

Monsieur le Directeur de la Direction des centrales nucléaires

Fontenay-aux-Roses, le 3 décembre 2025

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00120 DU 3 DÉCEMBRE 2025

Objet : **DAC EPR2 Penly – Prise en compte des agressions dans la démonstration de sûreté**

Référence : Lettre ASN – CODEP-DCN-2024-070257 du 18 décembre 2024

1. INTRODUCTION

En 2016, EDF avait sollicité l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sur les options de sûreté d'un projet de nouveau réacteur, dénommé EPR « nouveau modèle » (EPR NM). En 2018, EDF a fait évoluer la configuration technique de ce projet de réacteur vers une nouvelle version, appelée EPR2. En 2021, les méthodologies retenues pour assurer la protection des réacteurs EPR2 contre les effets de certaines agressions ont fait l'objet d'un examen de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) à la suite duquel l'ASN a estimé que des compléments devaient être apportés par EDF. En 2023, EDF a déposé une demande d'autorisation de création (DAC) pour une paire de réacteurs EPR2 sur le site de Penly et a transmis la version préliminaire du rapport de sûreté (RPrS) associée qui intègre notamment les compléments demandés par l'ASN.

Par lettre citée en référence, l'ASN a demandé l'avis de l'IRSN sur la prise en compte des agressions d'origine interne et externe dans la démonstration de sûreté des réacteurs EPR2 de Penly, en particulier sur :

- les aspects génériques concernant les agressions internes et externes ;
- la géologie et la géotechnique du site EPR2 de Penly ;
- la protection des réacteurs EPR2 contre les effets des agressions internes ;
- la protection des réacteurs EPR2 contre les effets des agressions externes de référence et extrêmes, en intégrant la prise en compte du changement climatique ;
- l'évaluation des conséquences radiologiques liées aux agressions ;
- les études probabilistes de sûreté (EPS) relatives aux « agressions » (EPS « agressions »).

Le 1^{er} janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR).

La Direction de l'expertise en sûreté présente ci-après les principales conclusions de son examen, ainsi que les principaux engagements pris par EDF.

Il convient de noter que la majorité des études détaillées des agressions internes et externes ne sont pas disponibles au stade actuel du projet. EDF s'est engagé à les transmettre au plus tard à échéance du dépôt du dossier de demande de mise en service anticipé (DMES anticipé) qui est prévu en 2031.

2. DÉMARCHE GÉNÉRALE

Agressions internes

EDF retient comme objectif de sûreté, à la suite d'une agression interne, l'absence d'impact radiologique hors du site ou un impact mineur. Il considère l'ensemble des agressions internes visé à l'article 3.5 de l'arrêté INB¹. **Ces éléments sont satisfaisants.**

La démarche de protection des réacteurs EPR2 contre les effets des agressions internes repose principalement sur une séparation physique et géographique des systèmes et équipements assurant des fonctions de sûreté redondantes. La Direction de l'expertise en sûreté estime satisfaisante dans le principe la recherche d'une séparation physique et géographique. Toutefois, la Direction de l'expertise en sûreté a identifié des « zones de convergence » abritant plusieurs parties de ces fonctions de sûreté redondantes. Une agression dans ces zones pourrait induire une « condition de fonctionnement de référence » (DBC) et entraîner la perte de plusieurs redondances de fonctions nécessaires à sa gestion. Sur ce point, EDF s'est engagé à transmettre, à échéance de fin 2027, l'étude d'agression dans les « zones de convergence » d'ores et déjà identifiées (abritant des fonctions des systèmes RIS-RA², PTR³ et ASG⁴). Les zones qui seraient identifiées ultérieurement seront traitées au moment des études détaillées. **La Direction de l'expertise en sûreté estime ces éléments satisfaisants.**

À la suite d'une agression interne qui induit un DBC, la Direction de l'expertise en sûreté considère que le réacteur doit être replié et maintenu en état sûr, son refroidissement étant alors assuré par le système RIS-RA. Si un autre état sûr était retenu, EDF s'est engagé, à échéance du dépôt du DMES anticipé, à le justifier.

Agressions externes de référence

L'objectif de sûreté associé aux agressions externes de référence est l'absence d'impact radiologique hors du site ou un impact mineur. Les agressions externes de référence considérées par EDF sont celles visées à l'article 3.6 de l'arrêté INB.

Pour les agressions externes naturelles, EDF retient un niveau de référence de l'aléa, dit « *niveau de sûreté* », spécifique au site et représentatif d'un événement dont la cible probabiliste est de $10^{-4}/\text{an}$, **ce qui est satisfaisant**.

De plus, EDF retient, de manière générale, pour la conception des bâtiments et des systèmes :

- soit un niveau d'aléa de conception générique, dit « *niveau de conception générique découplé* », pour le palier⁵ de réacteurs EPR2 et s'appliquant aux bâtiments et systèmes de l'îlot nucléaire, ainsi qu'à ceux de la source froide diversifiée (bâtiment HOR) de l'îlot conventionnel ;
- soit un niveau d'aléa de conception spécifique au site considéré, dit « *niveau de conception spécifique* », s'appliquant aux bâtiments et systèmes de l'îlot conventionnel, hormis le bâtiment HOR.

Pour les agressions concernées par le changement climatique (canicule et niveau marin à date), les « *niveaux de sûreté* » correspondent à un aléa projeté à l'horizon de la première visite décennale des réacteurs et les niveaux de conception (spécifique et générique découplé) correspondent à un aléa projeté à l'horizon 2100.

Pour toutes les agressions externes naturelles, les « *niveaux de sûreté* » ont vocation à être réévalués à chaque réexamen périodique tandis que les niveaux de conception ne le seront pas. La démonstration de sûreté relève dans tous les cas du « *niveau de sûreté* » du site considéré.

La démarche « cas de charge » de protection contre les agressions externes de référence consiste notamment à dimensionner ou protéger les structures, systèmes et composants (SSC) nécessaires à l'accomplissement d'une

¹ Arrêté INB du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.

² RIS-RA : système d'injection de sécurité et de refroidissement à l'arrêt.

³ PTR : système de traitement et refroidissement d'eau des piscines.

⁴ ASG : système d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur.

⁵ Le palier de réacteurs EPR2 désigne dans le présent avis le programme de trois paires de réacteurs EPR2 prévues sur les sites de Penly, Gravelines et Bugey.

fonction de sûreté de catégorie 1 ou 2⁶. EDF n'exclut pas que, du fait de l'agression externe, la défaillance de certains systèmes non classés n'indue un DBC. D'après EDF, ces DBC sont d'ores et déjà étudiés au titre des conditions de fonctionnement de référence. Il appartiendra à EDF de s'assurer que la conduite incidentelle/accidentelle de ces DBC, lorsqu'elle sera définie, ne peut être remise en cause par les effets de l'agression.

