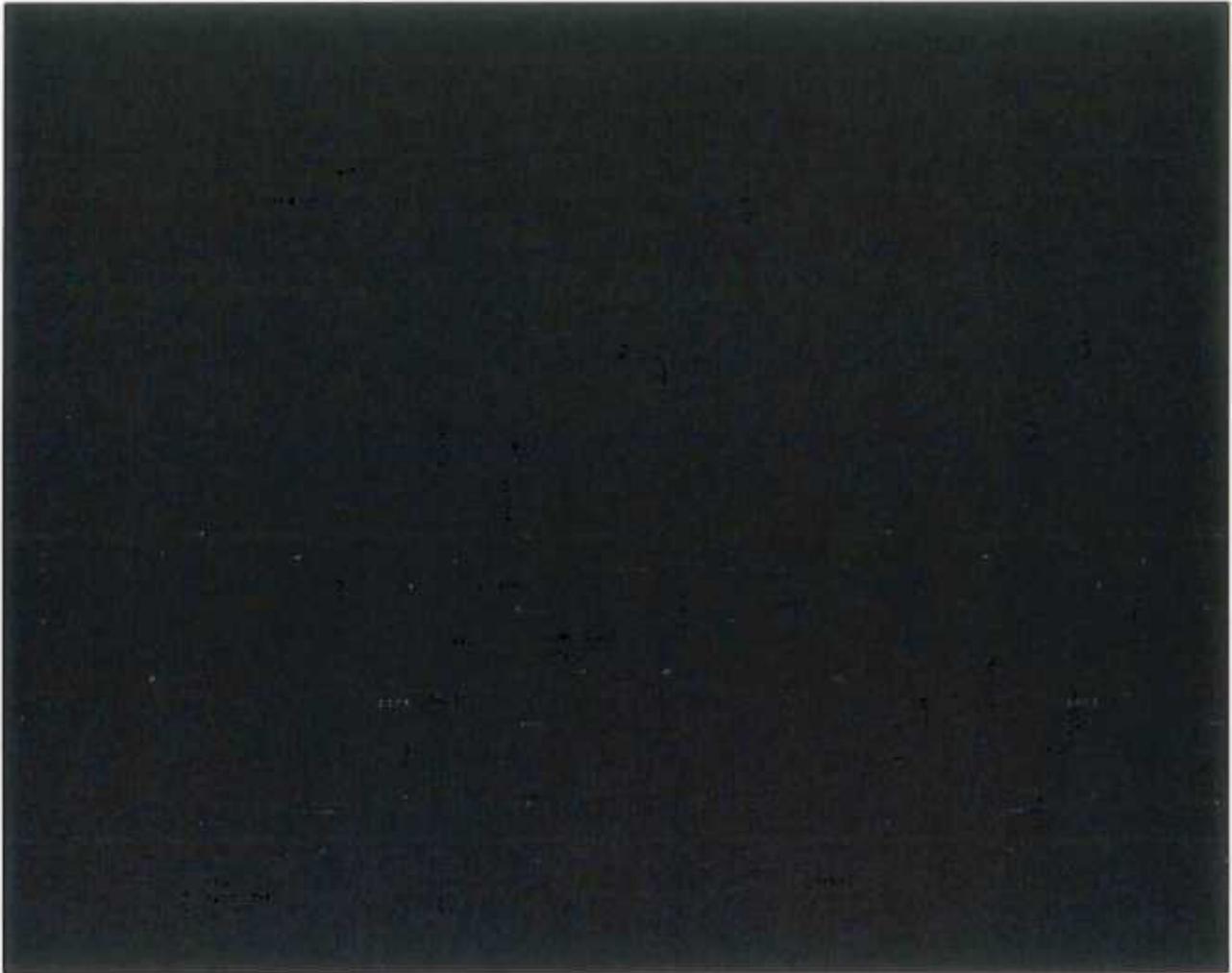
REF



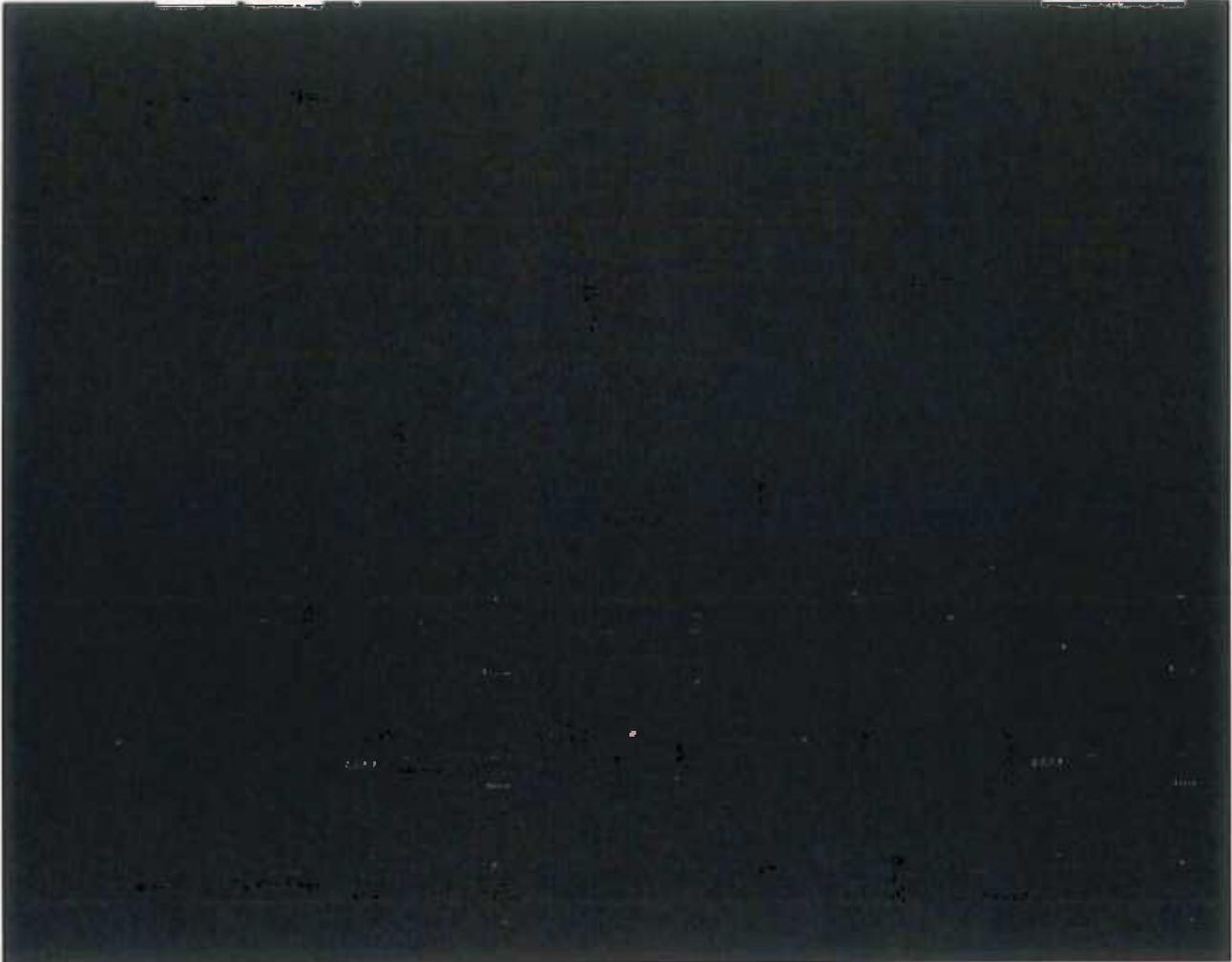


E&P	Type Doc.	Activité	Ca.LMT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

Le calcul est effectué pour une épaisseur de virole de [REDACTED] et une épaisseur de demi-coquille de [REDACTED]



Au niveau de l'arrivée d'EF les épaisseurs considérées sont les suivantes :



Les contraintes obtenues sont les suivantes :

Position	Situation	Contrainte (MPa)		Admissible (MPa)		Ratio membrane	Ratio membrane + flexion
		Membrane	Membrane + flexion	Membrane	Membrane + flexion		
Fond	Service						
	Epreuve réglementaire						
Rayon carre	Service						
	Epreuve réglementaire						
Virole	Service						
	Epreuve réglementaire						

La tenue est donc garantie pour une situation de service à [redacted] et une situation d'épreuve réglementaire à [redacted] pour une épaisseur de virole et de fond au niveau des ½ coquilles de [redacted].

9.1.4.2.3 Cas pression à [REDACTED]

Afin de prolonger la durée de vie des évaporateurs tout en gardant des marges acceptables vis-à-vis des codes de calculs actuels, il a été retenu d'abaisser la pression maximale admissible (PS) de fonctionnement de l'évaporateur. Cette baisse de PS est soumise à l'instruction d'une modification notable par un organisme habilité.

L'instruction de cette modification est en cours, toutefois afin de donner une vision globale du dossier technique de l'équipement le cas du calcul pour une pression maximale admissible à [REDACTED] bar eff. est présenté ci-dessous.

Ces calculs ont été repris dans une nouvelle note de calcul statique : NT 100210 12 0017 Evaporateur marmite de l'atelier R2 – Détermination des épaisseurs minimales – tenue à la pression [25].

L'équipement a été vérifié avec les éléments suivants :

- Code de calcul utilisé : [REDACTED]
- Logiciel utilisé : [REDACTED]
- Les conditions de calculs :
 - Chargement :

La pression de calcul dans la double enveloppe exercée sur les parois de la cuve de l'évaporateur et les parois de la demi-coquille est prise égale à Ps. La pression hydrostatique due au fluide contenu sur les parois de l'équipement est ajoutée. Les conditions de calcul sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

- Situation de Service réévaluée

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	[REDACTED]	[REDACTED]
Pression intérieure max :	[REDACTED]	[REDACTED]
Pression intérieure min :	[REDACTED]	[REDACTED]
Hauteur de liquide :	[REDACTED]	[REDACTED]
Densité en service :	[REDACTED]	[REDACTED]

***Nota :** La prise en compte d'une température de calcul à [REDACTED] provient du REX de l'exploitation Le non dépassement de cette valeur est garanti par la présence d'une alarme avec arrêt automatique de la chauffe dans la suite de l'exploitation de l'équipement

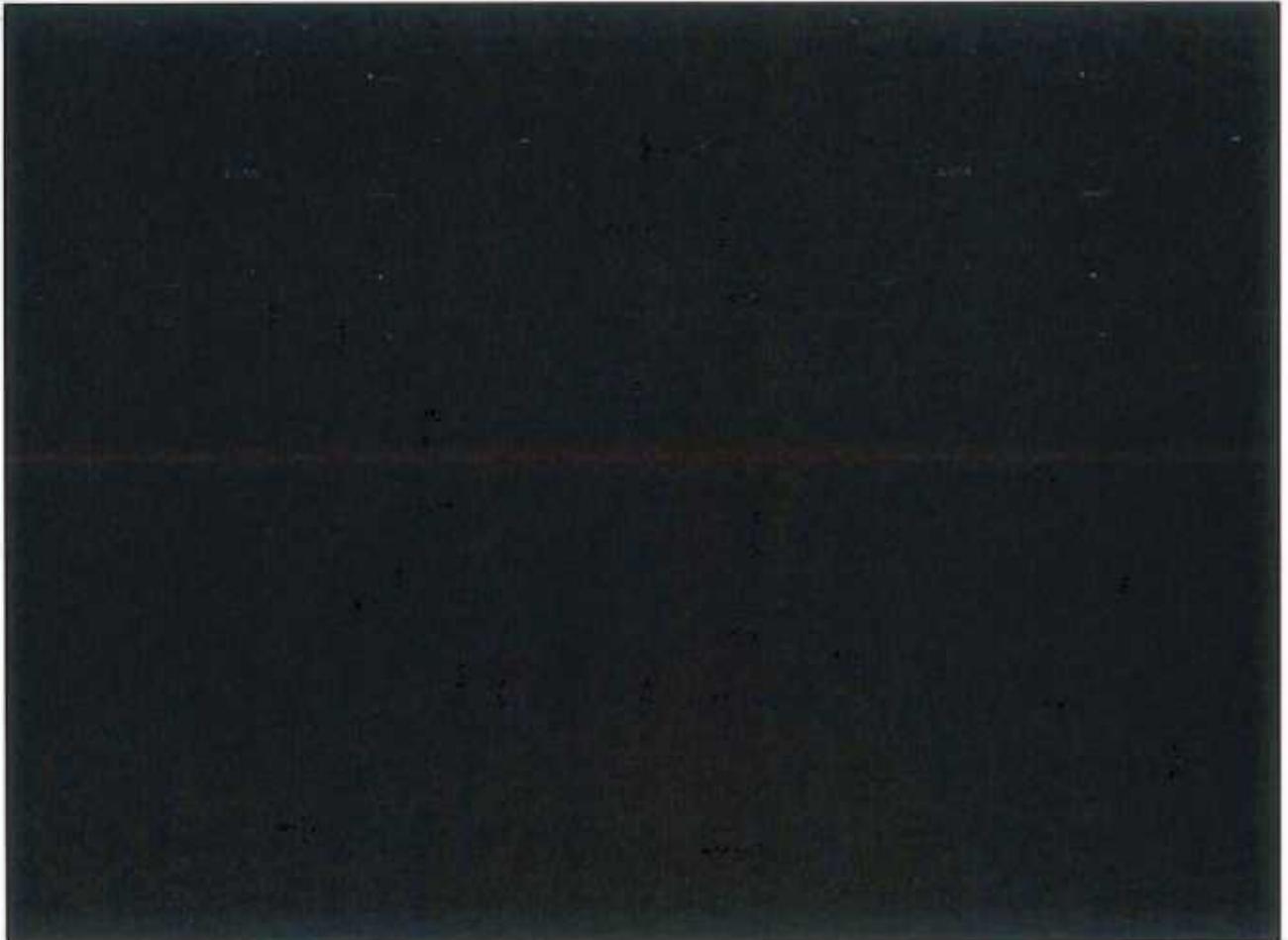
- Vérification dans les conditions d'épreuve demi-coquilles (1,2 PS conformément à la réglementation ESPN en vigueur)

	Corps	½ coquilles
Température de calcul :	█	█
Pression d'épreuve compartiment procédé:	█	█
	█	
Hauteur de liquide :	█	█
Densité en épreuve :	█	█

* Nota : █ = █

Les charges locales appliquées sur les tubulures de l'évaporateur sont issues des efforts et moments forfaitaires maximaux du référentiel technique interne en adéquation avec les normes en vigueur.

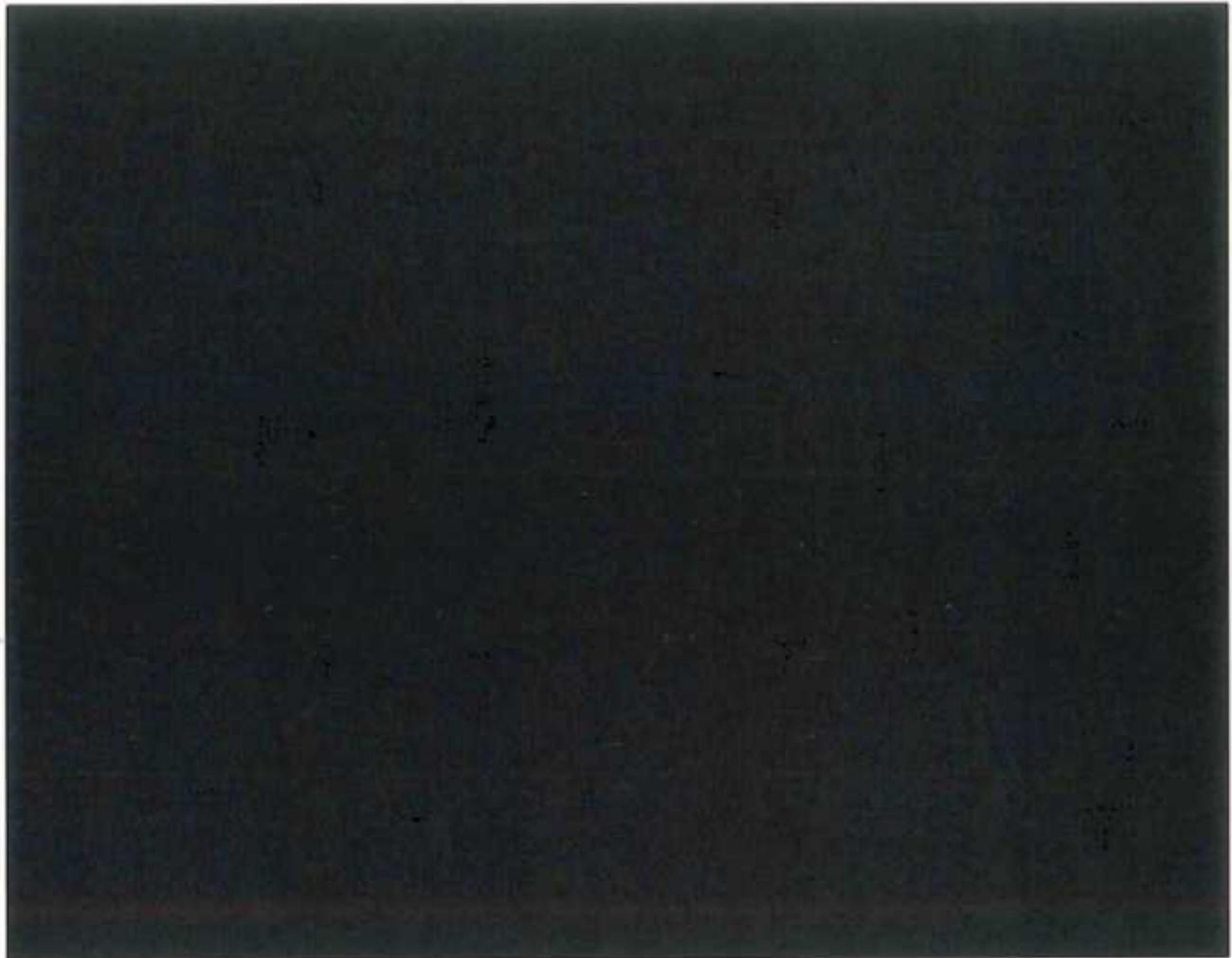
Ci-dessous le modèle utilisé avec les différentes zones étudiées :





E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

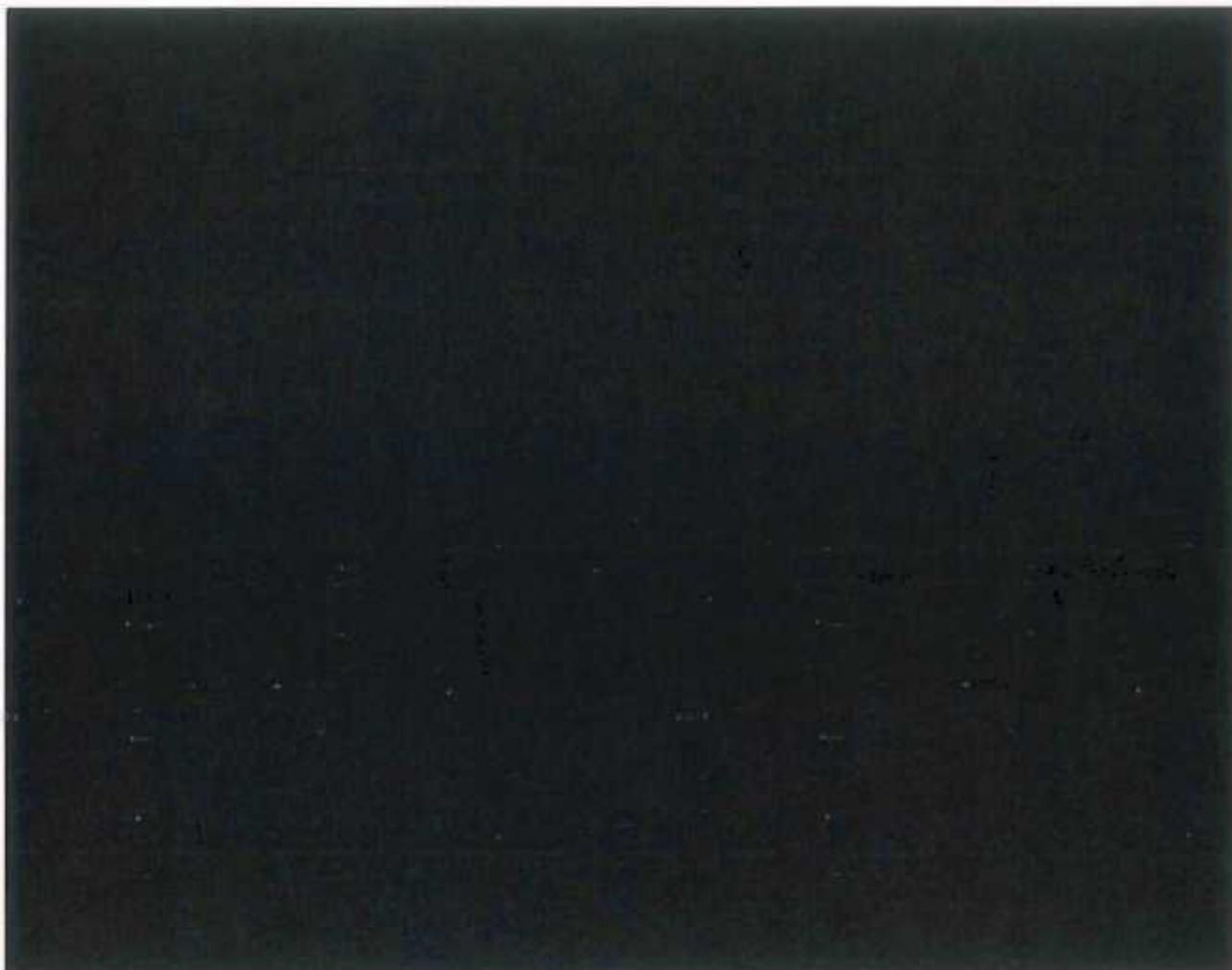
Le calcul est effectué pour une épaisseur de virole [REDACTED] et une épaisseur de demi-coquille [REDACTED]





E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

Au niveau du raccordement d'alimentation des ½ coquilles, les épaisseurs considérées sont les suivantes :



Les contraintes obtenues sont les suivantes :

Position	Situation	Contrainte (MPa)		Admissible (MPa)		Ratio	Ratio	
		Membrane	Membrane + Flexion	Membrane	Membrane + Flexion	Membrane	Membrane+Flexion	
Fond	Service							
	Epreuve							
Rayon carre	Service							
	Epreuve							
Virole	Service							
	Epreuve							

La tenue est donc garantie pour une situation de service à [REDACTED] et une situation d'épreuve (essai de résistance) à [REDACTED] bar pour une épaisseur de virole et de fond au niveau des ½ coquilles

9.1.5 Vérification au séisme

Lors de la conception de l'évaporateur PF 4120-21 de R2, une note sismique a été réalisée [21]. Cette note a permis de vérifier la suffisance des épaisseurs définies lors du dimensionnement. Cette note a vérifié le comportement sous Spectre [REDACTED] des évaporateurs PF repère 4120/21/22/23 du bâtiment R2, bloc B. sur la base d'un modèle représentatif de l'ensemble L'exigence de sûreté de l'appareil est "b1": l'appareil doit conserver son étanchéité après un séisme SMS. Cette exigence se traduit par la vérification des critères au niveau [REDACTED] du code [REDACTED] pour la combinaison des chargements en situation normale avec le chargement accidentel lié au séisme. Le spectre [REDACTED] utilisé à la conception de l'équipement est enveloppe du Séisme Majoré de Sûreté (SMS) de référence du site de La Hague. Pour les raisons évoquées au paragraphe 9.1.4.2, cette note de calcul a été reprise pour les couples de pressions et d'épaisseurs suivantes :

- [REDACTED] / épaisseur [REDACTED] :
 - NT 100210 12 0004 D : Evaporateur marmite de l'atelier R2 - Calculs de tenue sismique – Analyse mécanique [23]
- [REDACTED] / épaisseur [REDACTED] :
 - NT 100210 12 0016 B : Evaporateurs marmite de l'atelier R2 - Calculs de tenue sismique [REDACTED] (dossier [REDACTED]) - Analyse mécanique [24]
 - Les conditions de calculs :
 - Chargement :

Les conditions de calcul sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

	Cas [REDACTED]	Cas [REDACTED]
Pression de service dans l'évaporateur:	[REDACTED]	[REDACTED]
Température de calcul :	[REDACTED]	[REDACTED]
Hauteur de liquide :	[REDACTED]	[REDACTED]
Densité en service :	[REDACTED]	[REDACTED]
Pression de service dans les ½ coquilles:	[REDACTED]	[REDACTED]

La prise en compte du chargement en pression dans les ½ coquilles est faite en cumulant la contrainte issue du calcul éléments finis de la virole et du fond inférieur à celles issues du calcul statique ou sismique

Les cas de chargements suivant ont été combinés.

Désignation des cas de charge :

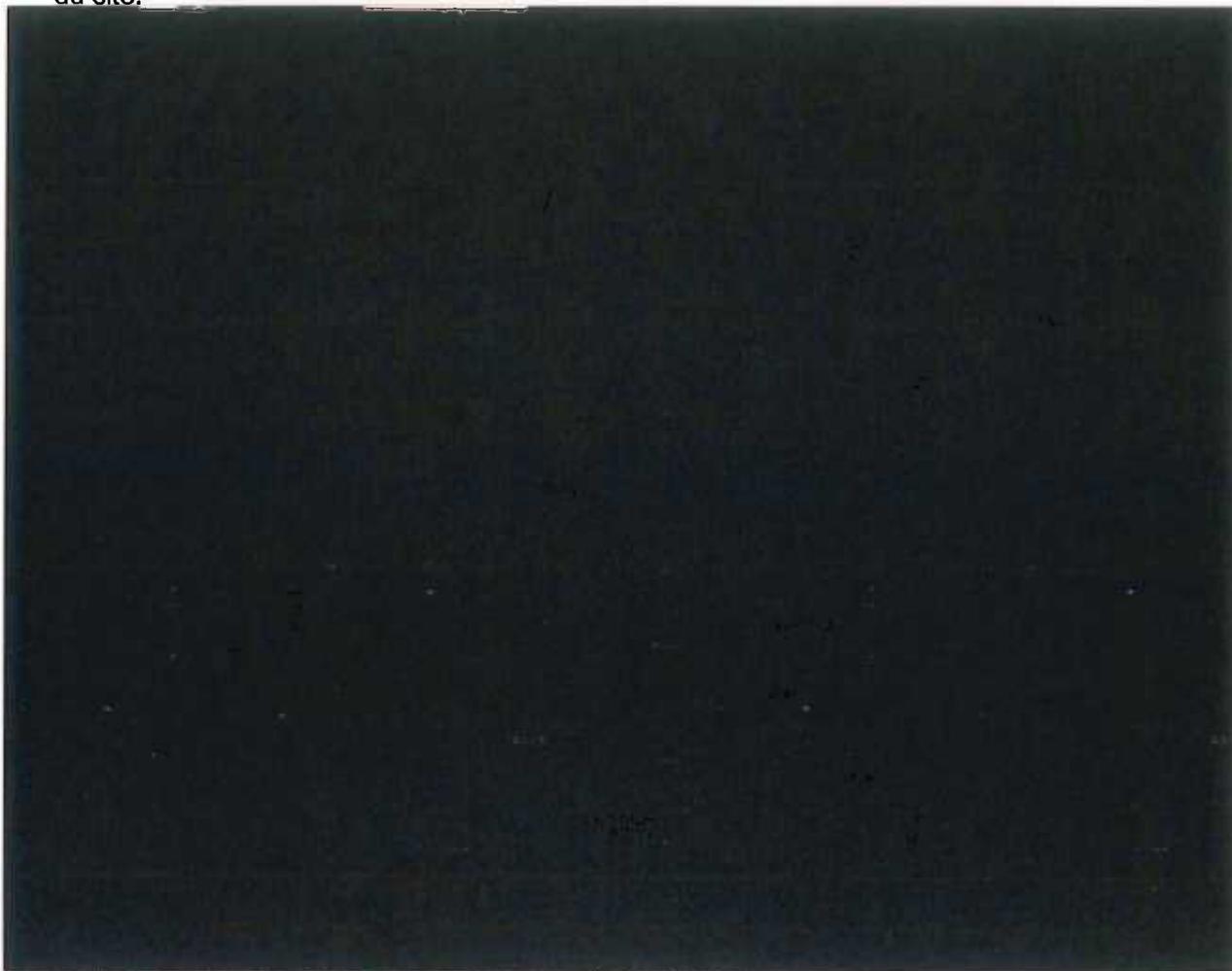
- Pp + P : Poids propre + Pression (de service et hydrostatique)
- [REDACTED] : Spectre utilisé à la conception
- Tuy : Torseurs sur tuyauterie

Désignation des combinaisons de cas de charge retenus pour l'analyse :

- (Pp + P) ± [REDACTED] ± Tuy

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

Pour les chargements d'origine sismique, les spectres utilisés sont ceux pris en compte pour les calculs de dimensionnement à la conception, ils sont enveloppes des Spectres Majorés de Sûreté du site.



Spectre enveloppe d'accélération verticale

Spectre enveloppe d'accélération horizontale

Par ailleurs, les coefficients d'amortissement suivants ont été considérés :

- Pour les tuyauteries [REDACTED]
- Pour l'évaporateur [REDACTED]
- Pour la charpente [REDACTED]

D'après le [REDACTED], la contrainte équivalente admissible pour un critère [REDACTED] est calculée de la manière suivante : [REDACTED]

Les contraintes admissibles dans les plaques sont donc:

Avec séisme ([REDACTED]):

Matériau	Température	Pm	Pm + Pb

Pm : contraintes de membrane générale

Pm + Pb : contraintes de membrane générale + contraintes de flexion

o Modélisation :

La modélisation ainsi que les calculs par éléments finis sont réalisés à l'aide du logiciel [REDACTED]

Les demi-coquilles de chauffage ne sont pas modélisées. Nous les prenons en compte ainsi que l'eau contenue par un calcul de raideur et de masse équivalente.

Les plateaux ainsi que le cyclone ne sont pas modélisés. Nous les prenons en compte en tant qu'élément masse.

La surépaisseur de corrosion et les tolérances de fabrication sur les divers composants sont prises en compte en diminuant l'épaisseur des éléments. La matière corrodée ne résiste plus au chargement mais, de manière très conservatrice, sa masse est considérée encore présente au sein de la cuve et contribue à la sollicitation sismique. Ainsi, la masse volumique du matériau est augmentée artificiellement de telle sorte que la masse de la cuve est identique à celle correspondant aux épaisseurs nominales.

Les torseurs aux interfaces entre l'appareil et les tuyauteries sont pris en en considérant les efforts forfaitaires moyens à l'exception du piquage P6 pour lequel les efforts sont issus de la note d'origine.

La pression de service ([REDACTED]) ainsi que la pression hydrostatique (suivant un gradient de pression, $P = \rho.g.z$ pour une densité de [REDACTED]) sont appliquées sur les faces internes des coques de l'enceinte chaudronnée.

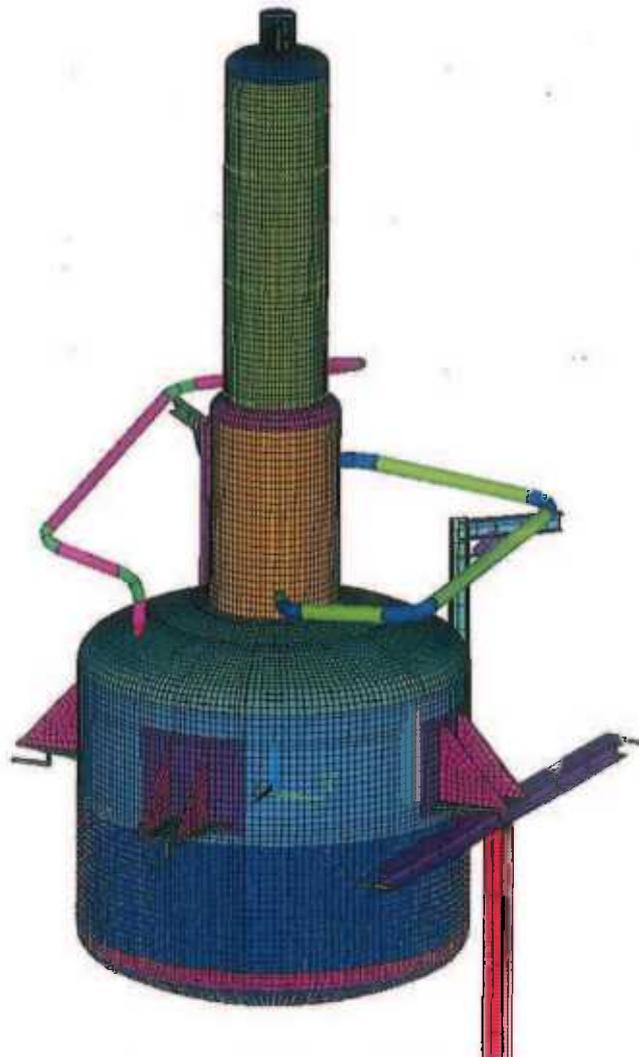
La masse de fluide est modélisée par des éléments masses ponctuelles attachés aux nœuds de la cuve, elle est décomposée sur chacun de ces nœuds. Ces masses correspondent à la masse de liquide "vue" par les éléments de la cuve dans les 3 directions.

La modélisation est construite sur la base des épaisseurs de calcul définie ci-après avec prise en compte des masses correspondant aux épaisseurs nominales.

E&P	Type Doc.	Activité	CaLMT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF



* Nota : Afin de prendre en compte la présence des ½ coquilles, une épaisseur équivalente a été calculée et considérée dans le modèle élément fini



Vue d'ensemble de la modélisation

○ Résultats :

Cas [REDACTED] :

		Enveloppe de l'évaporateur				Ratio max vis-à-vis de l'admissible	
		Pm	Admissible Pm	Pm + Pb	Admissible Pm + Pb		
Cuve Fond inférieur	Sans DE (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
	Avec DE (T2)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
	Coupole	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
Cuve virole	Sans DE (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
	Avec DE (T2)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
Cuve Fond Supérieur (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■	
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■	
Colonne Virole (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■	
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■	
Colonne Virole (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■	
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■	
Colonne Fond (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■	
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■	



E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

		Pm	Admissible Pm	Pm+Pb	Admissible Pm + Pb	Ratio max vis-à-vis de l'admissible
Console (T1)	(Pp+P) + piquages	■	■	■	■	■
	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■

(1) : Ces valeurs intègrent les contraintes de liées à la pression dans les ½ coquilles (contrainte de membrane).

(2) : Ces valeurs intègrent les contraintes liées à la pression dans les ½ coquilles (contrainte de membrane + flexion).

Les contraintes sont inférieures aux admissibles : l'enceinte chaudronnée satisfait aux critères de dimensionnement

			Enveloppe de l'évaporateur (MPa)				Ratio max vis-à-vis de l'admissible
			Pm	Admissible Pm	Pm + Pb	Admissible Pm + Pb	
Cuve Fond inférieur	Sans DE (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
	Avec DE (T2)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
	Coupole	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
Cuve virole	Sans DE (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
	Avec DE (T2)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
		(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■
Cuve Fond Supérieur (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■	
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■	
Colonne Virole (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■	
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■	
Colonne Virole (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■	
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■	
Colonne Fond (T1)	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■	
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■	

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

		Pm	Admissible Pm	Pm+Pb	Admissible Pm + Pb	Ratio max vis-à-vis de l'admissible
Console (TI)	(Pp+P) + piquages	■	■	■	■	■
	(Pp+P) + SMS + piquages	■	■	■	■	■
	(Pp+P) - SMS + piquages	■	■	■	■	■

(1) : Ces valeurs intègrent les contraintes de liées à la pression dans les ½ coquilles (contrainte de membrane).

(2) : Ces valeurs intègrent les contraintes liées à la pression dans les ½ coquilles (contrainte de membrane + flexion).

Les contraintes sont inférieures aux admissibles : l'enceinte chaudronnée satisfait aux critères de dimensionnement.

9.1.5.1 **Résultat et synthèse des épaisseurs limites en service pour les calculs statiques et sismiques**

La synthèse des épaisseurs limites pour les calculs à ■■■■■ et à ■■■■■ relatif est faite dans les deux tableaux suivants (le numéro des zones est définie dans la Figure 7).