Agressions externes extrêmes

L'objectif de sûreté associé aux agressions externes extrêmes présenté dans le RPrS de la DAC de Penly est principalement la vérification d'absence de rejets importants ou précoce. Au cours de l'expertise, EDF s'est engagé à modifier, à échéance du dépôt du DMES anticipé, la rédaction de cet objectif en mentionnant que les fonctions de sûreté prévenant la fusion du combustible en piscine et, dans la mesure du possible, celles prévenant la fusion du cœur doivent rester assurées à la suite d'une agression externe extrême. Ceci est conforme aux préconisations du guide de l'ASN n° 22.

La liste des agressions externes extrêmes retenue (séisme, inondation externe et phénomènes associés, canicule, grand froid, neige, tornade, foudre et interférences électromagnétiques externes) est satisfaisante.

Les conséquences des agressions externes extrêmes sont étudiées au travers de l'étude d'un scénario enveloppe examiné au § 5.10.

Défaillance aléatoire

La prise en compte d'une défaillance aléatoire (aggravant) d'un équipement est intégrée dans les études d'agressions internes et externes de référence. Cette défaillance n'est toutefois pas appliquée aux équipements passifs statiques, alors que certains ne bénéficient pas d'un retour d'expérience d'exploitation positif. Sur ce point, EDF s'est engagé pour les agressions de nature à se propager (incendie et inondation internes) à valoriser les enseignements de l'étude des « zones de convergence » pour se prononcer sur l'intérêt d'analyses complémentaires. EDF transmettra ses conclusions à échéance de fin 2028. **La Direction de l'expertise en sûreté estime cet engagement satisfaisant dans le principe, tout en rappelant que de nouvelles « zones de convergence » pourraient être identifiées à un stade ultérieur du projet.**

Cumuls

EDF ne définit pas de démarche pour établir les cumuls à considérer. Pour autant, la conception des réacteurs EPR2 prend en compte des cumuls jugés plausibles par EDF. Ces cumuls sont présentés dans différents chapitres du RPrS, qui présentent toutefois des incohérences. Sur ce point, EDF s'est engagé à mettre en cohérence les différents chapitres du rapport de sûreté à échéance de la demande de mise en service (DMES) prévue en 2033. Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté estime que les cumuls retenus sont globalement satisfaisants.

3. GÉOLOGIE ET GÉOTECHNIQUE

Caractérisation des terrains de fondation

EDF a réalisé des reconnaissances de sol sous les futurs bâtiments des réacteurs EPR2 de Penly. Il conclut à la bonne qualité du rocher et à l'absence de risque d'effondrement lié à une cavité karstique ou à une zone plus fracturée ou altérée en profondeur. La Direction de l'expertise en sûreté partage cette analyse et relève que la capitalisation des nombreuses données de reconnaissance et d'essais acquises sur le site de Penly permet à EDF de présenter des modèles géologique et géotechnique détaillés. **Au vu de ces éléments, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les reconnaissances des terrains menées par EDF sur le site de Penly sont suffisantes à ce stade du projet.**

⁶ Les fonctions de catégorie 1 sont principalement celles nécessaires à l'atteinte de l'état contrôlé d'une condition de fonctionnement de référence DBC2-4. Les fonctions de catégorie 2 sont principalement celles nécessaires à l'atteinte et au maintien de l'état sûr d'une condition de fonctionnement de référence DBC2-4 avant 24 heures.

En l'état actuel d'avancement du projet, les épaisseurs et les caractéristiques des remblais en fondation d'ouvrages ne sont pas définies. La Direction de l'expertise en sûreté considère qu'elles devront être intégrées dans les modèles pour les études de conception détaillées et de réalisation.

EDF a apporté des compléments sur les caractéristiques des terrains de fondation, basés respectivement sur les résultats des reconnaissances du tunnel sous la Manche et sur les forages pétroliers situés à proximité du site de Penly qui seront intégrés au modèle géotechnique de l'EPR2 de Penly, **ce qui est satisfaisant**.

Stabilité de la falaise reprofilée

Le nouveau reprofilage concerne depuis le haut de la falaise, les terrains de couverture, les rochers crayeux du Sénonien et du Turonien jusqu'au niveau de la plateforme située à la cote + 12 m NGF⁷. **Les reconnaissances réalisées pour les études de stabilité de la falaise apparaissent suffisantes.**

L'approche retenue par EDF pour l'étude de la stabilité des talus rocheux est usuelle et n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.

EDF n'a pas identifié de discontinuités géologiques qui pourraient conduire à un risque d'instabilité de la falaise. La démarche de prise en compte du comportement de la falaise est acceptable. Il apparaît toutefois nécessaire qu'EDF mette en place une surveillance. À cet égard, EDF a indiqué qu'il mettrait en place pendant au moins deux ans après la fin de réalisation des talus, un dispositif d'auscultation topographique. Pour ce qui concerne la maîtrise des eaux, EDF a confirmé qu'une cartographie géologique de la falaise sera réalisée au fur et à mesure de l'avancement de son reprofilage, avec la possibilité de densifier localement les dispositifs de drainage. **La Direction de l'expertise en sûreté considère que les éléments présentés sont satisfaisants.**

Tassements associés aux terrassements et aux nouveaux ouvrages

Le déchargeage occasionné par le déroctage⁸ de la falaise initiera un lent phénomène de détente des argiles du Gault (formation située entre - 45 m et - 75 m NGF) se traduisant par un soulèvement de la plateforme existante. Pour les tassements/basculements des fondations des réacteurs EPR2, le suivi altimétrique des ouvrages de chaque réacteur sera réalisé par des mesures directes de l'altimétrie des bâtiments.

4. AGRESSIONS INTERNES

4.1. INCENDIE INTERNE

Le référentiel d'EDF relatif à l'agression incendie d'origine interne pour les réacteurs EPR2 a fait l'objet d'une expertise anticipée. Les compléments apportés par EDF, notamment sur la déclinaison de ce référentiel, ainsi que les dispositions de conception retenues pour la maîtrise des risques d'incendie, sont examinés ci-après. La Direction de l'expertise en sûreté note que la démonstration de la maîtrise des risques d'incendie repose prioritairement sur la sectorisation incendie, complétée par des dispositions de détection et de lutte contre l'incendie.

Pour ce qui concerne les risques d'incendie associés aux charges calorifiques transitoires, les emplacements des zones d'entreposage ou de stockage de ces charges ne sont pas identifiés dans le RPrS des réacteurs EPR2 de Penly. La Direction de l'expertise en sûreté convient des difficultés pour identifier ces zones de manière exhaustive à ce stade du projet, mais souligne l'importance de les identifier au plus tôt. En tout état de cause, EDF devra justifier, à échéance de la DMES, que la maîtrise des risques d'incendie dans ces zones repose prioritairement sur la sectorisation incendie.

Les dispositions de détection et de lutte contre l'incendie sont conçues selon les règles du code RCC-F. Au stade actuel du projet, ces dispositions ne sont pas valorisées dans la démonstration de sûreté et à ce titre ne font pas l'objet d'exigence de sûreté. Pour autant, EDF s'est engagé à retenir des exigences de conception pour les

⁷ Nivellement général de la France normal.

⁸ Action de détacher des gros blocs de pierre de la falaise.

systèmes de détection et de lutte contre l'incendie abrités dans les bâtiments classés de sûreté S1⁹. Ceci est satisfaisant.

S'agissant des risques de mode commun liés à l'incendie, EDF conclut que la sectorisation incendie de l'installation est définie afin de protéger suffisamment de matériels pour ramener ou maintenir l'installation dans un état sûr en situation d'incendie. Cette sectorisation comprend notamment des volumes de feu de sûreté¹⁰ visant à séparer les systèmes fonctionnellement redondants de part et d'autre de parois conçues pour résister aux effets de l'incendie. EDF a également transmis une analyse préliminaire permettant d'identifier les portes dites « sensibles », c'est-à-dire les portes dont l'ouverture est susceptible de conduire à un mode commun en cas de propagation d'un incendie par la rupture de sectorisation ainsi créée. À ce stade, quelques portes sont considérées comme sensibles dans les bâtiments des auxiliaires de sauvegarde ; la justification de l'absence de conséquences sera apportée ultérieurement par EDF. **En tout état de cause, il appartiendra à EDF de limiter autant que possible le nombre de portes dites « sensibles » et pour celles qui subsisteraient de rechercher des dispositions visant à limiter les effets de l'incendie, notamment les modes communs, en cas d'ouverture d'une porte.**

Enfin, le RPrS présente peu d'informations concernant la maîtrise des risques liés à l'incendie dans le bâtiment de traitement des effluents. EDF a indiqué que les analyses correspondantes seront présentées en amont du dépôt du DMES anticipé.

4.2. EXPLOSION INTERNE

Le référentiel relatif à la prise en compte de l'explosion d'origine interne pour les réacteurs EPR2 avait également fait l'objet d'une expertise anticipée. La Direction de l'expertise en sûreté examine ci-après, d'une part les réponses apportées par EDF aux engagements et demandes issues de cette précédente expertise, d'autre part la déclinaison du référentiel « explosion interne » aux réacteurs EPR2 de Penly.

La méthodologie retenue par EDF pour les risques d'explosion d'origine interne s'appuie principalement sur l'analyse des conséquences d'une explosion à l'intérieur des bâtiments et l'identification des locaux « à risque d'atmosphère explosive avérée », c'est-à-dire ceux où une concentration moyenne de gaz explosible dans le local peut dépasser la limite inférieure d'explosivité (LIE) de l'hydrogène. La Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments transmis par EDF pour évaluer ces conséquences doivent être complétés, notamment concernant la caractérisation des risques d'explosion en cas de dilution hétérogène de l'hydrogène ou de propagation des effets à travers des ouvertures dans les parois. EDF s'est engagé à transmettre, en amont du dépôt du DMES anticipé, ces compléments d'études pour ce qui concerne les analyses de risques liés à une explosion dans les locaux dits « à risque d'atmosphère explosive avérée », **ce qui est satisfaisant**.

Dans l'îlot nucléaire, les risques d'explosion sont principalement liés aux systèmes véhiculant des fluides hydrogénés, aux procédés produisant de l'hydrogène (charge des batteries par exemple) et à différents équipements sous pression. Pour ce qui concerne les circuits et systèmes hydrogénés, des règles et des exigences de conception sont retenues par EDF pour limiter le risque d'explosion ou ses effets en cas de fuite, **ce qui est satisfaisant**. EDF a en outre identifié cinq locaux du bâtiment combustible (HKA) qui présentent un risque d'explosion en cas de fuite sur des tuyauteries du système de distribution d'hydrogène pur. Ces locaux sont situés dans la partie opérationnelle de ce bâtiment, qui est séparée par une paroi de la partie abritant des équipements importants pour la sûreté. EDF a justifié la tenue de cette paroi en cas d'explosion mais pas celle de ses traversées. Sur ce point, EDF s'est engagé à transmettre, en amont du dépôt du DMES anticipé, les études démontrant qu'une explosion dans ces cinq locaux n'est pas de nature à affecter les équipements importants pour la sûreté et à justifier la maîtrise du confinement des substances radioactives en cas d'explosion, **ce qui est satisfaisant**.

⁹ Bâtiments classés S1 : bâtiment du réacteur, bâtiments des auxiliaires de sauvegarde, bâtiment combustible, bâtiments diesels, bâtiment de traitement des effluents, bâtiment de la source froide diversifiée, station de pompage de sûreté et certaines galeries.

¹⁰ Volume délimité par des parois ou des frontières tel qu'un incendie survenant à l'intérieur ne puisse s'étendre à l'extérieur ou qu'un incendie survenant à l'extérieur ne puisse se propager à l'intérieur pendant une durée suffisante pour permettre son extinction. Un volume de feu de sûreté est créé pour mettre des trains de sûreté à l'abri d'un mode commun induit par un incendie.

Pour ce qui concerne le risque d'explosion à l'intérieur des systèmes véhiculant des fluides hydrogénés, EDF a justifié l'absence de risque pour les circuits de traitement des effluents primaires et gazeux du fait notamment de dispositifs de surveillance et d'isolement automatique de ces circuits. Pour les autres circuits (système d'échantillonnage nucléaire, réservoir de décharge du pressuriseur, réservoir principal des effluents primaires...), EDF transmettra les analyses correspondantes en amont du dépôt du DMES anticipé, **ce qui est satisfaisant**.

Le bâtiment HLC, où est implantée la salle de commande du réacteur, comprend un local contenant des batteries présentant un risque d'explosion en cas de perte de sa ventilation. EDF précise dans le RPrS que la conception du génie civil doit permettre d'éviter des dommages sur la salle de commande en cas d'une éventuelle explosion dans le local batteries. Toutefois, lors de l'expertise, EDF a indiqué qu'il estime à présent le risque d'explosion peu probable dans ce local. **La Direction de l'expertise en sûreté estime qu'EDF devra justifier que les dispositions retenues permettent d'exclure le risque d'explosion dans ce local batteries du bâtiment HLC.**

Pour l'îlot conventionnel, EDF a pris des dispositions au regard des risques d'explosion dans les locaux batteries et dans les ouvrages de liaison dans lesquels cheminent des circuits hydrogénés. EDF précise en outre l'absence d'équipements importants pour la sûreté dans ces ouvrages de liaison. **Ceci est satisfaisant**.

Pour les explosions pouvant survenir dans le périmètre de l'installation à l'extérieur des bâtiments, EDF retient dans son analyse les bâtiments classés de sûreté S1 et les SSC situés à l'extérieur de ces bâtiments. La démarche de protection d'EDF s'appuie sur le dimensionnement de ces SSC à une explosion de référence et sur leur éloignement par rapport aux sources d'explosion. **Ceci est satisfaisant dans le principe.**

4.3. INONDATION INTERNE ET RUPTURE DE TUYAUTERIE HAUTE ÉNERGIE

Les défaillances d'équipements véhiculant de l'eau peuvent entraîner des inondations. Lorsque l'équipement défaillant est une tuyauterie haute énergie (THE¹¹), des effets de fouettement, de jet ou de dégradations des conditions d'ambiance sont également à considérer. Le RPrS présente les méthodologies d'étude des inondations internes et de rupture de tuyauterie haute énergie (RTHE) qui avaient fait l'objet d'une expertise anticipée. Les réponses d'EDF aux demandes formulées par l'ASN dans ce cadre sont examinées ci-après.