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

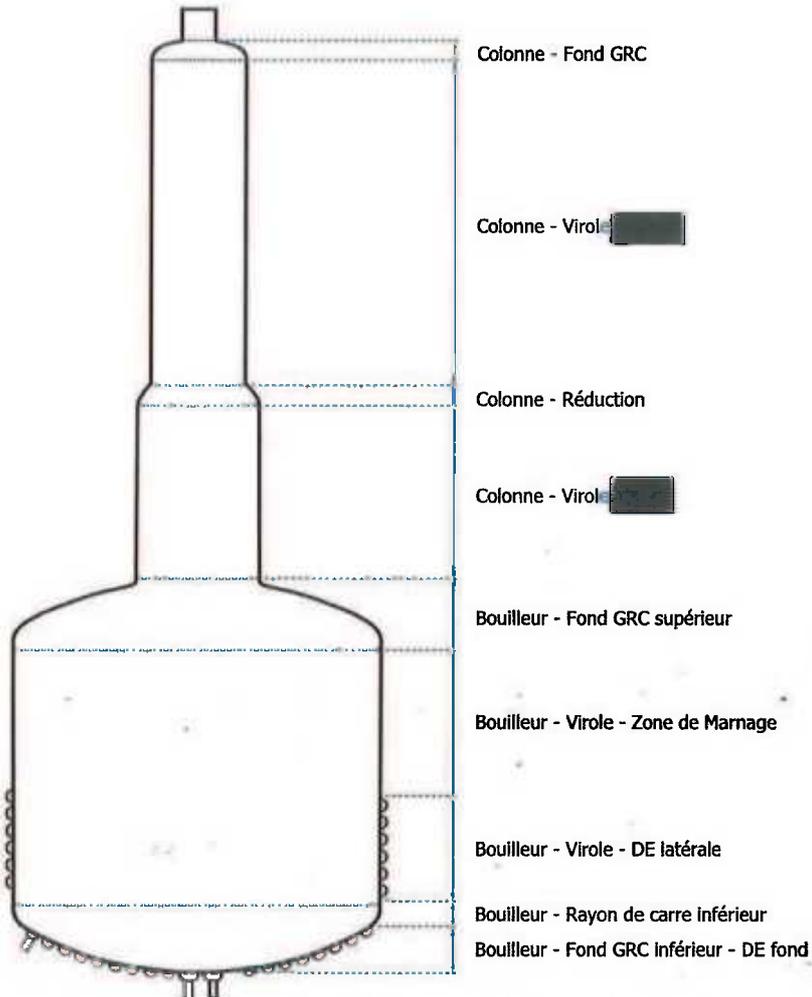


Figure 7 - Identification des zones pour la synthèse des résultats des calculs statiques et sismiques.

Zone	Épaisseur admise pour la vérification de la résistance de l'équipement (en mm)		
	Pression statique	Sismique	Valeurs pénalisantes (entre sismique & statique)
Colonne - Fond GRC			
Colonne - Virole Ø1000			
Colonne - Réduction			
Colonne - Virole Ø800			
Bouilleur - Fond GRC supérieur			
Bouilleur - Virole - Zone de marnage			
Bouilleur - Virole - DE latérale			
Bouilleur - Fond GRC inférieur - DE fond			

Tableau 6 - Synthèse des épaisseurs limites pour le calcul à 12 bar relatif.

Nota : La valeur limite en sismique varie [redacted] dans cette zone. L'épaisseur limite à [redacted] est vérifiée à proximité de la première spire, tandis que les [redacted] sont constaté à proximité du supportage.

Zone	Épaisseur admise pour la vérification de la résistance de l'équipement (en mm)		
	Pression statique	Sismique	Valeurs pénalisantes (entre sismique & statique)
Colonne - Fond GRC			
Colonne - Virole Ø1000			
Colonne - Réduction			
Colonne - Virole Ø800			
Bouilleur - Fond GRC supérieur			
Bouilleur - Virole - Zone de marnage			
Bouilleur - Virole - DE latérale			
Bouilleur - Fond GRC inférieur - DE fond			

Tableau 7 - Synthèse des épaisseurs limites pour le calcul à 10,3 bar relatif.

Nota : La valeur limite en sismique varie de [redacted] dans cette zone. L'épaisseur limite à [redacted] est vérifiée à proximité de la première spire, tandis que les [redacted] sont constaté à proximité du supportage.

9.1.6 Note de calcul en fatigue

Lors de la conception de l'évaporateur R2 4120-22, des notes de calcul en fatigue ont été réalisées :

- Note de calcul – Contrainte thermique et fatigue [18].

Ces calculs ont été repris dans une nouvelle note de calcul en fatigue afin de vérifier le non impact de la définition de nouvelles épaisseurs limites :

- Note de calcul – Tenue à la fatigue [22].

Les calculs ont été effectués en considérant le début de vie de l'équipement, c'est-à-dire avec une paroi [redacted] et la fin de vie de l'équipement (à l'atteinte de l'épaisseur limite [redacted]). Il est montré dans la note [22] que le fait de prendre le début de vie de l'équipement est pénalisant vis-à-vis de la fatigue. Les données et résultats de calculs sont les suivants :

- Code de calcul utilisé : [redacted]
- Logiciel utilisé [redacted]

- Les conditions de calcul :

	Procédé	½ coquilles
Température mini de service :	■	■
Température maxi de service :	■	■
Pression mini de service :	■	■
Pression maxi de service :	■	■

Tableau 8 - Conditions de calcul pour la fatigue dans la configuration de début de vie de l'équipement (soit ■ en épaisseur).

	Procédé	½ coquilles
Température mini de service :	■	■
Température maxi de service :	■	■
Pression mini de service :	■	■
Pression maxi de service :	■	■

Tableau 9 - Conditions de calcul pour la fatigue dans la configuration de fin de vie supposé de l'équipement (soit ■ en épaisseur).

Nota : La prise en compte d'une température maximale de service à ■ provient du REX de l'exploitation

- Les transitoires étudiés :

Température du caloporteur (°C)	Temps (h)	Température de la solution (°C)	Temps (h)
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

Phase	Température du caloporteur (°C)	Temps (h)
Mise en chauffe	■	■
Régime établi	■	■
Refroidissement	■	■
Vidange	■	■

Tableau 10 - Transitoires thermiques de l'évaporateur considéré pour le calcul en fatigue.

- Le modèle de calcul :
La demi-coquille la plus contrainte est la première demi-coquille en partant du fond de l'évaporateur. C'est cette zone qui permet la détermination du nombre de cycles admissibles de l'équipement.

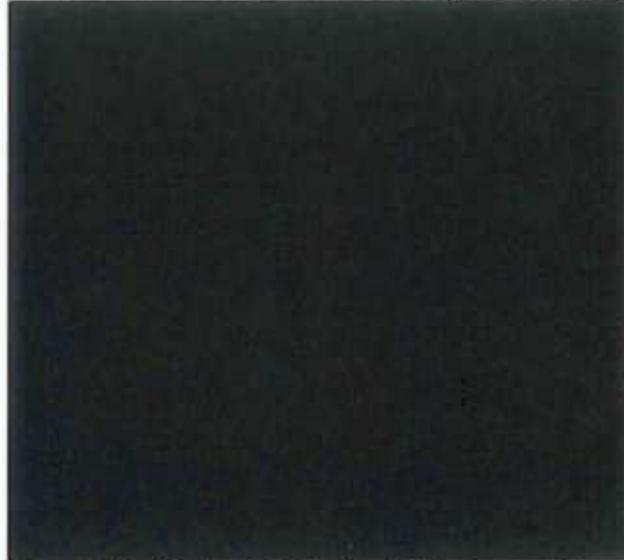


Figure 8 - Localisation de la demi-coquille la plus sensible

- Détermination du nombre de cycle admissible en température :

Pour cette demi-coquille, deux natures de cycles ont été étudiés.

- Le premier type de cycle se présente sans coupure en pression en fin de cycle évaporatoire ; comme suit :
 - Etat 0 : Pression
 - Etat 1 : Pression + Chauffe
 - Etat 2 : Pression + Etabli
 - Etat 3 : Pression + Refroidissement
 - Etat 4 : Pression

Pour ce type, Le cas de calcul étudié correspond à celui fournissant la variation de contrainte équivalent la plus élevée entre deux états au cours du cycle : Le cas Chauffe - Refroidissement (Etat 3 – Etat 1)
- Le deuxième type de cycle se présente avec coupure en pression en fin de cycle évaporatoire ; comme suit :
 - Etat 0 : Equipement soumis à aucun chargement
 - Etat 1 : Mise en pression
 - Etat 2 : Pression + Chauffe
 - Etat 3 : Pression + Refroidissement
 - Etat 4 : Equipement soumis à aucun chargement

Pour ce type, trois cas sont étudiés :

 - Le cas de mise en chauffe + Pression (Etat 2 – Etat 0)
 - Le cas de refroidissement + Pression (Etat 3 – Etat 0)
 - Le cas de calcul correspondant à la variation de contrainte entre l'état pression + chauffe et celui correspondant à l'état pression + refroidissement (Etat 3 – Etat 2). La variation de contrainte est identique à celle obtenue en fonctionnement nominal sans pression.

L'étude de ces cycles permet de déterminer le nombre de cycles admissibles pour la composante thermique et ceci de manière conservative car elle couvre les cas pression + température.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

Le critère de contrainte retenu pour la détermination du nombre de cycles admissibles au niveau des zones soudées est la variation de contrainte en membrane+flexion d'après [REDACTED] paragraphe [REDACTED]

Une linéarisation des variations de contraintes équivalente est effectuée suivant deux chemins. Ces deux chemins représentent les zones d'amorce potentielles de fissures par fatigue au niveau des soudures des demi-coquilles. Ils sont présentés ci-dessous :



Les valeurs des contraintes issues du logiciel ANSYS pour les différents cas sont présentés ci-dessous.

Cas étudié	[REDACTED]	[REDACTED]
Chauffe + refroidissement (Etat 3 – Etat 1)	[REDACTED]	[REDACTED]
Pression + chauffe (Etat 2 – Etat 0)	[REDACTED]	[REDACTED]
Pression + refroidissement (Etat 3 – Etat 0)	[REDACTED]	[REDACTED]

* Le cas à [REDACTED] n'est pas présenté car compris entre le maximum et le minimum étudié, c'est-à-dire en épaisseur.

Au regard des contraintes maximales obtenues pour chaque cas présenté, le nombre de cycles admissibles pour la composante thermique sera calculé [REDACTED] (début de vie) et [REDACTED] (fin de vie supposé de l'équipement).

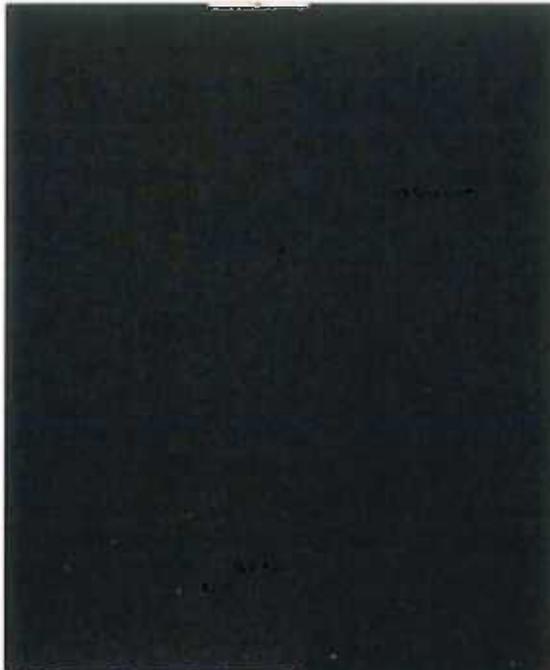
La variation de contrainte équivalente maximale pour ces deux cas est présentée visuellement ci-dessous :



Figure 9 - Valeur de la variation de contrainte équivalente maximale (MPa).

E&P	Type Doc. Activité Cat.LMT N° Ordre Révision NT 100807 12 0017 E	REF
AREVA NC		REF

Le chapitre [REDACTED] du code présente la méthode de calcul détaillée du nombre de cycles admissibles. Elle permet d'établir le nombre de cycle maximal que peut subir l'équipement durant toute sa durée de fonctionnement à partir de la variation de contrainte équivalente. Les résultats sont présentés ci-après :



Le nombre de cycle admissible en température à [REDACTED].



Le nombre de cycle admissible en température [REDACTED] en épaisseur est [REDACTED].

Tableau 11 - Bilan du nombre de cycles admissibles en température pour les configurations début et fin de vie supposée.

- Détermination du nombre de cycle admissible pour un cycle pression seule :

Seules les variations de contraintes varient puisqu'elles intègrent les coupures de pression. Une présentation du cycle avec coupure pression en fin de cycle évaporatoire permet de mieux comprendre les cas de calculs étudiés :

- Etat 0 : Pression
- Etat 1 : Pression + Chauffe
- Etat 2 : Pression + Etabli
- Etat 3 : Etabli
- Etat 4 : Pression + Etabli
- Etat 5 : Pression + Refroidissement
- Etat 6 : Pression

Le cas de calcul étudié :

- Le cas Pression (Etat 4 – Etat 3)

Dans la considération où l'épaisseur la plus faible est la configuration pour laquelle l'équipement est la plus sollicité en pression (y compris avec une réduction de pression au passage de [REDACTED] [REDACTED] seul ce cas a été étudié.

La même méthodologie que pour la détermination des cycles admissible en température a été suivie. Les valeurs des contraintes issues du logiciel [REDACTED] sont présentées ci-dessous.

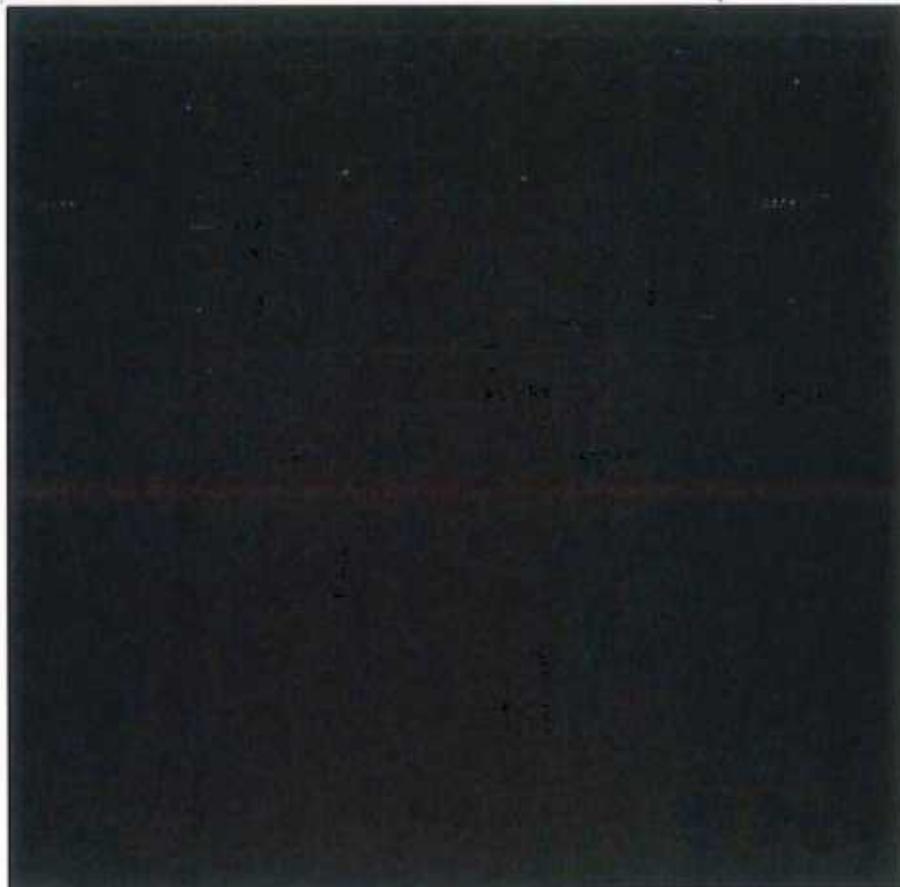
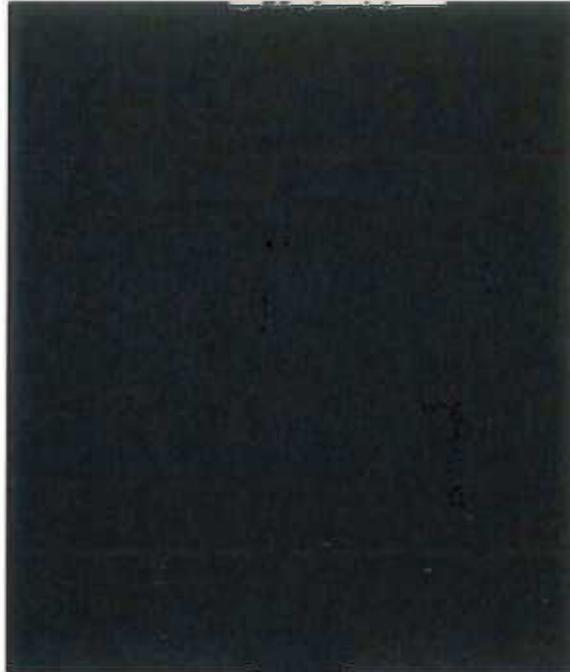


Figure 10 - Valeur de la variation de contrainte équivalente maximale (MPa).

La variation de contrainte maximale retenue pour le calcul du nombre de cycles admissibles en pression est donc de [REDACTED]

E&P	Type Doc. NT	Activité 100807	Ca.LMT 12	N° Ordre 0017	Révision E	REF
AREVA NC						REF

Le chapitre C11.3 du code présente la méthode de calcul détaillée du nombre de cycles admissibles. Elle permet d'établir le nombre de cycle maximal que peut subir l'équipement durant toute sa durée de fonctionnement à partir de la variation de contrainte équivalente. Les résultats sont présentés ci-après :



Le nombre de cycle admissible en pression à [redacted] en épaisseur est de [redacted].

○ Critère à respecté pour la détermination du taux d'endommagement :
Le calcul du taux d'endommagement doit se faire suivant l'équation ci-dessous :

$$(N_{\text{Tréel}} + N_{(P+T)\text{réel}}) / N_{\text{Tadm}} + (N_{(P+T)\text{réel}} + N_{\text{Préel}}) / N_{\text{Padm}} < 1$$

Où

$N_{\text{Tréel}}$ = Nombre de cycle réel en température

$N_{\text{Préel}}$ = Nombre de cycle réel en pression

$N_{(P+T)\text{réel}}$ = Nombre de cycle réel en température + pression

N_{Tadm} = Nombre de cycle admissible en température

N_{Padm} = Nombre de cycle admissible en pression

Ce critère se veut conservatif en comptabilisant deux fois le nombre de cycle réel en pression + température, d'un côté vis-à-vis du nombre de cycle thermique admissible et de l'autre vis-à-vis du nombre de cycle en pression admissible.

9.1.7 Niveau du facteur de fabrication de l'équipement

Compte tenu de la conformité du dimensionnement à un code de construction, le niveau du facteur de fabrication de l'équipement est un facteur de **Niveau 1**.

9.2 DETERMINATION DU FACTEUR ETAT

« Ce facteur évalue l'état de l'équipement par rapport à des dégradations avérées. Il est basé sur l'état réel de l'ESPN à ce jour, et doit prendre en compte les incertitudes liées à la caractérisation de cet état.

Le niveau de ce facteur, pour un équipement présentant des dégradations, est à définir en fonction de la caractérisation de ces dégradations et de l'estimation de leur évolution en service au regard des marges de sécurité définies à la conception de l'équipement.