Tout d'abord, des compléments restent à apporter par EDF, au stade des études détaillées, en ce qui concerne certaines hypothèses d'étude, dont la hauteur d'eau qu'EDF évalue uniquement en régime stabilisé. Par ailleurs, EDF a confirmé que les défaillances passives¹² seront considérées comme des initiateurs d'inondation dans le rapport de sûreté à échéance de la DMES, **ce qui est satisfaisant**. En outre, EDF renonce à ce stade à recourir à la méthode dite « des débattements limités » qui vise à étudier les effets de fouettement de certaines THE. En effet, dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe, de nombreuses incertitudes ont été identifiées pour cette méthode. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que, à ce stade du projet, la recherche de dispositions constructives devrait être privilégiée par rapport à l'élaboration de méthodes visant à justifier l'absence de conséquences en cas d'inondation interne ou de RTHE.**

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté a examiné les risques associés aux inondations internes et RTHE dans les bâtiments de l'îlot nucléaire et de l'îlot conventionnel :

- pour le bâtiment du réacteur (HR), EDF a justifié qu'une RTHE sur une tuyauterie du train n° 2 ou 3 du système RIS-RA, qui entraîne un DBC, ne pouvait pas affecter des équipements appartenant à un train redondant de ce système par des effets de fouettement et de jets diphasiques. Ceci est acceptable, bien qu'une conception privilégiant une séparation géographique suffisante des trains n°s 2 et 3 du système RIS-RA ait été préférable. Par ailleurs, EDF a identifié un risque d'agression de SSC en cas de rupture de la ligne d'expansion du pressuriseur (système RCP¹³) qui est en cours de traitement. Plus

¹¹ THE : tuyauteries dont la pression de service ou la température sont supérieures ou égales à 20 bars et 100 °C.

¹² D'après le guide de l'ASN n° 22, la défaillance unique passive est applicable à un équipement qui n'a pas besoin de changer de position pour réaliser sa fonction de sûreté attendue. Une défaillance passive peut être notamment une fuite de l'enveloppe sous pression d'un équipement d'un système de fluide, avec une valeur de taux de fuite conventionnelle jusqu'à son isolement ou une défaillance mécanique empêchant l'écoulement normal d'un fluide.

¹³ RCP : Circuit primaire principal.

généralement, dans la suite du projet, les études détaillées devront vérifier l'absence d'agression de tuyauteries des systèmes APG¹⁴, RIS-RA, RCV¹⁵, RBS¹⁶ et RCP en cas de rupture postulée sur l'une d'entre elles ;

- pour le bâtiment combustible (HKA), une défaillance de tuyauterie sur le train n° 3 du système PTR dans la division n° 2 de ce bâtiment entraînerait une vidange de la piscine d'entreposage du combustible usé, ce qui correspond à un DBC et génère une inondation. Celle-ci conduit à une faible marge à l'immersion des pompes de refroidissement du train n° 2 du système PTR. Sur ce sujet, EDF s'est engagé à étudier, en amont du dépôt du DMES anticipé, la faisabilité de modifications visant à augmenter cette marge. **Cet engagement est satisfaisant dans le principe** ;
- pour les bâtiments des auxiliaires de sauvegarde, EDF a démontré, à ce stade du projet, la protection des barillets ASG contre les effets des RTHE, **ce qui est satisfaisant**.

4.4. COLLISIONS ET CHUTES DE CHARGE

EDF n'exclut à ce stade de son analyse aucun risque de collision des charges manutentionnées avec d'autres SSC, **ce qui est satisfaisant**. À ce titre, une analyse préliminaire des conséquences d'une chute de charge est réalisée pour tous les engins de manutention. En cas de conséquences inacceptables, le niveau d'exigences de conception « haute sécurité » de niveau 1 (HS1) est attribué à l'engin et EDF considère alors que la chute de charge est exclue. Pour les engins ne bénéficiant pas de ce classement, les études d'agressions postulent leur défaillance et en évaluent les conséquences. Pour les ponts HS1, le caractère résiduel du risque de chute de charge sera justifié par une étude de fiabilité (pont polaire dans le bâtiment HR et pont auxiliaire dans le bâtiment HKA). Toutefois, EDF étudiera au titre de la robustesse les conséquences des chutes de charge depuis les engins de manutention HS1 avec des hypothèses réalistes.

Pour le pont polaire, EDF indique que l'objectif des études de robustesse de chute de charge est de vérifier l'absence de rejets radioactifs importants ou précoces. La Direction de l'expertise en sûreté estime que cet objectif n'est pas ambitieux. **Au cours de l'expertise, EDF s'est engagé à considérer un objectif de découplage pour les études des réacteurs EPR2 prévues à échéance de la DMES, similaire à celui du parc en exploitation, à savoir le maintien du refroidissement du cœur et l'absence de rejets radioactifs dans le bâtiment HR, ce qui est satisfaisant.**

Pour le pont auxiliaire du bâtiment HKA, EDF a indiqué qu'un batardeau est installé à l'aide de ce pont entre la piscine d'entreposage et la fosse de chargement pour la maintenance de la pénétration du système de déchargement sous fosse. EDF a prévu d'étudier les dispositions à mettre en place afin d'exclure la chute de ce batardeau sur le combustible entreposé en piscine et d'étudier, au titre de la robustesse, l'impact d'une telle chute sur le génie civil et les SSC survolés, **ce qui est satisfaisant**.

4.5. ÉMISSIONS DE PROJECTILES

EDF limite les études de l'agression « émissions de projectiles » aux risques associés à l'éjection de composants haute énergie (réservoirs et vannes) qui ne satisfont pas aux exigences de qualité de conception et de réalisation Q1 à Q3¹⁷ et à l'éjection de matériels tournants.

Au titre des études de robustesse, l'ASN avait demandé à EDF d'étudier l'émission de projectiles de qualité de conception et de réalisation Q1 à Q3 et, dans le cas où les études seraient limitées à un échantillon représentatif de missiles et de locaux, d'en justifier le caractère suffisant. En réponse à cette demande, EDF a précisé sa démarche de sélection de deux types d'échantillons. Un premier échantillon comporte les équipements du bâtiment HR susceptibles de générer les projectiles les plus pénalisants du point de vue du trinôme masse, vitesse, énergie cinétique. Pour ces projectiles, il étudie la résistance des structures de génie civil à la perforation.

¹⁴ APG : Circuit de purge des générateurs de vapeur.

¹⁵ RCV : Système de contrôle chimique et volumétrique.

¹⁶ RBS : Système de borication de sécurité.

¹⁷ Qi (i=1,3) : niveau de qualité de conception et de réalisation pour les équipements soumis à pression, défini au chapitre 3.2.1 du RPrS.

Un second échantillon, présenté au cours de l'expertise, est obtenu à partir des SSC à protéger au regard de l'enjeu pour la sûreté que représenterait leur défaillance, en identifiant les équipements initiateurs de projectiles qui pourraient les agresser. Les SSC sélectionnés sont les composants non ruptibles et les tuyauteries du circuit primaire principal (CPP) et des circuits secondaires principaux (CSP) relevant de l'exclusion de rupture¹⁸, ainsi que certaines parades nécessaires à la démarche d'élimination pratique¹⁹. La Direction de l'expertise en sûreté estime que les principes de sélection des projectiles représentatifs constituant ces deux échantillons sont globalement satisfaisants.

5. AGRESSIONS EXTERNES

5.1. PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'approche générale d'EDF de prise en compte des évolutions climatiques prévisibles sur la durée d'exploitation, consistant à retenir des marges à la conception qui peuvent être portées soit par les niveaux de conception (cf. § 2), soit par les capacités d'adaptation de l'installation, apparaît satisfaisante. Dans cette perspective, la sélection des scénarios climatiques et des hypothèses de réchauffement constitue une étape importante pour garantir la représentativité et la robustesse des analyses d'aléas. À ce titre, conformément à l'état de l'art, il convient de définir des niveaux d'aléas au regard d'une diversité de scénarios climatiques allant des plus vraisemblables aux plus pessimistes, en complément de la « Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique »²⁰ (+ 4 °C en France en 2100).

EDF prévoit par ailleurs d'appliquer aux réacteurs EPR2 sa démarche de veille climatique mise en œuvre sur le parc en exploitation. Cette démarche consiste à assurer une surveillance continue de l'évolution du climat et à anticiper les évolutions nécessaires, indépendamment du calendrier des réexamens périodiques, au travers d'une veille scientifique, de la réévaluation tous les cinq ans des aléas de référence dont l'évolution est avérée et de la surveillance des événements climatiques majeurs. De manière générale, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les niveaux de référence réévalués dans le cadre de la veille climatique, à l'échéance d'un réexamen, doivent chercher à mieux couvrir la variabilité des projections climatiques. Cette variabilité provient à la fois des scénarios pris en compte et des différents modèles climatiques. **En tout état de cause, il appartiendra à EDF d'être en capacité d'identifier les évolutions de tendance qui pourraient conduire à des niveaux d'aléas climatiques supérieurs à ceux retenus lors de la conception des réacteurs EPR2 afin d'anticiper autant que possible la définition des modifications qui seraient nécessaires.**

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté considère nécessaire une surveillance instrumentale adaptée, sur le site de Penly et à proximité. À ce sujet, **il appartiendra en particulier à EDF de compléter son suivi des phénomènes venteux par le recensement et l'exploitation des vitesses de vent instantanées, afin de couvrir les phénomènes convectifs de courte durée survenus dans la région.**

Enfin, pour ce qui concerne les agressions spécifiques à la source froide principale de sûreté des réacteurs EPR2 de Penly, EDF prévoit de mener un suivi régulier du risque de frasil et ne tient pas compte d'une augmentation du niveau de la mer pour définir le niveau des plus basses eaux de sécurité (PBES), **ce qui est satisfaisant.**

¹⁸ La démarche d'exclusion de rupture appliquée aux tuyauteries consiste, dans son principe, à ne pas étudier dans la démonstration de sûreté les conséquences de la rupture d'une tuyauterie parce que cette rupture est rendue extrêmement improbable avec un haut degré de confiance. Elle s'appuie sur des dispositions particulièrement exigeantes en matière de conception, de fabrication, de surveillance en exploitation et d'inspection en service. Pour les réacteurs EPR2, l'exclusion de rupture concerne les tuyauteries principales du CPP et les tuyauteries de vapeur principales des CSP.

¹⁹ La démarche d'élimination pratique consiste à rendre les situations susceptibles d'entraîner des rejets importants ou précoce physiquement impossibles ou extrêmement improbables avec un haut degré de confiance.

²⁰ <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/trajectoire-rechauffement-reference-ladaptation-changement-climatique-tracc>.

5.2. SÉISME

Aléa sismique

La RFS 2001-01 précise les différentes étapes de la démarche à suivre pour élaborer les séismes majorés de sécurité (SMS). Un zonage sismotectonique²¹ est défini pour identifier et sélectionner les séismes de référence à partir de la base de données de sismicité historique de la France hexagonale. Les séismes de référence retenus dans chaque zone sont ensuite traduits au plus près du site. Le séisme de référence ayant l'impact le plus fort au site est alors retenu comme étant le séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV). Dans certaines configurations, plusieurs séismes peuvent être retenus. L'intensité macrosismique et la magnitude de ce séisme sont ensuite majorées pour définir le SMS. Les spectres de réponse (SMHV et SMS) de ces séismes sont calculés avec la loi de prédition du mouvement sismique définie par la RFS 2001-01. Dans le cas où une faille active aurait produit une rupture de surface (faille capable), un spectre de paléoséisme est défini pour compléter le spectre SMS. Dans la démarche RFS 2001-01, le paléoséisme reflète le potentiel sismogène de la faille pour une période de retour de quelques dizaines de milliers d'années. Enfin, la RFS 2001-01 préconise que le spectre retenu pour définir le SMS ne soit pas inférieur à un spectre minimal forfaitaire (SMF) calé en accélération à 0,1 g à la fréquence infinie.

Caractérisation des failles

Pour les installations existantes, EDF avait présenté un bilan des connaissances relatives à la connaissance des failles dans un rayon de 25 km autour des réacteurs électronucléaires et proposé une méthodologie graduée d'investigations qui a conduit à identifier six sites pilotes, parmi lesquels le site de Penly ne figure pas.

L'occurrence du séisme du Teil en 2019 a conduit EDF à réviser sa méthodologie. Il est ainsi apparu d'une part que l'étude des failles fondée uniquement sur des données issues de la bibliographie est insuffisante, d'autre part que des investigations géologiques et morphotectoniques²² systématiques sont nécessaires et ce indépendamment de la réputation d'activité des failles présentes dans un rayon de 25 km autour des sites nucléaires. Cela est cohérent avec les recommandations des guides internationaux en matière d'investigation des failles.

Le RPrS des réacteurs EPR2 de Penly ne comporte pas de paragraphe dédié à la caractérisation de failles. EDF s'est engagé à compléter le rapport de sûreté des réacteurs EPR2 de Penly, à échéance du dépôt du DMES anticipé, par une analyse de la connaissance des failles autour du site au regard des enjeux de sûreté associés. **Ce point est satisfaisant dans le principe.**

Définition des niveaux du séisme de référence

EDF considère deux séismes de référence pour le site de Penly : le séisme de Wavignies (1756) et celui de Veules-les-Roses (1769). La distance au site des SMS est établie à partir du zonage sismotectonique établi par EDF et les caractéristiques magnitude et profondeur des deux séismes sont issues du catalogue de sismicité historique MsCat d'EDF. **À l'issue des échanges techniques, EDF s'est engagé à retenir le SMS de Penly validé dans le cadre du troisième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe (RP3 1300) pour le RPrS de la DAC des réacteurs EPR2 de Penly, ce qui est satisfaisant.**

Définition du niveau du séisme extrême

Le RPrS des réacteurs EPR2 de Penly présente le spectre associé au séisme extrême, défini comme 1,5 fois le SMS retenu en RP3 1300. **Ceci n'appelle pas de commentaire.**

Effets induits du séisme

Dans le cadre de sa démarche d'étude des « effets induits du séisme », EDF considère les risques d'agression d'équipements classés sismiques du fait de la défaillance d'équipements non classés (par exemple une chute ou

²¹ Un zonage sismotectonique délimite des volumes de la croûte terrestre dans lesquels le potentiel sismogénique est considéré homogène. Une zone sismotectonique peut être constituée par une zone géographique, une faille ou une famille de failles.