Les niveaux de probabilité sont définis comme suit :

- Niveau 1 :
 - Equipement ne présentant aucune dégradation ou,
 - Equipement présentant des dégradations pour lesquelles l'exploitant peut garantir de façon certaine que leur évolution en service, estimée de façon conservative, permet de maintenir les marges de sécurité du même ordre de grandeur que celles présentes à la conception ou,
 - Equipement sensible à des modes de dégradation ou de vieillissement dont l'exploitant peut justifier qu'ils ont été spécifiquement pris en compte à la conception (dimensionnement avec des propriétés estimées en fin de vie, surépaisseur de corrosion,...) et de garantir que leurs évolutions en service, estimées de façon conservative, restent couvertes par les hypothèses considérées à la conception.
- Niveau 2 : Equipement ne se situant pas dans le cas précédent, présentant des dégradations pour lesquelles l'exploitant considère que leur évolution en service, estimée de façon conservative, confèrera à l'équipement, à la fin de sa durée de fonctionnement prévue, une résistance du même ordre de grandeur que la résistance minimale définie à la conception, dans le respect des marges de sécurité.
- Niveau 3 : Equipement présentant des dégradations pour lesquelles l'exploitant ne peut garantir que leur évolution en service, estimée de façon conservative, confèrera à l'équipement une résistance au moins égale à la résistance minimale définie à la conception, dans le respect des marges de sécurité, à la fin de sa durée de fonctionnement prévue. ».

9.2.1 Modes de dégradation

Vue les conditions d'exploitation, les modes de dégradation potentiels à considérer sont (cf. justifications en § 9.3.1) :

- la corrosion par dissolution uniforme et généralisée de la paroi [REDACTED] en contact avec le milieu nitrique chauffé à ébullition (en fonctionnement nominal).
- la fatigue du matériau par les cycles en température et en pression par l'alternance des différentes phases de fonctionnement de l'équipement.

Les phénomènes de dégradation avérés liés à ces modes de dégradation sont :

- pour la corrosion uniforme et généralisée : la perte d'épaisseur des parois [REDACTED] dont la surface est exposée au milieu nitrique.
- pour la fatigue : le risque de fissuration pour un nombre de cycles de fonctionnement au-delà du nombre admissible en fatigue, en particulier pour les zones les plus sollicitées en fatigue.

L'état réel à une date donnée de l'équipement peut être déterminé par rapport à chacun de ces phénomènes avec les surveillances suivantes :

- pour l'état général de l'équipement : un examen visuel des zones accessibles.
- pour la perte d'épaisseur par corrosion uniforme et généralisée : des mesures de l'épaisseur résiduelle sur des zones accessibles, qui sont des ZIS ou permettant une extrapolation de l'épaisseur sur les ZIS.
- pour le risque de fissuration par fatigue : le suivi de l'historique de fonctionnement pour surveiller que le nombre de cycles subis par l'évaporateur reste inférieur au nombre de cycle admissible en fatigue sur les zones les plus sollicitées en fatigue.

L'état actuel de l'évaporateur R2 4120-22 est décrit dans les parties suivantes selon ces 3 axes de surveillance.

9.2.2 Etat général par : Examen visuel

Au regard du § 8.3, seule une partie de la surface externe de l'équipement est contrôlable visuellement [REDACTED]. L'examen visuel ne concerne qu'une partie de la surface externe de :

- La virole du bouilleur :
 - la zone de marnage au-dessus des DE latérales,
 - les DE latérales (spires et interspire).
- La soudure horizontale entre la virole du bouilleur et le fond GRC inférieur.
- Le fond GRC inférieur :
 - le rayon de carre,
 - les DE du fond.

Plusieurs extraits de ces examens visuels sont disponibles en Figure 11.

En 2015, le contrôle visuel indirect n'a pu être réalisé compte tenu d'un débit de dose trop important en sortie des fourreaux endoscopiques. L'écran présentait trop de parasites pour une interprétation conforme [13].



E&P

Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision
NT	100807	12	0017	E

REF

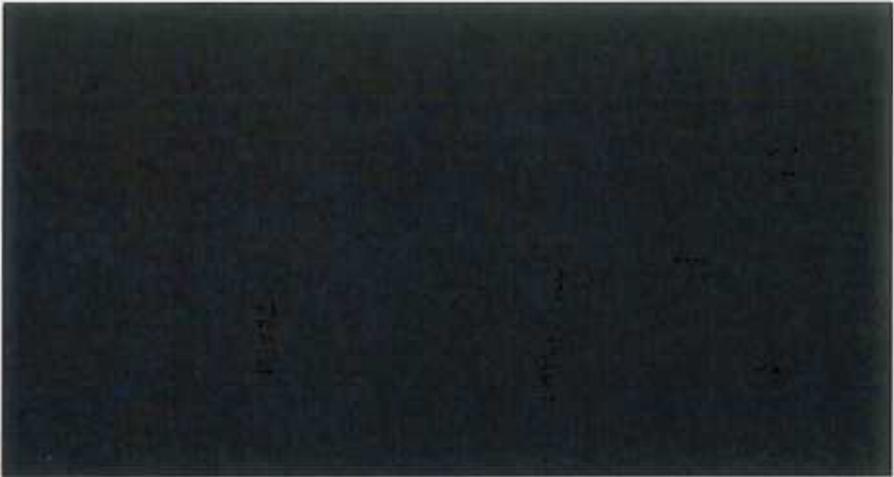
AREVA
NC

--

REF

Campagne	Visuel
Mars 2012	
Août-Sep. 2014	

E&P	Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision	REF
	NT 100807 12 0017 E	
AREVA NC		REF

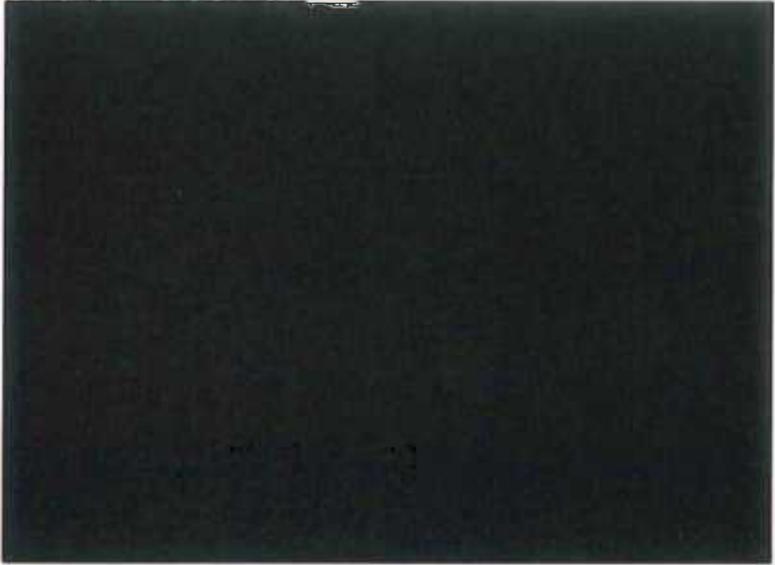
Mars 2015	<p>Source des images : Les images de mars 2015 sont issues de la campagne de mesure d'épaisseurs de Mars 2015.</p> <p>Aucune photo sur le rapport</p>
Octobre 2015	<p>Source des images : Les images d'Octobre 2015 sont issues de la campagne d'inspection visuelle d'Octobre 2015.</p>  <p>Partie médiane de la virole et double enveloppes latérales :</p>  <p>Partie inférieure de la virole du bouilleur et rayon de carre :</p> 

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

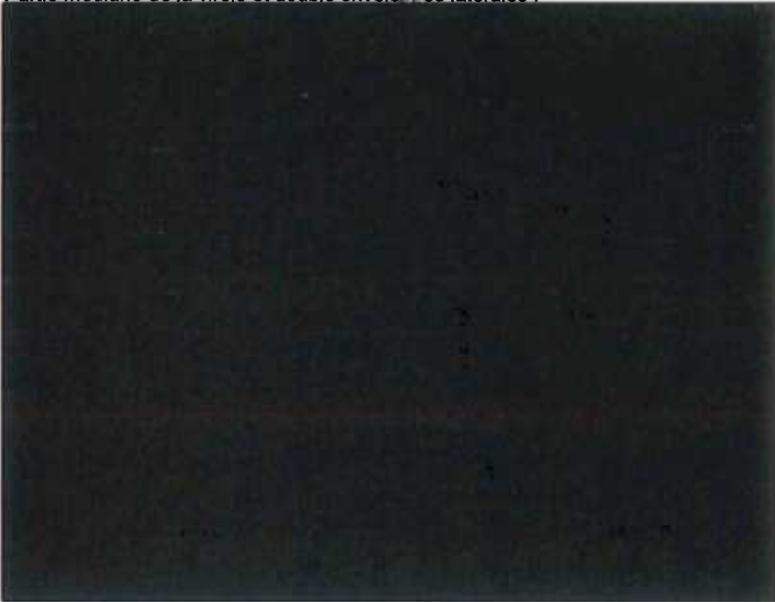
Mars 2016

Source des images : Les images de mars 2016 sont issues de la campagne de mesure d'épaisseurs de Mars 2016.

Partie supérieure de la virole :



Partie médiane de la virole et double enveloppes latérales :



Partie inférieure de la virole et rayon de carre :

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

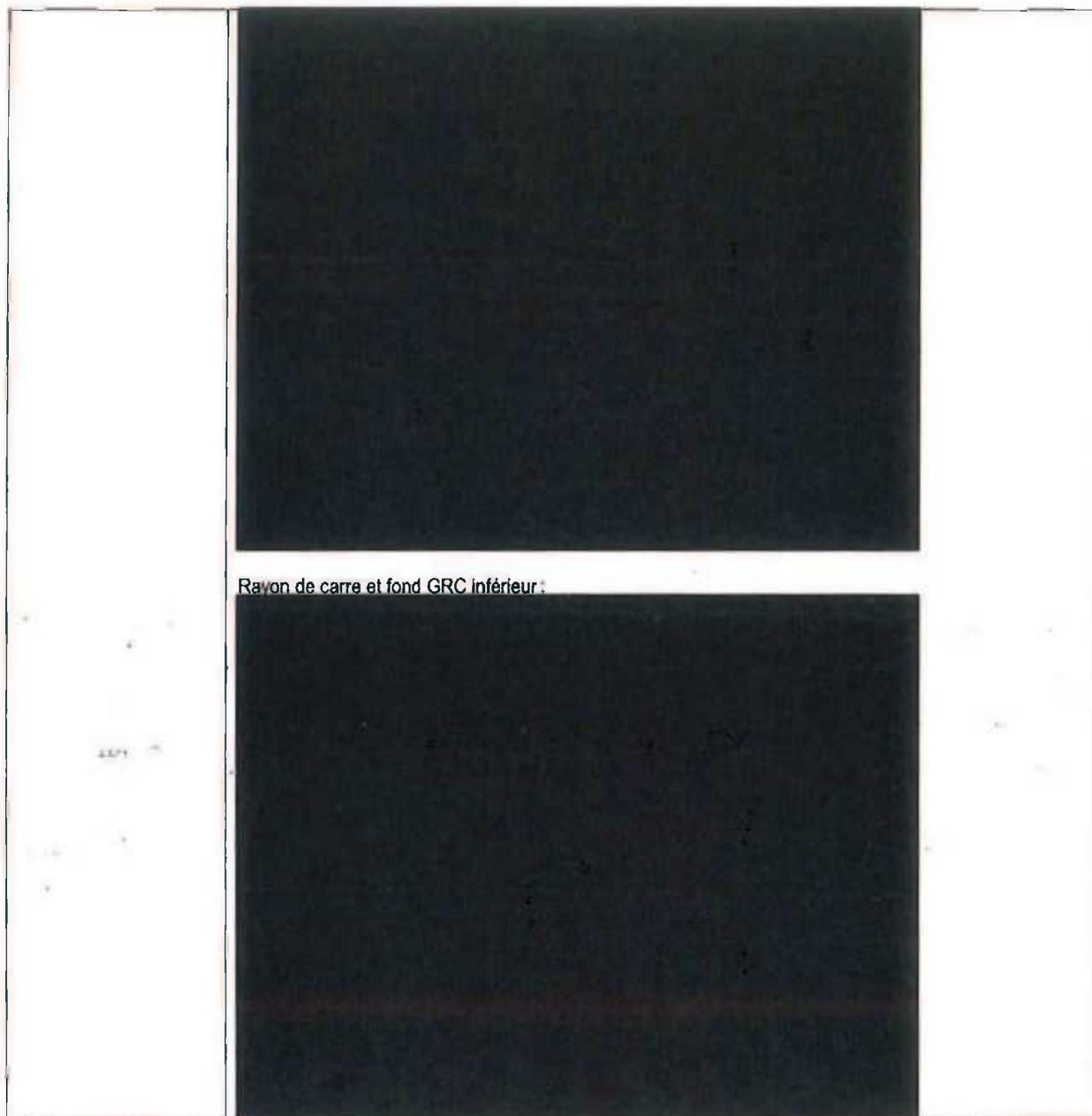


Figure 11 - Images extraites des observations visuelles réalisées sur l'évaporateur R2 4120-22.

9.2.3 Etat face à la perte d'épaisseur par corrosion homogène et généralisée : Mesures d'épaisseur

Cette partie § 9.2.3 détermine l'état actuel de l'évaporateur R2 4120-22, face à la perte d'épaisseur par corrosion homogène et généralisée.

Pour ce faire, la démarche est :

- (§ 9.2.3.1) d'utiliser les mesures d'épaisseurs résiduelles lors des inspections périodiques,

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

- (§ 9.2.3.2) pour déterminer l'état actuel de l'équipement, par rapport à un critère de fin de fonctionnement.

9.2.3.1 *Suivi de l'épaisseur résiduelle de l'équipement*

9.2.3.1.1 *Techniques de mesures d'épaisseur existantes pour les évaporateurs PF*

Pour l'ensemble des évaporateurs 4120-21, 4120-22 et 4120-23 des ateliers R2 et T2, plusieurs techniques de mesures d'épaisseurs ont été réalisées, dans l'objectif de :

- suivre périodiquement l'état de l'équipement,
- et de consolider la définition des ZIS.

Les techniques utilisées pour suivre l'épaisseur sur l'évaporateur R2 4120-22 pour remplir chacun de ces 2 objectifs sont introduites ci-dessous, et sont illustrées en Figure 13.

Technique pour le suivi périodique d'épaisseur :

Le suivi périodique de l'épaisseur se fait par sonde US monoélément introduite et manipulée dans la cellule de l'équipement par le moyen d'une perche articulée (cf. Figure 12).

Les zones contrôlables périodiquement sont les parois de l'équipement ayant une face exposée directement à la cellule, selon accessibilité.

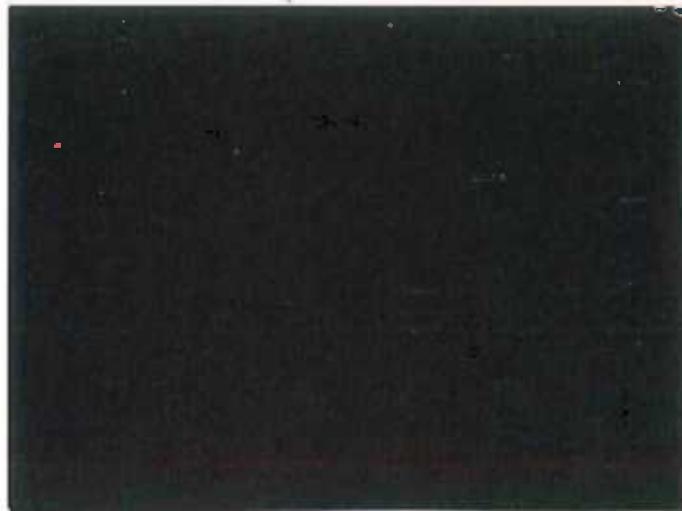


Figure 12 - Exemple d'une mesure d'épaisseur par sonde US monoélément en interspire.

Technique pour identifier et mesurer les épaisseurs en ZIS :

Le mesure d'épaisseurs pour consolider la définition de la ZIS se fait par sonde US monoélément introduite dans une ligne d'EF et guidée le long de la ligne jusqu'à la paroi de l'équipement (donc au droit d'un piquage d'un DE).

Ces mesures ne peuvent être rendues périodiques, du faite de la complexité de mise en œuvre, et de la volonté de minimiser les risques liés aux exigences de radioprotection.



Figure 13 - Illustration de zones mesurables sur une DE (vue de profil) par les différentes techniques de mesures d'épaisseurs.

9.2.3.1.2 *Etendue des mesures d'épaisseur pour l'évaporateur R2 4120-22*

De manière analogue à l'examen visuel (cf. § 8.3), l'accessibilité et des limites de faisabilité des techniques de mesure limite les mesures d'épaisseurs possibles à une partie de la surface de l'équipement.

Technique pour le suivi périodique d'épaisseur :

Ces mesures par l'extérieur sont réalisées selon la spécification en référence [19]. Les parties accessibles sont :

- **Angulairement :** La partie angulaire accessible de l'équipement est d'environ 15°.
- **Selon la hauteur :** L'équipement est divisé en différentes zones selon la hauteur. Les parties accessibles à ce jour sont les interspires des DE latérales, et une partie des interspires des DE du fond (H/16, H/17, H/18, H/20 et H/21). L'interspire H/19 n'est pas accessible, car la largeur de l'interspire n'étant pas suffisante pour placer la sonde US. La nomenclature de ces zones est définie dans la Figure 14.

Technique pour consolider la définition de la ZIS :

Pour l'évaporateur R2 4120-22, des mesures non périodiques ont été réalisées dans le but de localiser les ZIS et d'y déterminer la vitesse de corrosion moyenne. Ces mesures ont été réalisées :

- **Au droit de lignes EF :** ces contrôles ne concernent que les lignes EF dont la géométrie de la ligne (ISO) permet l'introduction d'une sonde ultrason jusqu'au bouilleur au droit d'un piquage. Pour l'évaporateur R2 4120-22, les piquages ayant pu faire l'objet de ces mesures sont :
 - P18 (ligne EF201) : Arrivée EF de la DE latérale haute.
 - P19 (ligne EF204) : Sortie EF de la DE latérale basse.
 - P20 (ligne EF203) : Arrivée EF de la DE latérale basse.
 - P10 (ligne EF206) : Sortie EF d'une des deux DE du fond GRC inférieur.
 - P11 (ligne EF205) : Arrivée EF d'une des deux DE du fond GRC inférieur.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

- Ces zones sont représentées dans la Figure 15.