²² Investigation des déformations d'origine tectonique sur la base de la topographie (morphologie).

un basculement d'équipements, une RTHE post-sismique), et de la perte d'intégrité d'équipements véhiculant un fluide (pouvant générer une inondation, une aggravation des conséquences en termes de température et d'humidité...). Cette démarche a fait l'objet d'une expertise anticipée, l'IRSN considérant que le fait de retenir comme effet induit du séisme l'émission de certains projectiles était une avancée. Toutefois, EDF ne prévoit pas de réaliser une étude des risques associés à la rupture de tuyauteries non classées au séisme dans l'ensemble des locaux. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, si la défaillance d'équipements non classés au séisme est susceptible de générer un volume d'eau important dans un local, EDF devra s'assurer que les conséquences de l'inondation induite sont couvertes par les études d'inondation interne réalisées.

5.3. INONDATION EXTERNE

Les études des situations d'inondation externe de référence (SRI) pour les réacteurs EPR2 s'appuient sur le guide de l'ASN n° 13 relatif à la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes. Pour les situations d'inondation externe extrême, EDF se base sur la démarche post-Fukushima du parc en exploitation.

Niveau marin, vagues et intumescence

Conformément au guide de l'ASN n° 13, EDF définit l'aléa de référence pour la SRI niveau marin (SRI NMA) comme la somme du niveau maximal de la marée théorique (PHMA), de la surcote millénale prise à la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 % et de l'évolution du niveau marin moyen jusqu'au prochain réexamen périodique. Pour les réacteurs EPR2 de Penly, en tenant compte d'une hausse de la PHMA de 20 cm par rapport aux éléments présentés dans le RPrS à la suite d'une réévaluation des références altimétriques maritimes, le niveau associé à la SRI NMA est égal à 8,52 m NGF N. Par ailleurs, EDF a présenté un niveau marin visant à couvrir l'horizon 2100 égal à 9,32 m NGF N. Il conviendra qu'EDF actualise, à échéance de la DMES des réacteurs EPR2 de Penly, la SRI NMA en cas d'évolution des références altimétriques maritimes.

EDF évalue à l'horizon 2100 l'élévation du niveau marin moyen à un mètre, ce qui couvre un certain nombre de scénarios à plus ou moins fortes émissions de gaz à effet de serre. En outre, pour les SSC situés sur la plateforme des réacteurs EPR2 de Penly, la marge de conception associée à l'altimétrie de cette plateforme (12 m NGF N) couvre la majorité des projections de l'élévation du niveau moyen de la mer à Dieppe pour l'horizon 2100, incluant les scénarios à fortes émissions de gaz à effet de serre et avec instabilité des calottes polaires. Pour les équipements situés au niveau de la station de pompage (9,5 m NGF N), des adaptations sont possibles, permettant de pallier une élévation supérieure à la majoration d'un mètre considérée par EDF.

Par ailleurs, EDF s'est engagé à réévaluer les niveaux d'aléas associés à la caractérisation des vagues et de l'intumescence²³, en tenant compte du niveau marin projeté à l'horizon 2100, **ce qui est satisfaisant**.

Remontée de la nappe phréatique

Pour l'îlot conventionnel, EDF retient un niveau de nappe de 8,21 m NGF N déterminé à partir des fluctuations de la marée et a indiqué qu'il actualisera ce niveau en tenant compte d'un niveau marin projeté à l'horizon 2100. Pour l'îlot nucléaire, EDF retient de manière conservatrice un niveau de nappe atteignant la cote de la plateforme, soit 12 m NGF N. Ces éléments sont satisfaisants. Ces deux niveaux de nappe sont utilisés pour vérifier l'étanchéité de la protection volumétrique ainsi que la flottabilité²⁴ et la tenue structurelle des bâtiments. Ces vérifications seront réalisées au stade de la DMES des réacteurs EPR2 de Penly.

Pluies locales

Pour déterminer les lames d'eau associées aux pluies de référence, EDF prévoit d'étudier deux scénarios : un scénario de pluies centennales de différentes durées et un scénario de pluie centennale d'une heure conjuguée à l'obstruction du réseau d'eaux pluviales.

²³ Les conditions de vagues au droit d'un site maritime combine les vagues océaniques (houle), qui ont été engendrées par le vent à une grande distance du site et les vagues levées par le vent local (clapot). L'intumescence est une onde résultant d'une variation rapide du débit dans un ouvrage hydraulique à ciel ouvert.

²⁴ Vérification que le bâtiment ne se déplace pas sous l'effet de la pression ascendante engendrée par la nappe.

Les études finales ne sont pas disponibles à ce stade du projet. EDF indique cependant que la conception des installations garantira que la lame d'eau maximale pouvant être atteinte sur la plateforme des réacteurs EPR2 de Penly ne dépasse pas le critère de 25 cm fixé par EDF. De plus, EDF s'est engagé à vérifier, à échéance de la DMES, la suffisance des protections contre les pluies, incluant le dimensionnement des réseaux d'évacuation et l'aménagement du site, de manière à éviter les entrées d'eau dans les bâtiments à protéger, **ce qui est satisfaisant**.

Dans le cadre de la DMES, EDF devra présenter les caractéristiques des pluies extrêmes retenues, ainsi que des lames d'eau associées pour couvrir le risque d'inondation par déversement direct sur la plateforme.

Dispositions de protection

Pour les situations d'inondation par déversement direct sur la plateforme du site de Penly, à la suite de la rupture d'ouvrages induite par un SMS ou un séisme extrême, EDF a estimé le niveau d'eau maximal pouvant être atteint. À ce stade, au vu de l'écart entre les niveaux d'eau maximaux estimés par EDF sur la plateforme du site et le niveau des seuils de protection des bâtiments, **la Direction de l'expertise en sûreté n'a pas de remarque**.

Les dispositions de protection retenues à l'égard des situations d'inondation externe de référence et extrême pour faire face aux débordements de la source froide, aux déversements directs sur la plateforme, à la remontée de la nappe phréatique et aux franchissements n'appellent pas de remarque à ce stade. Par ailleurs, EDF s'est engagé à vérifier, à échéance du dépôt du DMES anticipé, la disponibilité de la station de pompage de sûreté à la suite de la réévaluation des aléas vagues et intumescence en tenant compte du niveau marin projeté à l'horizon 2100, **ce qui est satisfaisant**.

5.4. CANICULE

Caractérisation de l'aléa et des températures retenues pour la conception

EDF présente trois températures de l'air extérieur pour caractériser la canicule (température maximale sur 7 jours T_{MAX7j} , température maximale instantanée $T_{MAXinst}$ et température minimale instantanée T_{MINcan}), ainsi qu'une température journalière $T_{MAXjour}$ pour la température de l'eau. Les températures de référence sont définies comme la borne supérieure à 70 % de l'intervalle de confiance de la température centennale, en tenant compte des effets du changement climatique et majorée de 2 °C pour atteindre la cible probabiliste de $10^{-4}/\text{an}$. Par ailleurs, pour les températures extrêmes, EDF applique une majoration forfaitaire de 2 °C aux températures de référence.

De façon générale, l'établissement des valeurs centennales est acceptable. Toutefois, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la majoration de 2 °C pour atteindre la cible probabiliste de $10^{-4}/\text{an}$ pourrait ne pas être suffisante, notamment en fin de siècle. Le groupe de travail (GT) « températures » en cours vise notamment à proposer une méthode pour atteindre la cible probabiliste de $10^{-4}/\text{an}$.

Les températures d'air sec et d'eau retenues pour les niveaux d'agression de référence et extrême ont été définies par EDF sur la base du 5^{ème} rapport du GIEC (exercice CMIP5). Par ailleurs, EDF a engagé une analyse de l'impact du 6^{ème} rapport du GIEC (exercice CMIP6) qui a conduit à faire évoluer certaines températures et à définir un « *niveau de conception spécifique* » (cf. § 2). EDF s'est par ailleurs engagé à réévaluer les « *niveaux de sûreté* » à échéance de la DMES pour les aléas sensibles au changement climatique, incluant les températures T_{MAX7j} , $T_{MAXinst}$, T_{MINcan} , et $T_{MAXjour}$.

Pour ce qui concerne les températures T_{MAX7j} qui sont retenues pour la conception du génie civil, la Direction de l'expertise en sûreté considère que cette conception devra être prudente et intégrer des marges au regard des évolutions de ces T_{MAX7j} qui pourraient résulter des réévaluations de l'aléa dans le cadre des réexamens périodiques.

La valeur $T_{MAXinst}$ de 48 °C projetée à l'horizon 2070 ou 2100 suivant les scénarios considérés, retenue pour le « *niveau de conception spécifique* », apparaît acceptable au vu des incertitudes sur l'évolution du climat, du processus de réévaluation prévu par EDF et des capacités d'adaptation de l'installation. Néanmoins, les éléments transmis par EDF montrent que cette valeur est dépassée à l'horizon 2070 par la moitié des modèles retenus pour

le scénario jugé pénalisant par EDF²⁵. Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la valeur de $T_{MAXinst}$ de 53 °C retenue pour le « *niveau de conception générique découplé* » est acceptable pour le site de Penly.

Par ailleurs, EDF s'est engagé à mener un programme de travail afin de mieux caractériser l'impact du changement climatique sur les valeurs extrêmes de température humide et d'enthalpie à un horizon fin de siècle, et à présenter l'avancement de ses études avant fin 2027, **ce qui est satisfaisant**. De manière générale, il appartiendra à EDF d'intégrer la surveillance de l'humidité de l'air dans sa veille climatique.

En conclusion, au vu des capacités d'adaptation des installations (en termes de conception initiale et de modifications possibles), la démarche retenue par EDF pour justifier la robustesse des réacteurs EPR2 de Penly aux effets du changement climatique, via la réévaluation des températures de référence à l'occasion des réexamens périodiques, est acceptable.

Démarche de protection pour la canicule de référence

La méthodologie de prise en compte de la canicule de référence est présentée dans le RPrS. La démonstration du caractère suffisant des dispositions de protection et de la disponibilité des SSC à protéger est apportée au travers d'études thermiques. Dans le cadre de la DAC, EDF a transmis les études du bâtiment combustible (HKA) et des bâtiments des auxiliaires de sauvegarde n°s 1 et 3 (HLA et HLC) avec la prise en compte de l'exercice CMIP5. EDF transmettra l'ensemble des études thermiques avec la prise en compte de l'exercice CMIP6 en amont du dépôt du DMES anticipé, **ce qui est satisfaisant**.

Pour chaque SSC, EDF définit une température maximale de disponibilité T_{maxd} qui correspond à la température maximale acceptable par le matériel en régime permanent. Pour les SSC nécessaires après une période de canicule mais qui ne sont pas sollicités durant l'agression, il définit une température maximale de non-détérioration T_{maxhd} . La liste des SSC nécessaires pendant et après une canicule n'est pas définie à ce stade. **Il appartiendra à EDF de la fournir en précisant les T_{maxd} et T_{maxhd} associées aux SSC en amont du dépôt du DMES anticipé.**

Les calculs thermiques sont réalisés à l'aide de l'outil ThBat²⁶. Au cours de l'expertise, des hypothèses de calcul (température aux parois, regroupement de locaux...) ont fait l'objet de réserves de la part de la Direction de l'expertise en sûreté pour lesquelles EDF a pris des engagements satisfaisants.

Par ailleurs, EDF considère que la disponibilité des équipements présents dans un local est assurée en situation de canicule si la température calculée dans le local est inférieure d'au moins 2 °C à la T_{maxd} la plus faible des SSC présents dans ce local. Cette marge est retenue pour couvrir les incertitudes de calcul, ainsi que les hétérogénéités de température pouvant régner dans le local. **Il appartiendra à EDF de démontrer la suffisance de cette marge, en particulier pour les locaux de grand volume et à fort apport thermique.**

Dans les études thermiques associées à la canicule de référence, EDF retient un unique scénario de découplage correspondant à un scénario de fonctionnement normal avec des conditions extérieures de température de référence²⁷, un manque de tension externe (MDTE) de six heures et des apports thermiques maximisés (les équipements sont considérés en service, qu'ils soient secourus ou non en cas de MDTE). Ce scénario vise à couvrir l'ensemble des situations à considérer au titre de la démonstration de sûreté²⁸. Si les températures maximales admissibles par les SSC ne sont pas respectées avec cette approche, EDF réalisera des calculs spécifiques. Par ailleurs, EDF s'est engagé à justifier, pour chacune des études thermiques (canicule et grand froid) qui seront transmises en amont du dépôt du DMES anticipé, le caractère enveloppe du scénario de découplage. Pour les études thermiques qui n'utiliseraient pas le scénario de découplage, les hypothèses et règles

²⁵ Scénario « SSP3-7.0 » défini par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

²⁶ ThBat est un outil de calcul scientifique développé par EDF permettant de réaliser des calculs thermiques. Il est utilisé en particulier pour déterminer la température de l'air dans les locaux des centrales nucléaires.

²⁷ Cette température est définie comme la borne supérieure à 70 % de l'intervalle de confiance de la température centennale, en tenant compte des effets du changement climatique et majorée de 2 °C pour atteindre cible probabiliste de 10⁻⁴/an.