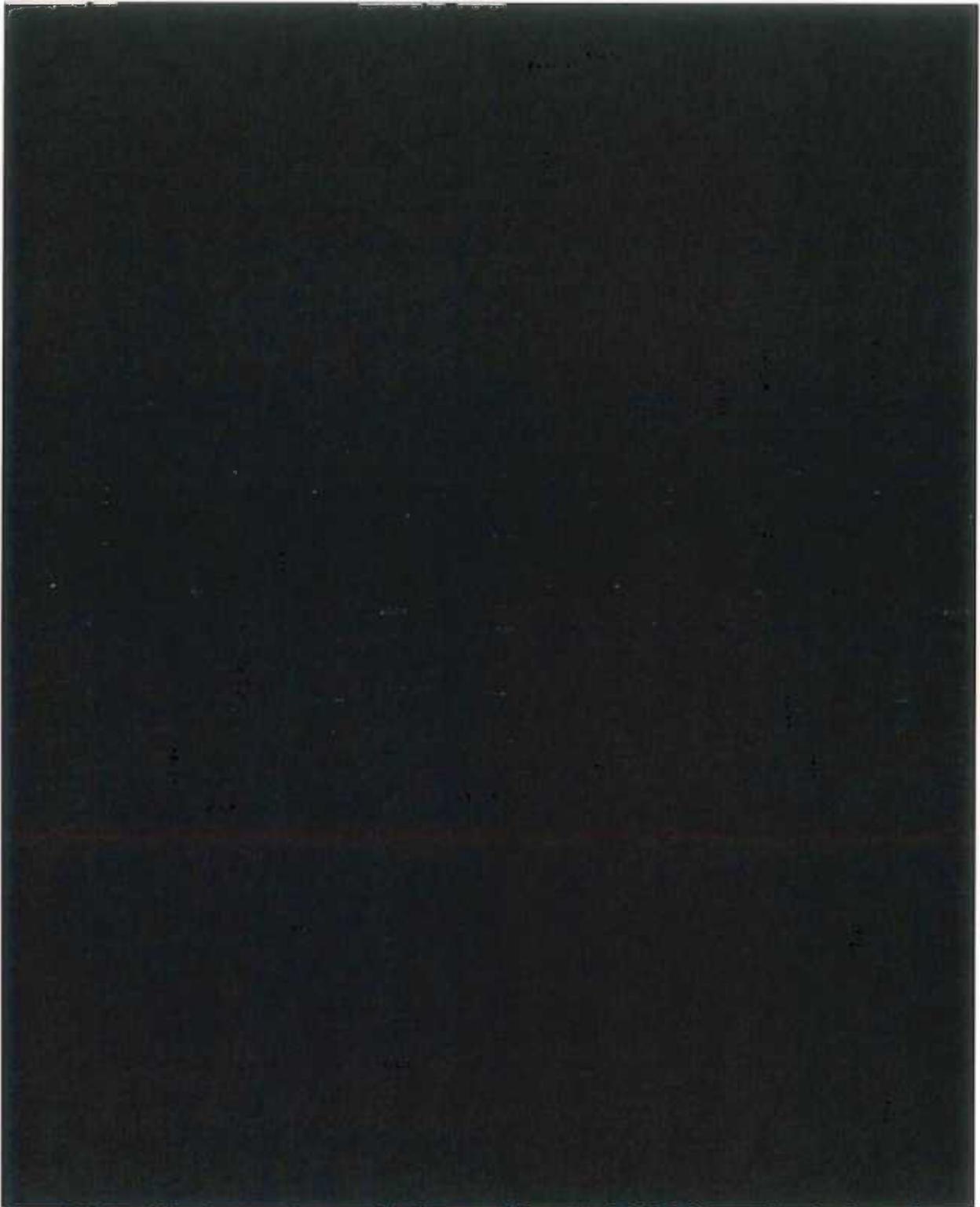


Figure 14 - Nomenclature des zones de mesures d'épaisseurs sur l'évaporateur R2 4120-22 (en rouge), envisagées pour le suivi périodique (l'accessibilité de ces zones, notamment les dernières interspires dans le fond, est discutée dans le texte).



(a) Piquages des DE du fond GRC inférieur (vue de dessus)

(b) Piquages des DE latérales (vue de profil, où P18 & P19 sont l'un derrière l'autre)

Figure 15 - Zones de mesures d'épaisseurs sur l'évaporateur R2 4120-22, accessibles sous DE au droit de certains piquages par ligne EF (les piquages accessibles sont en rouge) : pour les DE du fond GRC inférieur en (a), et pour les DE latérales en (b).

9.2.3.1.3 Dates des campagnes de mesures d'épaisseur

Plusieurs campagnes de contrôles d'épaisseurs ont été réalisées. Elles sont précisées dans le Tableau 12 :

Date de la campagne	Techniques de mesures d'épaisseurs réalisées lors de la campagne	
	Par l'extérieur	Par ligne d'EF
Mars 2012	X (19 au 22/03/2012)	
Août – Sep. 2014	X (13/08 au 22/08/2014) (10/09 au 11/09/2014)	X (10/09 au 11/09/2014)
Mars 2015		X (04 au 05/03/2015)
Mars 2016		X (29/03 au 30/03/2016)

Tableau 12 - Campagnes de contrôles d'épaisseurs sur l'évaporateur R2 4120-22.

9.2.3.1.4 Synthèse des résultats des mesures d'épaisseur

La synthèse des résultats des campagnes listées dans le Tableau 12 est donnée :

- pour les mesures par l'extérieur dans le Tableau 13,
- pour les mesures par ligne d'EF dans le Tableau 14.

Dans ces tableaux, les notations suivantes sont utilisées :

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

- ID : Nom identifiant une zone de mesures (définie dans les Figure 14 et Figure 15).
- E_{min} : Epaisseur minimale des mesures sur une zone.
- E_{max} : Epaisseur maximale des mesures sur une zone.
- E_{med} : Epaisseur médiane des mesures sur une zone.
- $\langle E \rangle$: Epaisseur moyenne des mesures sur une zone.
- Nb points : Nombre de points de mesure réalisés sur une zone.

Zone	Elément	ID	Valeurs initiales			Campagne Mars 2012				Campagne Août 2014				Campagne Mars 2016			
			E _{min} (mm)	E _{max} (mm)	E _{med} (mm)	<E> (mm)	E _{max} (mm)	E _{min} (mm)	Nb points	<E> (mm)	E _{max} (mm)	E _{min} (mm)	Nb points	<E> (mm)	E _{max} (mm)	E _{min} (mm)	Nb points
Virole		H/1															
		H/2															
		H/4															
		H/6															
		H/8															
		H/10															
		H/12															
		H/14															
Fond		H/15															
		H/15*															
		H/16															
		H/17															
		H/18															
		H/19															
		H/20															
	H/21																

Tableau 13 - Synthèse des résultats des campagnes de contrôles d'épaisseurs par l'extérieur sur l'évaporateur R2 4120-22. (Nota : les pertes dues à la fabrication de ce fond GRC ne sont pas considérées dans les valeurs initiales de ce tableau.)



E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

Ligne / Piquage		Valeurs initiales			Campagne Sept-Oct. 2014				Campagne Mars 2015				Campagne Mars 2016			
Elément	ID	E _{min} (mm)	E _{max} (mm)	E _{med} (mm)	<E> (mm)	E _{max} (mm)	E _{min} (mm)	Nb points	<E> (mm)	E _{max} (mm)	E _{min} (mm)	Nb points	<E> (mm)	E _{max} (mm)	E _{min} (mm)	Nb points
Virole	EF201 / P18 EF204 / P19 EF203 / P20															
Fond	EF206 / P10															

Tableau 14 - Synthèse des résultats des campagnes de contrôles d'épaisseurs par ligne d'EF sur l'évaporateur R2 4120-22.

9.2.3.2 Critère de fin d'exploitation face à la perte d'épaisseur par corrosion

9.2.3.2.1 Critère de fin d'exploitation

Lors des contrôles d'épaisseur une procédure de vérification d'un critère impliquant une fin d'exploitation est mise en place. Ce critère de fin d'exploitation s'articule en deux étapes :

- La vérification de la condition suivante est réalisée sur l'ensemble des valeurs mesurées (E) dans la ZIS :

$$E \leq E_{lim}^{ZIS} + |\delta E_{mes}|$$

- Où :
 - E_{lim}^{ZIS} est l'épaisseur limite pour la tenue mécanique dans la ZIS,
 - $|\delta E_{mes}|$ est la valeur absolue de l'incertitude liée à la technique de mesure.
- En cas d'atteinte d'une valeur d'épaisseur mesurée inférieure à l'épaisseur limite encadrée de son incertitude :
 - 1/ un renforcement de la qualité de la mesure sera réalisée en répétant chaque point, identifié en dessous de la valeur limite, [REDACTED]
 - 2/ En cas de dépassement de la valeur d'épaisseur limite confirmée, une analyse sera partagée avec l'ASN sur les dispositions d'arrêt ou de remise en exploitation pour une période réduite

Ce critère est actuellement étudié pour justifier une application de ce critère à la moyenne des valeurs mesurées sur une zone, et non séparément à chacune de ces valeurs.

9.2.3.2.2 Application

Ce critère de fin d'exploitation est testé sur l'évaporateur R2 4120-22, par le biais des étapes, ci-dessous.

Localisation de la ZIS :

La ZIS de l'évaporateur R2 4120-22 peut être assimilée à l'interspire H/17 (cf. § 9.3.2.1.3).

Dans cette zone :

- l'épaisseur minimale mesurée lors de la dernière campagne (Mars 2016) est : $E_{min}^{ZIS=H/17} =$ [REDACTED]
- pour l'épaisseur limite E_{lim}^{ZIS} , sa valeur actuelle est à [REDACTED] Sa valeur future est à [REDACTED] (cf. § 9.1.5.1).

Application du critère de fin d'exploitation :

Pour une incertitude $|\delta E_{mes}|$ à 0,2 mm, le critère de fin d'exploitation peut être testé selon les deux valeurs d'épaisseur limite (actuelle et future). Il devient :

$$\begin{aligned} \text{Cas à [REDACTED]} : E_{min}^{ZIS=H/17} &\leq [REDACTED] \\ \text{Cas à [REDACTED]} : E_{min}^{ZIS=H/17} &[REDACTED] \end{aligned}$$

Pour une valeur $E_{min}^{ZIS=H/17}$ à [REDACTED], ce critère de fin d'exploitation n'est pas rempli dans les 2 cas d'épaisseur limite.

9.2.3.3 Conclusion sur l'état face la perte d'épaisseur par corrosion homogène et généralisée

L'épaisseur consommée dans la ZIS à ce jour est supérieure à la surépaisseur de corrosion définie à conception (██████). Cependant, les épaisseurs limites précisées par les calculs récents (cf. § 9.1.3 et § 9.1.5.1), permettent de mettre à jour un critère impliquant une fin d'exploitation, qui à ce jour n'est pas rempli par l'évaporateur R2 4120-22.

9.2.4 Etat face au risque de fissuration par fatigue : Suivi de l'historique des cycles

9.2.4.1 Hypothèse de conception

Comme il a été déterminé au § 9.1.6, le nombre de cycles admissibles suivant les données du REX exploitant est $N_{adm} =$ ██████ dans la configuration enveloppe de début de vie de l'équipement (à ██████ en épaisseur). La fissuration par fatigue n'est pas à craindre si le nombre de cycles évaporatoire en fin de vie de l'équipement est inférieur à ██████. Il a été estimé dans la note [22] un nombre de cycles de ██████ évaporatoires sans coupure pression et ██████ évaporatoires avec coupure pression pour une durée de vie de l'équipement de ██████.

9.2.4.2 Historique

Depuis la mise en service en Août 1994 jusqu'à fin 2015, l'historique du fonctionnement des évaporateurs 4120 de R2 [26] permet d'obtenir Tableau 15.

Nombre de cycles	Variation en température seule	Variation en pression seule
R2 4120-21	██████	██████
R2 4120-22	██████	██████
R2 4120-23	██████	██████

Tableau 15 - Bilan des cycles.

9.2.4.3 Détermination d'une durée de vie de fonctionnement réduite par rapport à la fatigue

Le tableau suivant présente la comparaison du nombre de cycles réellement subis par l'équipement avec le nombre de cycles admissibles. A la fin 2015, l'avancement du vieillissement par fatigue avait atteint ██████ du nombre maximal admissible de cycles prévu dans les calculs de dimensionnement.

configurations	Nombre de cycles réels température	Nombre de cycles admissibles température	Critère : $N_{Tréel} / N_{Tadm}$
██████	██████	██████	██████

configurations	Nombre de cycles réels pression	Nombre de cycles admissibles pression	Critère : $N_{Préel} / N_{Padm}$
██████	██████	██████	██████

Tableau16 - Marge fatigue de l'évaporateur 4120-22 de R2.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
AREVA NC	NT	100807	12	0017	E	REF

9.2.5 Niveau du facteur état de l'équipement

Vu :

- l'état général visuel jugé satisfaisant (§ 9.2.2),
- l'état en corrosion jugé satisfaisant avec mise à jour de calcul, mais en désaccord avec la surépaisseur prévue à conception (§ 9.2.3.3),
- l'état en fatigue jugé satisfaisant (§ 9.2.4).

Le niveau du facteur état de l'équipement est estimé comme étant un facteur de **Niveau 2**.

9.3 DETERMINATION DU FACTEUR DEGRADATION

« Ce facteur évalue la sensibilité de l'équipement face aux dégradations potentielles, à l'égard des conditions d'exploitation et aux dispositions de suivi en service de l'équipement. Ce facteur doit être évalué mode de dégradation par mode de dégradation.

L'analyse peut être réalisée de manière itérative, en partant des inspections réellement effectuées sur l'équipement puis, si besoin en intégrant les mesures complémentaires.

La détermination de ce facteur se base sur :

- **La probabilité d'apparition d'une dégradation dans les conditions d'exploitation**
 - Faible : l'équipement n'est pas vulnérable au mode de dégradation étudié dans ses conditions de fonctionnement. La démonstration de l'absence de vulnérabilité est établie par sa conception,
 - Moyenne : ce niveau est défini par l'exclusion des niveaux faibles et forts,
 - Forte : l'équipement est sensible à un mode de dégradation non pris en compte à la conception.
- **La maîtrise des conditions d'exploitations**
 - Maîtrisées : les conditions d'exploitation sont encadrées par des paramètres de fonctionnement précis et mesurables. Ceux-ci sont maîtrisés et surveillés,
 - Non maîtrisées : une des conditions précédentes n'est pas acquise ou la surveillance de ceux-ci n'est pas exhaustive.
- **L'adéquation des inspections aux dégradations redoutées**
 - Adéquate : les inspections réalisées sont performantes pour détecter les dégradations considérées, leur fréquence est adaptée à la cinétique du mode de dégradation considéré et elles sont réalisées sur la totalité de la partie de l'équipement soumise au mode de dégradation. Si la totalité de cette zone n'est pas contrôlée, pour être adéquates les inspections ne pourront exclure qu'une partie de la zone sous réserve que cette partie exclue ne soit pas une zone plus sensible au mode de dégradation. Leur aptitude à détecter la dégradation doit être établie,
 - Pas totalement adéquates : les inspections ne remplissent pas un des critères de performance, fréquence ou étendue précédemment explicités,
 - Absence : pas d'inspection ».

Le niveau du facteur de dégradation doit être défini comme suit :

Probabilité d'apparition de dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Exploitation									
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

9.3.1 Sensibilité de l'équipement face aux dégradations potentielles

L'identification des modes de dégradation est synthétisée dans le tableau ci-dessous. L'analyse précise la liste des modes de dégradation analysés et les éléments de justification permettant de faire apparaître les phénomènes de dégradation potentiels retenus pour la détermination du facteur de dégradation.

Mode de dégradation	Justification	Mode de dégradation potentiel (Oui / Non)
Viellissement induit par contrainte mécanique à basse température		
- Fatigue oligocyclique ou à grand nombre de cycles	Les mécanismes de fatigue (cycles T, P) sont pris en compte à la conception suivant un code de calcul dédié aux appareils à pression.	Oui
- Fatigue vibratoire	La fabrication des supportages suit des règles de conception dédiées issues du référentiel normatif et des standards AREVA.	Non
Dilatation thermique différentielle	Un seul type de matériaux est utilisée pour la fabrication de cet équipement.	Non
Concentrations de contraintes	Cet équipement a été conçu, calculé et fabriqué suivant un code de calcul spécifique aux appareils à pression, selon la réglementation en vigueur.	Non
Pics locaux de pression	La conception et le fonctionnement suivent des règles dédiées (codes, normes, standards AREVA) permettant d'éviter ce type de phénomène.	Non

Mode de dégradation	Justification	Mode de dégradation potentiel (Oui / Non)
- Fissuration assistée par l'environnement	L'adéquation choix matériaux - environnement a été réalisée de manière à exclure ces modes de vieillissement. Ni les études expérimentales, ni les retours d'expériences n'ont mis en évidence de tels mécanismes pour des évaporateurs en [REDACTED]	Non
Vieillissement induit par contrainte mécanique à haute température		
- Vieillissement thermique	Les températures vues par l'équipement et les éventuels cycles en température et pression sont trop faibles pour engendrer un vieillissement thermique.	Non
- Fluage	Le fluage peut se produire pour des [REDACTED] La température maximale d'utilisation de l'équipement est trop faible pour induire un vieillissement thermique.	Non
Vieillissement induit par usure mécanique		
Usure due au frottement entre deux solides	L'équipement ne contient pas de pièces mobiles en mouvement relatif les unes par rapport aux autres. Il n'y a pas de solide significatif dans le caloporteur ou dans la solution procédé.	Non
Usure due au fluide en mouvement	Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes.	Non
Mécanismes couplés : <ul style="list-style-type: none"> • Tribocorrosion • Erosion-corrosion • Cavitation-corrosion 	Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes.	Non
Vieillissement induit par corrosion à basse température		
- Corrosion atmosphérique	La cellule contenant l'équipement est ventilée par un air filtré, la présence d'aérosols marins est négligeable. Le risque de condensation en cellule est possible suivant la température de la cellule et de l'équipement. Le retour d'expérience disponible issu de l'ensemble des observations vidéo en cellules [REDACTED] démontre l'efficacité de la filtration.	Non

Mode de dégradation	Justification	Mode de dégradation potentiel (Oui / Non)
- Corrosion humide : généralisée	Le matériau en contact du fluide procédé () est susceptible de subir un phénomène de corrosion de type dissolution uniforme de la surface du métal.	Oui
- Corrosion humide : bimétallique	Un seul type de matériau est utilisé pour la fabrication de l'équipement. Il n'y a pas de couplage galvanique.	Non
- Corrosion humide : aération différentielle	Il n'y a pas de surface dans l'équipement en contact avec deux milieux significativement différents pour induire un phénomène d'aération différentielle.	Non
- Corrosion humide : piqûration	<ul style="list-style-type: none"> - Le fluide procédé n'a pas de caractère piquant vis-à-vis () - Il n'y a aucun risque de piqûration de () au niveau de la boucle caloporteur. - Le caloporteur est constitué d'eau déminéralisé et filtrée. 	Non
- Corrosion humide : cavemeuse	<ul style="list-style-type: none"> - Le fluide procédé n'est pas de nature à engendrer une corrosion localisée vis-à-vis de () - Le caloporteur est constitué d'eau déminéralisé et filtrée. 	Non
- Corrosion humide : intergranulaire	<ul style="list-style-type: none"> - () travaille dans son domaine passif. - Il n'y a aucun risque de corrosion intergranulaire de () au niveau de la boucle caloporteur. 	Non
- Corrosion humide : par courant vagabond	Les standards de conception permettent d'éviter ce type de phénomène.	Non
Viellissement induit par corrosion à haute température		
Corrosion haute température	Les conditions de fonctionnement ne sont pas réunies pour entraîner ces phénomènes.	Non
Viellissement sous irradiation		

Mode de dégradation	Justification	Mode de dégradation potentiel (Oui / Non)
Vieillesse sous flux neutronique	Les études menées en réacteur sur les [REDACTED] montrent que l'impact de ce flux neutronique devient significatif à partir d'environ [REDACTED]. Aucun équipement de l'Etablissement AREVA NC la Hague ne rencontre ce niveau de flux neutronique.	Non

Tableau 17 - Liste des modes de dégradation.

Les modes de dégradation subis par l'équipement sont la corrosion par dissolution uniforme et généralisée, et la fatigue. Les phénomènes de dégradation potentiels sont précisés dans le tableau ci-dessous :

Mode de dégradation	Phénomène de dégradation potentiel
Corrosion par dissolution uniforme et généralisée	Perte d'épaisseur
Fatigue	Fissuration au-delà d'un certain nombre de cycles

Tableau 18 - Identification des modes de dégradation de l'évaporateur R2 4120-22.

9.3.2 Corrosion uniforme et généralisée

9.3.2.1 Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation

9.3.2.1.1 Comportement du matériau face à la corrosion : Données expérimentales R&D et suivi corrosion

Morphologie de corrosion :

La corrosion de [REDACTED] dans le milieu des évaporateurs 4120-21, 4120-22 et 4120-23 des ateliers T2 et R2 est de morphologie généralisée et uniforme. Ceci est démontré par l'ensemble des essais menés sur [REDACTED] dans ce contexte.

Vitesse de corrosion :

Le programme R&D mené dans ce contexte a pour objectif d'améliorer la compréhension de la vitesse de corrosion de [REDACTED] dans le milieu des évaporateurs 4120-21, 4120-22 et 4120-23 des ateliers T2 et R2. La finalité est de déterminer les paramètres physico-chimiques pilotant la vitesse de corrosion de [REDACTED] dans ces milieux, afin de mettre en place des mesures sur l'exploitation de ces évaporateurs pour baisser leur vitesse de corrosion.

Ce programme R&D s'articule en 2 axes d'études :

- l'étude avec des essais :
 - avec des solutions non radioactives aussi représentatives que possible des solutions traitées par les évaporateurs (présence des espèces majoritaires),
 - dans des évaporateurs pilotes permettant de simuler des cycles de fonctionnement à ébullition (phases de concentration en dénitrification formique, phase en reflux total).

A ce jour, ces essais ont montré :

- une vitesse de corrosion compatible mais inférieure avec les vitesses moyennes mesurées sur site par mesure d'épaisseur. la formation d'un dépôt lors des phases de concentrations. Il a été démontré sur un cycle à ébullition, que ce dépôt n'a pas d'influence chimique sur la corrosion.
- l'étude avec des essais paramétriques dans un milieu nitrique simplifié de base (██████████), où les espèces suspectées d'avoir une influence sur la corrosivité du milieu sont étudiées (ex : espèces potentiellement oxydantes ou catalysant la réduction de ██████████, ou le ██████████ ayant une influence sur la stabilité de la couche passive), ainsi que leur synergie avec d'autres espèces chimiques (██████████).

9.3.2.1.2 Comportement du matériau face à la corrosion : REX

Equipements analogues fabriqués avec ce matériau :

Précédemment, ██████████ avait été retenu en ██████████ pour la construction des évaporateurs de Produits de Fission ██████████ de l'atelier HAPF, puis ██████████ avait été retenu en 1978 pour celle des évaporateurs ██████████ et finalement le choix de ██████████ a été fait en ██████████ pour la construction des évaporateurs des ateliers R2 et T2, et pour la construction de l'ancien évaporateur ██████████ (arrêté et actuellement en démontage).

REX d'événement liés à la corrosion sur ces équipements :

L'utilisation des évaporateurs des anciennes installations ██████████ a été effectuée sur des plages de fonctionnement plus ou moins différentes vis-à-vis des paramètres de température et vis-à-vis des compositions chimiques des solutions à traiter. Les vitesses de corrosion ne sont donc pas directement comparables.

La composition chimique des solutions traitées par ██████████ est très différentes des solutions de produits de fission de R2 et T2, les vitesses de corrosion de ces évaporateurs ne sont donc pas directement comparables.

9.3.2.1.3 Retour d'expérience des inspections

9.3.2.1.3.1 Hiérarchisation des zones sensibles et identification de la ZIS

Ce paragraphe discute la sensibilité à la corrosion des différentes zones de l'évaporateur R2 4120-22, en vue de conclure sur leur hiérarchisation selon cette sensibilité. Cette discussion s'appuie sur :

- les mesures d'épaisseur sur cet évaporateur R2 4120-22,
- et/ou le REX sur des équipements similaires (autres évaporateurs en ██████████ des ateliers R2, T2 ou ██████████),
- et/ou des connaissances R&D.

(Les notations définies en § 9.2.3.1.2 pourront être utilisées.)

9.3.2.1.3.1.1 Sensibilité du fond GRC supérieur du bouilleur et de la zone au-dessus des DE latérales

Mesures d'épaisseurs sur cet évaporateur :

La zone H/1 de l'évaporateur R2 4120-22 a fait l'objet de mesures d'épaisseurs (cf. § 9.2.3.1.4) en Mars 2016. Les épaisseurs minimales (E_{min}) issues de ces mesures sont reportées par zone dans le Tableau 19, avec les valeurs minimales initiales (nominales) et l'épaisseur limite (E_{lim}) pour la tenue mécanique de l'évaporateur (cf. § 9.1.3).

Zone	E_{lim} [mm]	E_{min} [mm]	
		Initiale (nominale)	Mars 2016
H/1			

Tableau 19 - Sensibilité à la corrosion de la zone H/1 de l'évaporateur R2 4120-22.

Nota : La valeur limite en sismique varie de [redacted] dans cette zone. L'épaisseur limite à [redacted] est vérifiée à proximité de la première spire, tandis que les [redacted] sont constatés à proximité du supportage.

Les valeurs minimales mesurées en Mars 2016 sur la zone de marnage de l'évaporateur R2 4120-22 sont plus proches de l'épaisseur limite pour la tenue mécanique que de leur valeur minimale initiale nominale.

Ce constat implique une sensibilité à la corrosion relativement forte de la zone de marnage.

Comparaison aux données de R&D et de REX :

La zone de marnage est une zone frontalière, exposée à la phase liquide, à la phase gaz et à la phase mousse. Les essais à ébullition de représentativité proche sur pilote d'évaporateur (phase de concentration en dénitrification formique et phase de reflux total), montrent un bon comportement de [redacted] en phase vapeur-mousse.

Conclusion :

Les mesures d'épaisseurs sur la zone de marnage de l'évaporateur R2 4120-22 sont cohérentes avec les données de R&D : la vitesse de corrosion moyenne reste relativement faible, cependant l'épaisseur limite élevée de cette zone implique une sensibilité à la corrosion relativement forte.

Concernant le fond GRC supérieur du bouilleur (dôme), il a une sensibilité à la corrosion attendue entre celle de la zone de marnage du bouilleur, et celle de la virole de la colonne. Sa sensibilité à la corrosion est donc relativement faible.

9.3.2.1.3.1.2 Sensibilité de la paroi du bouilleur au niveau des DE latérales

Mesures d'épaisseurs sur cet évaporateur :

Les interspires des DE latérales de l'évaporateur R2 4120-22 ont fait l'objet de mesures d'épaisseurs (cf. § 9.2.3.1.4) en Mars 2016. Les épaisseurs minimales (E_{min}) issues de ces mesures sont reportées par zone dans le Tableau 20, avec les valeurs minimales initiales (nominales) et l'épaisseur limite (E_{lim}) pour la tenue mécanique de l'évaporateur.

Dans ce tableau, pour chaque interspire, est ajoutée l'épaisseur moyenne estimée de la paroi sous la spire adjacente ($\langle E \rangle^{Spire}$). Cette estimation est réalisée en retranchant à l'épaisseur minimale nominale (de manière pénalisante) une perte d'épaisseur estimée sous la spire. Cette perte d'épaisseur sous la spire est estimée avec la vitesse de corrosion moyenne en interspire, à laquelle est appliqué un facteur tenant compte d'une activation thermique supérieure sous la spire des DE latérales (ce facteur a été déterminé [redacted] sur les DE latérales à partir du REX des mesures par sondes multiéléments sur les évaporateurs PF sur l'atelier T2).

Zone	E_{lim} [mm]		E_{min} [mm]		$\langle E \rangle_{Spire}$ [mm]
	Actuelle	Future	Initiale (nominale)	Mars 2016	
H/4					
H/6					
H/8					
H/10					
H/12					

Tableau 20 - Sensibilité à la corrosion de la paroi sous les DE latérales de l'évaporateur R2 4120-22.

Les valeurs minimales mesurées en Mars 2016 en interspire des DE latérales (et les valeurs moyennes estimées sous les spires adjacentes) de l'évaporateur R2 4120-22 sont globalement aussi proche de leur valeur minimale initiale nominale, que de l'épaisseur limite pour la tenue mécanique.

En outre, les spires les plus basses de la DE latérale sont plus sensibles à la corrosion que les spires les plus hautes (la 1^{ère} spire en partant du rayon de carre, inférieur étant la plus pénalisante).

Ce constat implique une sensibilité à la corrosion relativement forte de la paroi sous les DE latérales.

Comparaison aux données de R&D et de REX :

Les vitesses de corrosion issues de la R&D ne montrent pas de valeurs supérieures à celles observées sur site.

Concernant les soudures en [REDACTED], les données R&D montrent un comportement identique à celui du métal de base.

En outre, des essais sur évaporateur pilote avec un milieu proche des solutions traitées montrent à ébullition l'absence d'influence chimique du dépôt sur la corrosion.

Conclusion :

En regard des mesures d'épaisseurs au niveau des DE latérales de l'évaporateur R2 4120-22 et des données de R&D, cette zone présente une sensibilité à la corrosion relativement forte, en particulier pour la spire la plus basse.

9.3.2.1.3.1.3 Sensibilité des rayons de carre du fond GRC inférieur

Mesures d'épaisseurs sur cet évaporateur :

Le rayon de carre du fond GRC inférieur (H/15) de l'évaporateur R2 4120-22 a fait l'objet de mesures d'épaisseurs (cf. § 9.2.3.1.4) en Mars 2016. Les épaisseurs minimales (E_{min}) issues de ces mesures sont reportées par zone dans le Tableau 21, avec les valeurs minimales initiales (nominales) et l'épaisseur limite (E_{lim}) pour la tenue mécanique de l'évaporateur (cf. § 9.1.3).

Zone	E_{lim} [mm]	Epaisseur moyenne initiale	E_{min} [mm]
			Mars 2016
H/15			

Tableau 21 - Sensibilité à la corrosion du rayon de carre du fond GRC inférieur de l'évaporateur R2 4120-22.

Nota : Cette valeur minimale initiale tient compte d'une perte d'épaisseur initiale par formage lors de la fabrication de cette zone (fond GRC).

Les valeurs minimales mesurées en Mars 2016 sur le rayon de carre de l'évaporateur R2 4120-22 sont plus proches de leur valeur moyenne initiale, que de l'épaisseur limite pour la tenue mécanique.

Ce constat implique une sensibilité moyenne à la corrosion du rayon de carre.

Comparaison aux données de R&D et de REX :

Les vitesses de corrosion issues de la R&D ne montrent pas de valeurs supérieures à celles observées sur site.

Concernant les soudures en [REDACTED], les données R&D montrent un comportement identique à celui du métal de base.

En outre, des essais sur évaporateur pilote avec un milieu proche des solutions traitées montrent à ébullition l'absence d'influence chimique du dépôt sur la corrosion.

Conclusion :

En regard des mesures d'épaisseurs sur le rayon de carre de l'évaporateur R2 4120-22 et des données de R&D, cette zone présente une sensibilité moyenne à la corrosion.

9.3.2.1.3.1.4 Sensibilité de la paroi du bouilleur au niveau des DE du fond

Mesures d'épaisseurs sur cet évaporateur :

Les interspires des DE du fond de l'évaporateur R2 4120-22 ont fait l'objet de mesures d'épaisseurs (cf. § 9.2.3.1.4) en Mars 2016. Les épaisseurs minimales (E_{min}) issues de ces mesures sont reportées par zone dans le Tableau 22 avec les valeurs minimales initiales (nominales) et l'épaisseur limite (E_{lim}) pour la tenue mécanique de l'évaporateur.

Zone	E_{lim} [mm]		E_{min} [mm]	
	Actuelle	Future	Initiale (nominale)	Mars 2016
EF206 / P10				
H/16				
H/17				
H/19				
H/20				
H/21				

Tableau 22 - Sensibilité à la corrosion des interspires des DE du fond de l'évaporateur R2 4120-22.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

Les valeurs minimales mesurées en Mars 2016 en interspire des DE latérales de l'évaporateur R2 4120-22 :

- sont moins proches de leur valeur minimale initiale nominale, que de l'épaisseur limite pour la tenue mécanique,
- montrent que l'interspire la plus pénalisante est H/17,
- l'interspire H/17 est pénalisante par rapport aux mesures au droit du piquage P10 (sous double enveloppe).

Afin d'estimer l'épaisseur sous les spires du fond une comparaison peut être faite :

- entre la vitesse moyenne de perte d'épaisseur sous les piquages de sortie d'EF (dont l'épaisseur a été mesurée pour les évaporateurs R2 4120-21 et R2 4120-22 au droit du piquage P10) et l'interspire H/16. Cette comparaison montre une vitesse de corrosion similaire sous l'interspire H/16 et sous ce piquage. La vitesse de corrosion en interspire et sous les spires adjacentes sont donc considérées similaires à proximité des sorties EF.
- entre la mesure sous les piquages de sorties d'EF et sous les piquages d'arrivées d'EF (cf.). Cette comparaison montre que les zones à proximité des arrivées d'EF sont plus pénalisantes que celle à proximité des sorties d'EF.

La zone la plus pénalisante du fond est donc considérée au niveau de l'interspire H/17 et la paroi sous les deux spires adjacentes (avec une vitesse de corrosion considérée similaire entre l'interspire H/17 et sous ces spires).

- Ce constat implique une sensibilité à la corrosion forte de la paroi sous les DE du fond.

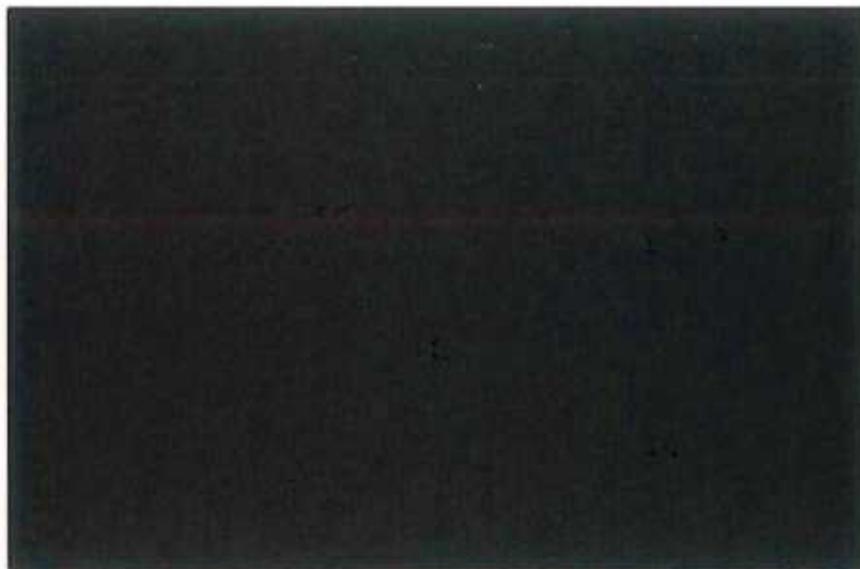


Figure 16 - Epaisseurs résiduelles mesurées sur les évaporateurs CPF de l'atelier R2 au niveau des Interspires du fond en 2014/2015 (les épaisseurs mesurées sous les piquages en arrivée et en sortie d'EF sont représentées en vert).



E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
AREVA NC	NT	100807	12	0017	E	REF

Comparaison aux données de R&D et de REX :

Les vitesses de corrosion issues de la R&D ne montrent pas de valeurs supérieures à celles observées sur site.

Concernant les soudures en [REDACTED], les données R&D montrent un comportement identique à celui du métal de base.

En outre, des essais sur évaporateur pilote avec un milieu proche des solutions traitées montrent à ébullition l'absence d'influence chimique du dépôt sur la corrosion.

Conclusion :

En regard des mesures d'épaisseurs au niveau des DE du fond de l'évaporateur R2 4120-22 et des données de R&D, cette zone présente une sensibilité à la corrosion forte, en particulier pour l'interspire H/17 et les deux spires adjacentes (avec une vitesse de corrosion considérée similaire entre l'interspire H/17 et sous ces spires).

Remarque : Cette configuration non attendue (la configuration attendue serait une sensibilité accrue à la corrosion sous spire et à proximité des arrivées d'EF du fait d'une activation thermique), pourrait être liée à une potentielle influence thermique d'un dépôt dans le fond de l'évaporateur.

9.3.2.1.3.1.5 *Hiérarchisation des zones sensibles et conclusion sur la ZIS*

D'après les discussions ci-dessus, un classement des zones de l'enveloppe de l'équipement est établi en regard de leur sensibilité à la dégradation par corrosion. Il est présenté dans le Tableau 23 par ordre croissant de sensibilité (la zone [REDACTED] étant la plus sensible identifiée).

Zone de l'enveloppe <i>(cf. Figure 7)</i>	Métallurgie	Environnement interne	Environnement externe
N°1 : Bouilleur - Fond GRC inférieur : Les zones sous les spires 2 et 3 des DE du fond (en partant du rayon de carre), et l'interspire H/17.	Tôles - soudures		
N°2 : Bouilleur - Fond GRC inférieur : Les zones sous les spires autres que celles de la zone N°1, et les interspires associées.	Tôles - soudures		
N°3 : Bouilleur - Virole : Les zones sous les spires des DE latérales. <i>Remarques :</i> - les zones au droit des plaquages des arrivées EF sont plus sensibles). - les zones sous la DE latérale basse sont plus sensibles, que celle de la DE latérale haute.	Tôles - soudures		
N°4 : Bouilleur - Virole : Les interspires de la DE latérales.	Tôles - soudures		
N°5 : Bouilleur - Virole : Le rayon de carre inférieur.	Tôles - soudures		
N°6 : Bouilleur - Virole : La zone de marnage.	Tôles - soudures		
N°7 : Bouilleur - Fond GRC supérieur	Tôles - soudures - forgés		
N°8 : Paroi de la colonne : Les zones basses étant les plus sensibles.	Tôles - soudures - forgés		

Tableau 23 - Sensibilité des zones à la corrosion de l'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2.

Conclusion sur la ZIS :

La ZIS est la première des zones sensibles identifiées (c.-à-d. la plus critique du point de vue du risque de défaillance face à la perte d'épaisseur en corrosion) dans le Tableau 23.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

Pour l'évaporateur R2 4120-22, la ZIS est donc : l'interspire H/17 et les deux spires adjacentes à H/17 (qui présentent de vitesses de corrosion similaires). Elles sont localisées dans la Figure 17.

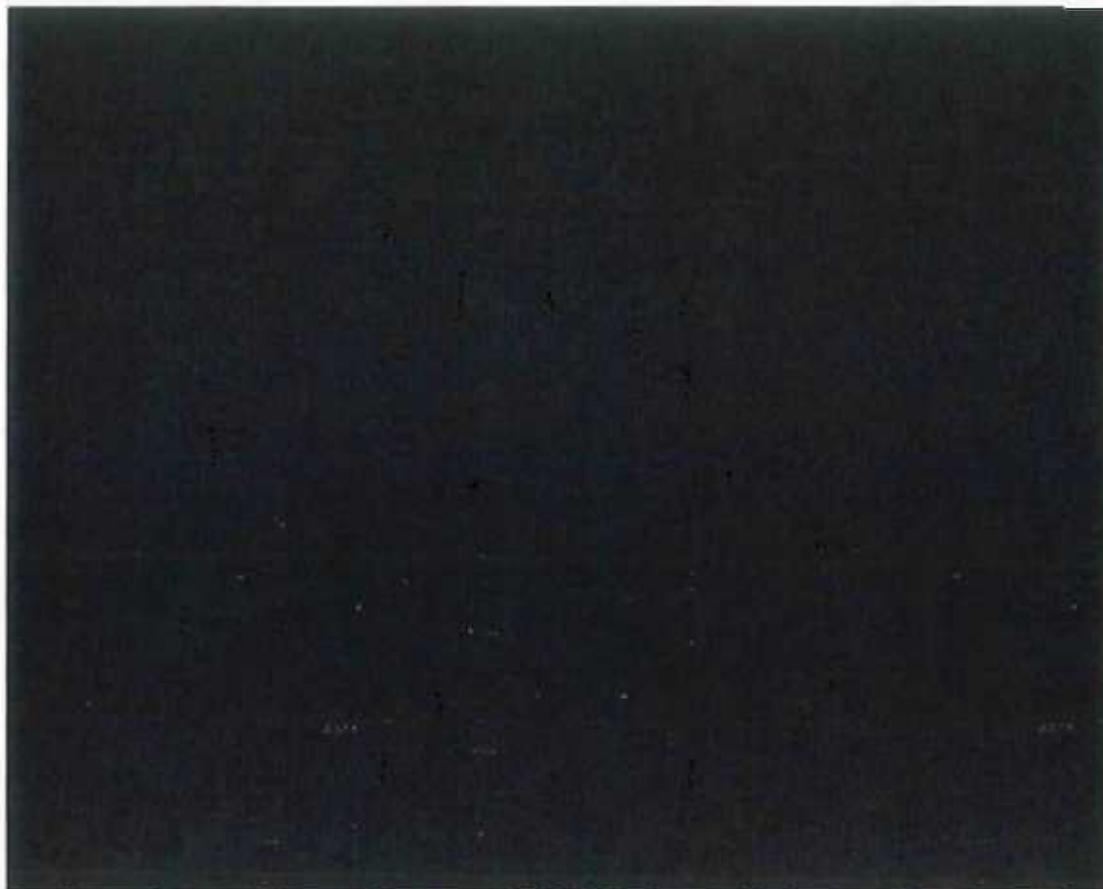


Figure 17 - Localisation de la ZIS pour l'évaporateur R2 4120-22 (la photographie donnée pour illustration est prise dans le bouilleur de l'évaporateur R2 4120-21 avant sa mise en exploitation).

9.3.2.1.4 Probabilité d'apparition de la dégradation de type corrosion

Au vu des éléments cités ci - dessus et conformément aux critères du « Guide des conditions particulières d'application du Titre III du décret 99.1046 [1] aux Equipements Sous Pression Nucléaire » [3], la probabilité d'apparition de la dégradation de type corrosion est considérée comme « **Forte** ».

9.3.2.2 Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation

Un suivi en exploitation au niveau de l'évaporateur 4120-22 de R2 des conditions de température et des paramètres physico-chimiques des fluides procédé et caloporteur permet d'encadrer la corrosion.

Les paramètres suivis sont présentés dans le Tableau 19 et intégrés au POES de l'équipement [27].

Identification équipements ou seuil	Type de suivi
Suivi et enregistrement de la température dans l'évaporateur R2 4120-22 (TE)	Relevé valeur
Surveillance périodique des caractéristiques physico-chimiques du liquide procédé (acidité, fer)	Relevé valeur
Suivi et enregistrement de la température du caloporteur (TER de l'échangeur [REDACTED]). Prescription ARE-LH-EVP-06 Décision [6]	Relevé valeur

Tableau 24 - Paramètres suivis pour encadrer la corrosion.

Au vu des éléments cités ci-dessus, les conditions d'exploitation associées à ce mode de dégradation sont considérées comme « **Maîtrisées** ».

9.3.2.3 Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations

L'adéquation des inspections par rapport à la perte d'épaisseur par corrosion peut être qualifiée en estimant l'adéquation à la date actuelle :

- du suivi de la perte d'épaisseur par corrosion,
- du suivi de paramètres ayant une influence sur la corrosion.

Cette partie estime l'adéquation de ces deux suivis (cf. § 9.3.2.3.1 et § 9.3.2.3.2 respectivement), et conclue sur l'adéquation des inspections aux dégradations (cf. § 9.3.2.3.3).

9.3.2.3.1 Adéquation du suivi de la perte d'épaisseur

La périodicité réglementaire des inspections avec contrôle de mesures d'épaisseurs est précisée dans le Tableau 25.

Exigences opérationnelles	Périodicité
Mesures d'épaisseur en paroi du bouilleur (la zone prioritaire retenue sont l'interspire (H17) défini comme la ZIS)	15 mois (*)
Mesures d'épaisseur en paroi du bouilleur sur la totalité des zones accessibles	24 mois

Tableau 25 - Périodicité des mesures d'épaisseurs.

(*) Les mesures sont effectuées une fois par an, sans excéder 15 mois entre deux contrôles successifs.

Cependant, les inspections de mesures d'épaisseurs ne peuvent couvrir tout l'équipement en raison de limite d'accessibilité (seule une partie de l'équipement est accessible).

Le suivi brut de ces mesures (sans un plan de surveillance renforcé tel qu'énoncé en § 1, avec notamment une mise à jour annuelle de la méthodologie du § 9.2.3), ne peut être seul considéré comme totalement adéquat.

Ce suivi est estimé pas totalement adéquat.

E&P	Type Doc. Activité Cat.MT N° Ordre Révision	REF
AREVA NC	NT 100807 12 0017 E	REF

9.3.2.3.2 Adéquation du suivi de paramètres ayant une influence sur la corrosion

Présentation du suivi et périodicité :

Un suivi de paramètres ayant une influence sur la corrosion peut être fait via les dispositions particulières relevant de l'exploitation (précisé dans DEX de l'équipement) :

- Bilan annuel des analyses physicochimiques du liquide procédé ;
- Surveillance des concentrations [REDACTED]

Les paramètres ayant une influence sur la corrosion qui peuvent être suivi par ce biais sont plus particulièrement (cf. § 9.3.2.1.1) :

- La température du caloporteur (dans les lignes EF), qui pilote l'activation thermique de la vitesse de corrosion dans les zones sous flux thermique.
- L'acidité [REDACTED] de la solution nitrique (fluide procédé), qui intervient sur la vitesse de corrosion directement via la réduction de l'acide nitrique.
- La teneur en [REDACTED] du fluide procédé, qui intervient sur la vitesse de corrosion via l'effet catalytique de la réduction de l'acide nitrique par [REDACTED]

Ces suivis sont faits de manières périodiques (intégrés au POES de l'équipement [27]). Leurs périodicités sont données dans le Tableau 26.

Exigences opérationnelles	Périodicité
Bilan du suivi des températures du caloporteur et du fluide procédé	12 mois
Bilan du suivi des caractéristiques physico-chimiques du liquide procédé (acidité, fer)	12 mois

Tableau 26 - Périodicité du suivi des paramètres physicochimiques.

Présentation de l'historique du suivi de ces paramètres :

L'historique du suivi de ces paramètres pour l'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2 est présenté ci-dessous :

- Le suivi de l'acidité (Figure 18), montre que celle-ci se situe entre les deux bornes prévues lors du dimensionnement (2 à 2,8 [28]). De légers dépassements ponctuels n'ont pas d'impact significatif sur le comportement en corrosion de l'évaporateur.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

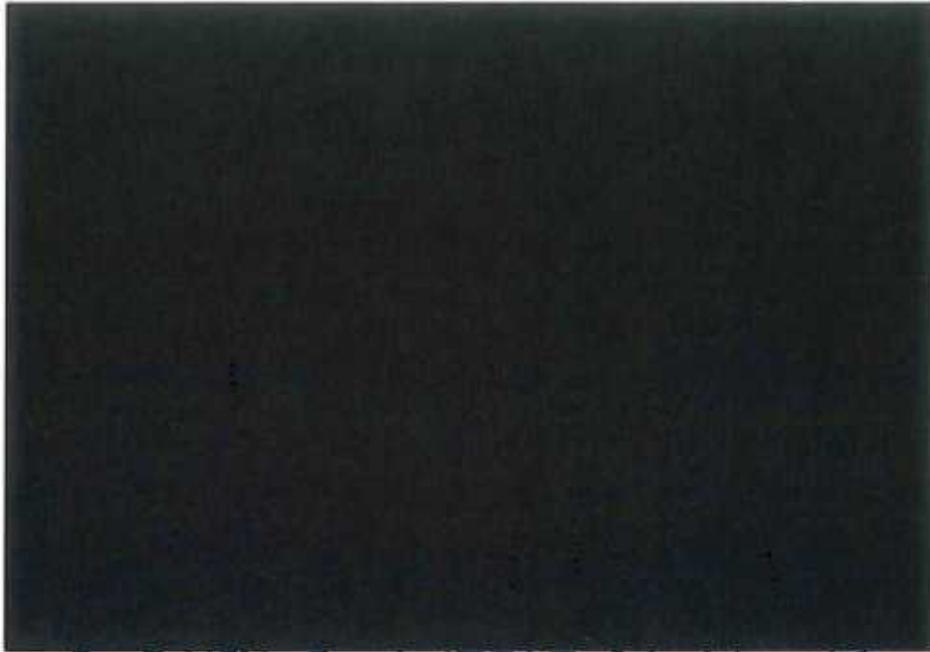


Figure 18 - Acidité dans l'évaporateur 4120-22 de R2 en fin de cycle de concentration en mol/L.

- Le suivi de la température de l'eau surchauffée dans les lignes d'EF utilisée pour chauffer l'évaporateur (Figure 19) montre une température moyenne en fonctionnement de [REDACTED], une valeur maximale à [REDACTED] avec globalement des valeurs ne dépassant pas [REDACTED]. La température de dimensionnement de [REDACTED] a été atteinte ponctuellement, sans incidence sur le fonctionnement de l'appareil.

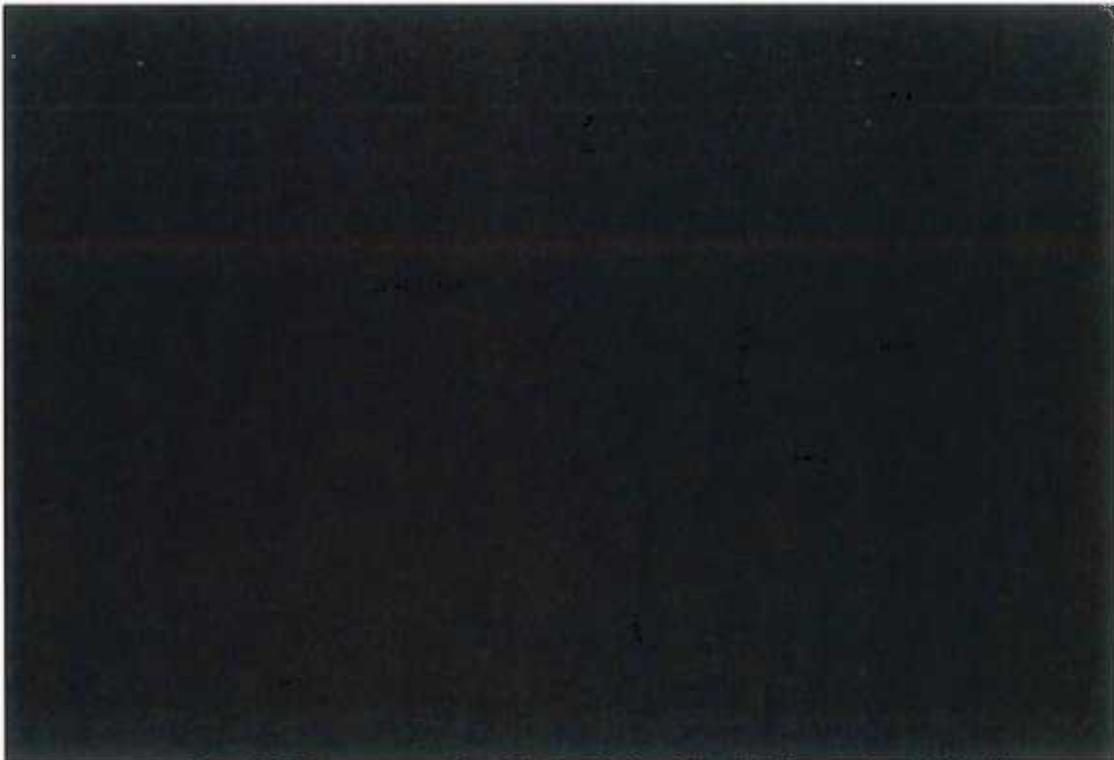


Figure 19 - Mesures mensuelles de la température de l'EF de l'évaporateur R2 4120-22.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

- Le suivi de la concentration en fer (présenté pour les trois évaporateurs 4120-21, 4120-22 et 4120-23 de l'atelier R2 en Figure 20) montre des valeurs globalement inférieures à [REDACTED], avec depuis 2002 une valeur moyenne inférieure à [REDACTED]. Les valeurs observées en exploitation sont comprises dans le domaine d'utilisation de [REDACTED] prévu à la conception.

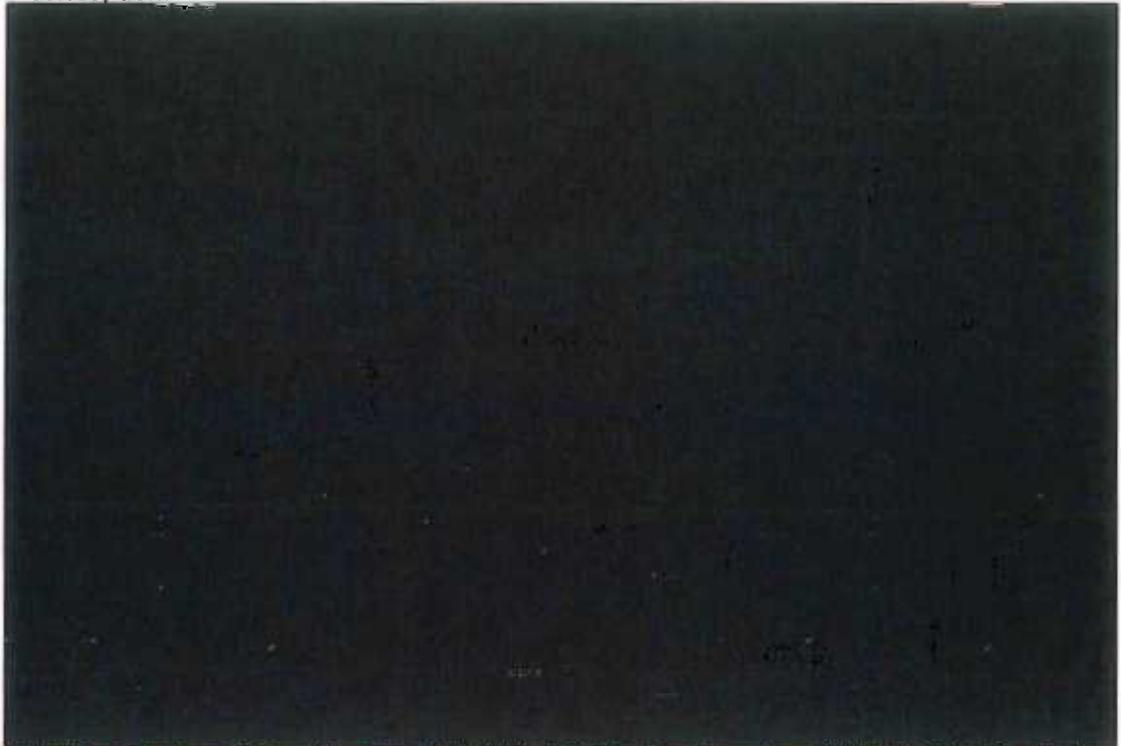


Figure 20 - Concentration en Fer en g/L sur la période 1994 - 2013 dans les évaporateurs 4120 de l'atelier R2 en fin de cycle de concentration.

Conclusion :

Comme indiqué plus haut dans ce paragraphe, le suivi de ces paramètres est essentiel pour suivre le respect d'une utilisation de l'évaporateur dans le domaine d'utilisation de [REDACTED] prévu à conception. Et, ce suivi montre un fonctionnement globalement constant de l'évaporateur, et en respect avec le domaine d'utilisation de [REDACTED] prévu à conception.

Pendant, tant que le programme R&D (cf. § 9.3.2.1.1) n'aura pas conclu sur les mécanismes clés à surveiller (qui sont responsable d'une vitesse de corrosion supérieur à celle prévu à conception) et la prise en compte de cette conclusion dans ce suivi physicochimique, celui-ci ne peut être considéré comme totalement adéquat.

Il est donc considéré comme pas totalement adéquat.

9.3.2.3.3 Adéquation des inspections par rapport à la corrosion généralisée et uniforme

Au vu des éléments cités ci – dessus, l'adéquation des inspections à ce type de dégradation est évaluée comme étant « **Pas totalement adéquate** ».

9.3.2.4 Niveau du facteur de dégradation

Les niveaux des facteurs à considérer pour l'analyse du niveau du facteur de dégradation en fonction des modes de dégradation considérés sont :

- Corrosion
 - Probabilité de l'apparition de la dégradation (voir § 9.3.2.1.4) : **Forte**
 - Niveau de maîtrise des conditions d'exploitation (voir § 9.3.2.2) : **Maîtrisées**
 - Adéquation des inspections aux dégradations (voir §9.3.2.3.3) : **Pas totalement adéquate**

Probabilité d'apparition de dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Exploitation									
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

Tableau 27 - Matrice de niveau du facteur corrosion.

Après analyse de la matrice de détermination du facteur dégradation, le niveau de ce facteur est :

- Corrosion : **Niveau 3.**

9.3.3 Fatigue

9.3.3.1 Détermination de la probabilité d'apparition de la dégradation

L'équipement de par ses conditions d'exploitation est soumis à des cycles de pression / température et donc à un phénomène de fatigue.

Lors de sa conception, une note calcul à la fatigue [18] a été réalisée. Le dimensionnement de l'équipement prend donc en compte ce mode de dégradation.

Une nouvelle note de calcul à la fatigue a été effectuée [22]. Cette note prend en compte les différentes évolutions du code de dimensionnement (██████████), ainsi que les valeurs de fonctionnement réelles en pression et température.

Les résultats de ces calculs attestent du bon dimensionnement de l'équipement au mode de dégradation considéré.

Au vu des éléments cités ci-dessus, la probabilité d'apparition de la dégradation est considérée comme « **Faible** ».

9.3.3.2 Détermination de la maîtrise des conditions d'exploitation

Un suivi en exploitation au niveau de l'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2 des paramètres pression / température de l'équipement permet d'encadrer ce mode de dégradation.

Les paramètres suivis sont présentés dans le Tableau 28 et intégrés au POES de l'équipement [27].

Identification équipements ou seuil	Type de suivi
Suivi et enregistrement de la température dans l'évaporateur R2 4120-22 (TE)	Relevé valeur
Suivi et enregistrement de la température du caloporteur (TER)	Relevé valeur
Suivi et enregistrement de la pression du vase d'expansion [REDACTED] (PER) Prescription ARE-LH-EVP-06 Décision [6]	Relevé valeur

Tableau 28 - Paramètres suivis pour encadrer la fatigue.

Dans le cadre de l'étude sur la Maîtrise de la Durée de Vie, un historique des cycles thermique et pression a été constitué [26].

L'exploitation de cet historique permet de conforter les marges restantes pour l'exploitation de l'évaporateur 4120-22 de l'atelier R2 (voir § 9.2.4).

L'analyse des cycles faite au travers de l'étude sur la Maîtrise de la Durée de Vie et le suivi en exploitation permet donc de considérer que les conditions d'exploitation liées à la fatigue de l'équipement sont « **Maîtrisées** ».

9.3.3.3 Détermination de l'adéquation des inspections aux dégradations

D'après le §2.2.3 du courrier [3], "La mesure d'un paramètre de fonctionnement qui serait le révélateur direct d'une dégradation peut être considéré comme une inspection au sens précédent. Elle peut donc être adéquate pour le mode de dégradation considéré, sous réserve que la performance soit justifiée et sa fréquence adaptée à la cinétique de ce mode de dégradation".

Concernant la fatigue, le seul moyen d'inspection disponible est le suivi des cycles thermiques et pression effectué au travers de la surveillance de la température et de la pression avec une analyse annuelle qui justifie que le domaine d'apparition de la dégradation est maîtrisé.

De ce fait, aucun moyen d'inspection n'est disponible pour l'inspection de la fatigue de l'équipement, seul un suivi en exploitation des paramètres pression / température ainsi que l'analyse de ses paramètres permettent de suivre la durée de vie de l'équipement par rapport à ses données de dimensionnement pour lesquelles il a été conçu.

Au vu des éléments cités ci-dessus et conformément aux critères du « Guide des conditions particulières d'application du Titre III du décret 99.1046 [1] aux Equipements Sous Pression Nucléaire » [3], l'adéquation des inspections à ce type de dégradation est évaluée comme étant « **Absente** ».

9.3.3.3.1 Ré évaluation de l'adéquation des inspections liées à la fatigue

Des dispositions particulières visant à suivre plus précisément la fatigue de l'équipement sont mises en place.

Ces dispositions particulières sont présentées dans le Tableau 29 et intégrées au POES de l'équipement [27].

Exigences opérationnelles	Périodicité
Analyse du bilan annuel des cycles réels en pression et en température	12 mois

Tableau 29 - Dispositions particulières mises en œuvre pour encadrer la fatigue.

Les conditions de température et de pression sont déjà suivies et analysées (voir § 9.3.3.2). Le suivi et le bilan annuel des cycles thermique et pression va permettre de connaître les marges restantes pour l'exploitation de l'équipement.

La périodicité des dispositions particulières, définie dans le POES, se fait en accord avec la cinétique des modes de dégradation identifiés de l'équipement.

Ces dispositions particulières permettent d'abaisser le critère de l'adéquation des inspections de « Absente » à « Pas totalement adéquate ».

9.3.3.3.2 Niveau du facteur de dégradation

Les niveaux des facteurs à considérer pour l'analyse du niveau du facteur de dégradation en fonction des modes de dégradation considérés sont :

- **Fatigue**
 - Probabilité de l'apparition de la dégradation (voir § 9.3.3.1) : **Faible**
 - Niveau de maîtrise des conditions d'exploitation (voir § 9.3.3.2) : **Maîtrisées**
 - Adéquation des inspections aux dégradations (voir § 9.3.3.3.1) : **Pas totalement adéquate**

Probabilité d'apparition de dégradation	Inspections adéquates			Inspections pas totalement adéquates			Absence d'inspection		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
Exploitation									
Maîtrisée	1	1	2	1	3	3	2	3	3
Non-maîtrisée	1	2	2	2	3	3	3	3	3

Tableau 30 - Matrice de niveau du facteur fatigue.

Après analyse de la matrice de détermination du facteur dégradation, le niveau de ce facteur est :

- **Fatigue : Niveau 1.**

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
AREVA NC	NT	100807	12	0017	E	REF

9.3.4 Facteur Global de dégradation de sécurité de l'équipement

Après analyse de tous les facteurs de dégradation de l'équipement, le niveau global de dégradation attribuable à l'équipement est le plus important des niveaux des facteurs identifiés.

Pour l'évaporateur R2 4120-22, on a :

- Corrosion (voir § 9.3.2.4) : **Niveau 3.**
- Fatigue (voir § 9.3.3.3.2) : **Niveau 1.**

Après analyse de tous les facteurs de dégradation de l'équipement, le niveau global de dégradation attribuable à l'équipement est **Niveau 3.**

9.4 DETERMINATION DU NIVEAU DE SECURITE DE L'ESPN

Pour déterminer le niveau de sécurité, on retient le niveau le plus pénalisant obtenu parmi les facteurs ci-dessus.

Les niveaux des facteurs étudiés sont :

- Facteur Fabrication (voir § 9.1.7) : **Niveau 1.**
- Facteur Etat (voir § 9.2.5) : **Niveau 2.**
- Facteur Dégradation (voir § 9.3.4) : **Niveau 3.**

Le niveau de sécurité retenu pour l'ESPN suite à l'analyse des différents facteurs est le **Niveau 3 « Risque de défaillance fort ».**

10

EVALUATION DES CONSEQUENCES DE LA DEFAILLANCE DE L'ESPN

Les conséquences de la défaillance de l'évaporateur 4120-22 de R2 sur les intérêts protégés mentionnés à l'article L.593-1 du Code de l'Environnement sont évaluées dans l'analyse de sûreté référencée [7].

Pour mémoire, les intérêts protégés sont :

- la sécurité, la santé et la salubrité publiques ;
- la protection de la nature et de l'environnement.

10.1 RETOUR D'EXPERIENCE (REX)

Ce paragraphe est destiné à établir le REX à prendre en compte pour chaque ESPN de La Hague [25]. Le REX significatif sur un équipement similaire à l'évaporateur de produit de fission R2 4120 - 22 concerne l'évaporateur 6314 - 30 de l'atelier R7 (déclaration de l'événement suivant lettre HAG 0 0290 11 20342 du 11 février 2011).

10.1.1 Détection de l'évènement

Le seuil d'alarme associé au pot de comptage présent sur la boucle caloporteur de l'ESPN a permis d'identifier une contamination de la boucle caloporteur assurant la chauffe et le refroidissement de la partie bouilleur [REDACTED]

Par la suite, les prises d'échantillon ont pu mettre en évidence un niveau très faible de contamination (activité volumique de l'ordre de [REDACTED] cette valeur corrélée par le pot de comptage en ligne, a fait l'objet d'un suivi afin de constater son évolution.

Une baisse anormalement rapide du niveau du pressuriseur maintenant sous pression la boucle caloporteur, identifiée par l'opérateur grâce aux sollicitations récurrentes du système d'appoint en eau de la boucle caloporteur, a conforté le diagnostic de fuite.

De même, une élévation anormale de niveau dans la cuve [REDACTED] a pu être constatée, malgré l'isolement de toutes les arrivées liquides dans cet équipement.

L'ensemble de ces éléments a permis d'identifier avec certitude une fuite au niveau d'un des serpentins de chauffe et de refroidissement.

Il est noté que la contamination du circuit caloporteur a eu lieu alors même que celui-ci se trouve être en surpression au regard de la pression du compartiment actif de l'équipement (rétrodiffusion de la contamination).

10.1.2 Conséquences de l'évènement

Tout au long de la période de surveillance de l'équipement (10 décembre 2010 au 05 février 2011), une faible élévation de la contamination du circuit a été détectée, sans que les niveaux d'irradiation dans les salles des zones contrôlées traversées par les tuyauteries ne présentent un risque.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

10.2 RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DE L'ESPN

Classement de l'ESPN

L'évaporateur de concentration de Produits de Fission 4120-22 de l'Atelier R2 est un ESPN de niveau N2 et de catégorie IV. Le classement retenu est justifié dans l'analyse de sûreté dite de justification en niveau et en classement de l'ESPN relevant des annexes 5 et 6 de l'arrêté de référence [2].

Les autres caractéristiques techniques de l'ESPN sont décrites aux paragraphes § 5 et 6 de la présente note.

Environnement de l'ESPN

La prévention contre les risques de dispersion de matières radioactives est assurée par l'organisation des ateliers en systèmes de confinement selon les principes développés dans le RPS UP2-800.

Un premier système de confinement est conçu de manière à éviter une dissémination de la radioactivité dans les zones de circulation du personnel ou dans l'environnement.

Il est composé de deux barrières :

- une première barrière statique constituée par les appareils procédés et les enveloppes de conditionnement en contact direct avec les matières radioactives,
- une seconde barrière statique est constituée par les parois des cellules (██████) et celles des équipements (gainés de ventilation jusqu'au premier étage de filtration) qui assurent la continuité. Elle a pour but :
 - de limiter la dissémination de matière radioactive en cas de défaillance de la première barrière,
 - d'assurer la protection contre l'irradiation du personnel,
 - de permettre les opérations nécessaires pour revenir à la situation normale.

Le confinement statique ainsi obtenu est complété par un confinement dynamique par ventilation forcée :

- le système de ventilation associé à la première barrière de confinement permet de maintenir les appareils du procédé en dépression par rapport aux cellules les contenant. Un sens d'air préférentiel est ainsi créé de ces cellules vers les appareils procédé, à travers les fuites éventuelles de la première barrière, limitant la dispersion de matière radioactive,
- le système de ventilation associé à la deuxième barrière de confinement, permet de maintenir une dépression entre le premier système de confinement et le second système de confinement, de manière à limiter une éventuelle dispersion de matière radioactive en dehors de ce premier système de confinement.

Un deuxième système de confinement est prévu en tout point où la continuité du premier système de confinement ne peut être totalement garantie (i.e. cas des traversées non classées non-disséminantes). Ce deuxième système est constitué d'au moins une barrière assurant une protection supplémentaire de l'environnement contre la dispersion des matières radioactives.

D'une manière générale, les salles situées autour des cellules actives font partie du deuxième système de confinement.

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
AREVA NP	NT	100807	12	0017	E	REF

10.3 CONSEQUENCES SUR LE PERSONNEL

Les conséquences de la défaillance de l'équipement sur les travailleurs sont appréciées en prenant en compte l'environnement de l'équipement.

Les conséquences sur les travailleurs suite à une défaillance de l'équipement sont analysées à un niveau faible dans les scénarios du document en référence [7].

10.4 CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT

Les conséquences de la défaillance de l'équipement sur l'environnement et le public sont appréciées en prenant en compte l'environnement de l'équipement.

Les conséquences sur l'environnement suite à une défaillance de l'équipement sont analysées dans le document en référence [7].

Les deux scénarios jugés les plus crédibles du fait du REX observé sur le site AREVA La Hague n'entraînent pas d'impact sur le personnel, le public ou l'environnement

Seuls les scénarios hautement pénalisants de perte totale de confinement de l'évaporateur, soit la dispersion instantanée de [REDACTED] de solution de Produits de Fission dans la cellule, conduisent à un impact au-delà de l'impact annuel induit par les rejets nominaux.

Les mécanismes d'endommagement conduisant à de tels scénarios n'ont à ce jour jamais été observés sur le site.

E&P	Type Doc.	Activité	CalMT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

11 PERIMETRE DE LA DEMANDE D'AMENAGEMENT D'APPLICATION DU TITRE III POUR LE SUIVI EN SERVICE

Dans l'impossibilité d'effectuer la totalité des gestes réglementaires requis par les annexes 5 et 6 de l'arrêté ESPN (inspection visuelle externe partielle), les dispositions particulières envisagées, objet d'une demande d'aménagement, en application de l'article 3 de l'arrêté 99.1046 du 13/12/99 [1], sont explicités dans les tableaux ci-dessous avec leur périodicité et modalité respectives de mise en œuvre.

L'analyse de l'équivalence du niveau de sécurité par rapport à celui qui serait établi par application des mesures réglementaires ESPN ne peut être réalisée sur la base d'une méthode générique telle que la méthode de cotation en annexe du courrier du groupe inter-exploitant [29]. En effet, le niveau de sécurité retenu pour l'ESPN 4120-22 de l'atelier R2 étant le **Niveau 3 « Risque de défaillance fort »**.

Pour ces raisons, et au-delà de la requalification réglementaire positionnée tous les 48 mois, il est mis en œuvre un **plan de surveillance renforcé**.

Par application de la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire [6]

- AREVA tient à jour et met à disposition de l'ASN, un bilan qui présente les résultats et conclusions des exercices, examens, dispositions ou actions mentionnés dans les prescriptions [ARE-LH-EVP-05], [ARE-LH-EVP-11], [ARE-LH-EVP-12], [ARE-LH-EVP-13], [ARE-LH-EVP-16] et [ARE-LH-EVP-17] de la décision [25]. Ce document doit dresser un bilan pour les deux usines est transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire semestriellement
- L'exploitant contrôle, au moins tous les deux ans, l'épaisseur des parois des évaporateurs PF au niveau de la totalité des zones accessibles à la mesure, et augmente, en tant que de besoin, cette fréquence au vu des résultats des contrôles. Le premier contrôle sera réalisé durant l'année 2016.
- L'exploitant contrôle une fois par an, sans excéder 15 mois entre deux contrôles, l'épaisseur des parois des évaporateurs PF au niveau des zones sensibles identifiées et de la partie basse du bouilleur, et augmente, en tant que de besoin, cette fréquence au vu des résultats des contrôles.
- L'exploitant fait procéder annuellement sur chacun des évaporateurs PF à une épreuve hydraulique du circuit caloporteur de chauffe ;
- L'exploitant met en œuvre avant fin décembre 2016, sur tous les évaporateurs PF, les dispositions compensatoires suivantes :
 - la pression de fonctionnement de l'eau surchauffée des circuits caloporteurs ne dépasse pas [REDACTED],
 - la température de l'eau surchauffée des circuits caloporteurs ne dépasse pas [REDACTED] pour l'atelier R2.
 - la complexation des [REDACTED] en solution est mise en place lors de la concentration de raffinats du premier cycle d'extraction issus du traitement de solution de rinçage pouvant ne pas contenir suffisamment de complexant.
 - les rinçages basiques des évaporateurs PF sont réalisés une fois par an, sans excéder 15 mois entre deux rinçages.

Inspection réglementaire			Faisabilité (oui/non/ partielle)
Type de suivi	Réglementation	Périodicité	
Inspection périodique	Vérification intérieure et extérieure de l'équipement Arrêté [2] - Annexe 5 - §3	40 mois [2]	Non
	Vérification de l'adéquation documentaire Arrêté [2] - Annexe 6 - §2	60 mois [2]	Oui
Requalification périodique	Vérification intérieure et extérieure de l'équipement Arrêté [2] - Annexe 6 - §2	60 mois [2]	Non
	Epreuve Hydraulique Arrêté [2] - Annexe 6 - §2	60 mois [2]	Oui

Faisabilité des dispositions réglementaires sur l'équipement 4120-22 de R2

Dispositions particulières		Périodicité proposée
Gestes compensatoires	- Mesure d'épaisseur par ultrasons sur l'équipement au niveau de la ZIS* - Analyse des mesures d'épaisseur	15 mois ** [27]
	- Mesure d'épaisseur par ultrasons sur le bouilleur sur l'ensemble des parties accessibles - Analyse des mesures d'épaisseur	24 mois [27]
	- Bilan des cycles thermiques et pression	12 mois [27]
	- Epreuve hydraulique en présence d'un organisme habilité	15 mois ** [27]
	Analyse du bilan du suivi des températures du caloporteur et du fluide procédé	12 mois [27]
	Analyse du bilan du suivi des caractéristiques physico-chimiques du liquide procédé (acidité, fer)	12 mois [27]
Requalification périodique	- Vérification de l'adéquation documentaire Arrêté [2] - Annexe 6 - §2	60 mois [27]
	- Mesure d'épaisseur par ultrasons sur l'équipement - Analyse des mesures d'épaisseur	60 mois [27]

E&P	Type Doc.	Activité	Cat.MT	N° Ordre	Révision	REF
	NT	100807	12	0017	E	
AREVA NC						REF

	Epreuve Hydraulique Arrêté [2] - Annexe 6 - §2	60 mois [27]
--	---	-----------------

Dispositions complémentaires en nature et/ou en périodicité proposé sur l'équipement 4120-22 de R2

* La Localisation de la ZIS sera à réévaluer à chaque campagne de mesures d'épaisseurs

** Les mesures sont effectuées une fois par an, sans excéder 15 mois entre deux contrôles successifs.

Remarque :

- Le compartiment nucléaire étant en dépression, aucune épreuve hydraulique n'est réalisée sur ce compartiment.
- A l'issue des Opérations de requalification périodique, un procès-verbal est rédigé et signé par un représentant d'un organisme habilité par l'ASN.
 - Ce procès-verbal atteste que les opérations de requalification périodique mentionnées dans cette présente note ont bien été réalisées. Le procès-verbal est accompagné des comptes rendus détaillés des opérations effectuées. Ce procès-verbal ainsi que les documents associés sont intégrés au Dossier d'Exploitation (DEX) de l'équipement
- les gestes présentés ci-dessus appartiennent exclusivement au périmètre ESPN. Les gestes réalisés dans le cadre de la réglementation ESP (boucle caloporteur) sont par ailleurs maintenus.