²⁸ Les études relevant de la démonstration de sûreté correspondent à l'étude des conditions de fonctionnement de référence DBC3/4 et de défaillances multiples (DEC-A) avec des températures extérieures centennales, ainsi que des conditions de fonctionnement de référence DBC2 avec des températures extérieures de l'agression canicule de référence.

d'étude appliquées seront précisées. **La Direction de l'expertise en sûreté considère cet engagement satisfaisant.**

Démarche de protection pour la canicule extrême

Pour la canicule extrême, la méthodologie et les règles d'étude retenues ne sont pas définies à ce stade, à l'exception de quelques éléments succincts présentés dans le RPrS. EDF présentera ces éléments dans les études thermiques qui seront transmises en amont du dépôt du DMES anticipé.

5.5. GRAND FROID

L'agression « grand froid » est prise en compte dans la démonstration de sûreté au titre des agressions externes de référence et extrême. La méthodologie utilisée est présentée dans le RPrS et EDF s'est engagé à transmettre les études thermiques en déclinaison de cette méthodologie en amont du dépôt du DMES anticipé.

Pour l'aléa grand froid de référence, les températures sont définies sur la base de l'estimation de températures centennales et de l'application d'une minoration forfaitaire de 2 °C pour viser la cible probabiliste de 10⁻⁴/an. Pour l'aléa grand froid extrême, EDF applique une minoration forfaitaire complémentaire de 2 °C au niveau de référence. La démarche présentée par EDF est globalement acceptable. **Il appartiendra à EDF de justifier la minoration de 2 °C pour passer d'un niveau centennal au niveau de référence.**

Grand froid de référence

Pour les études thermiques, EDF définit un unique scénario de découplage qui correspond à un scénario de fonctionnement normal avec des conditions extérieures de température de référence²⁹, un MDTE de six heures et aucun apport thermique. Pour EDF, ce scénario couvre les scénarios à étudier au titre de la démonstration de sûreté³⁰. EDF s'est engagé à justifier le caractère enveloppe de ce scénario, **ce qui est satisfaisant**.

La définition des SSC à protéger, la définition des températures admissibles des matériels (températures de disponibilité et de non-détérioration) et les hypothèses d'étude retenues par EDF à ce stade pour les études thermiques grand froid n'appellent pas de remarque dans le principe. Des éléments (liste des SSC à protéger, températures admissibles...) devront être précisés dans le cadre des études thermiques attendues.

La démarche de protection mise en œuvre à l'égard de l'agression grand froid est satisfaisante dans le principe. L'application d'une marge forfaitaire de 2 °C entre la température minimale du local à maintenir et la température calculée dans les locaux constitue une amélioration de sûreté.

Grand froid extrême

Pour le site de Penly, EDF réalisera l'ensemble des études avec le « *niveau de conception générique découplé* » de l'agression grand froid de référence qui couvre le niveau de l'agression grand froid extrême de ce site. La démonstration de sûreté au regard de l'agression grand froid extrême sera donc apportée par celle de l'agression grand froid de référence.

5.6. NEIGE

Le dimensionnement des structures de génie civil des réacteurs EPR2 repose, selon les bâtiments, soit sur le « *niveau de conception générique découplé* » de référence (1,8 kN/m² au sol), soit sur le « *niveau de conception spécifique* » de référence pour le site de Penly (0,9 kN/m² au sol).

La Direction de l'expertise en sûreté rappelle que le GT « vent et neige », composé des exploitants nucléaires ainsi que d'experts, a permis d'établir un état des connaissances, notamment sur les méthodes de caractérisation des aléas liés au vent et à la neige. À cet égard, la Direction de l'expertise en sûreté relève que la démarche d'EDF pour majorer les charges de l'Eurocode rejoint les préconisations du GT « vent et neige » mais en retenant,

²⁹ Cette température est définie comme la borne supérieure à 70 % de l'intervalle de confiance de la température centennale, en tenant compte des effets du changement climatique et minorée de 2 °C pour atteindre une cible probabiliste de 10⁻⁴/an.

³⁰ Les études relevant de la démonstration de sûreté correspondent à l'étude des situations DBC3/4 ou DEC-A avec des températures extérieures centennales, et DBC2 avec des températures extérieures de l'agression grand froid de référence.

pour la définition du « *niveau de sûreté* » de référence de Penly, la valeur basse de la gamme de majoration discutée dans le GT. Le « *niveau de conception générique découplé* » de référence permet quant à lui de couvrir la gamme discutée. **Au vu de ces éléments et des discussions en cours, les valeurs retenues par EDF sont acceptables à ce stade.**

Pour définir les niveaux de neige extrême, EDF retient des majorations différentes sur les deux niveaux de référence, avec une majoration plus faible pour le « *niveau de sûreté* » de Penly que pour le « *niveau de conception générique découplé* ». **Cette démarche est acceptable sur le principe.**

5.7. TORNADE ET PROJECTILES ASSOCIÉS

La protection des réacteurs aux agressions « tornade de référence » et « tornade extrême » est définie à l'égard de leurs effets directs (effets de pression) et indirects (émissions de projectiles).

Pour la tornade extrême, EDF prend également en compte les effets induits par des SSC non conçus pour résister à la tornade et qui pourraient agresser des SSC à protéger. Les niveaux retenus pour la tornade de référence et la tornade extrême pour les réacteurs EPR2 de Penly, ainsi que les types de projectiles retenus et les SSC à protéger n'appellent pas de remarque à ce stade. En revanche, EDF retient dans le RPrS de Penly une démarche de « vérification³¹ » pour les SSC à protéger de la tornade extrême ce qui, pour la Direction de l'expertise en sûreté, n'est pas acceptable pour la conception d'un nouveau réacteur. Sur ce point, EDF s'est engagé à retirer du rapport de sûreté transmis en support du DMES anticipé la notion de « vérification » aux agressions externes extrêmes et à préciser que les SSC ayant une exigence de tenue à ces agressions doivent être conçus pour assurer leur fonction de sûreté dans ces situations, **ce qui est satisfaisant**. Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la méthodologie d'étude pour la protection des SSC nécessite d'être consolidée (nombre et localisation des projectiles, effets des chocs répétés...), avant la réalisation des études détaillées de l'agression tornade pour les réacteurs EPR2.

5.8. GRAND VENT ET PROJECTILES GÉNÉRÉS PAR LE GRAND VENT (PGGV)

Les agressions « grand vent » et « PGGV » peuvent endommager les bâtiments et les équipements qu'ils abritent, ainsi que les équipements situés à l'extérieur des bâtiments. Ces dommages peuvent être consécutifs à des effets directs (effets de pression) et indirects (émissions de projectiles).

Le dimensionnement des structures de génie civil des réacteurs EPR2 de Penly repose, selon les bâtiments, soit sur le « *niveau de conception générique découplé* » de référence, soit sur le « *niveau de sûreté* » de référence. La Direction de l'expertise en sûreté note qu'EDF a retenu un facteur de majoration visant à atteindre la cible probabiliste de $10^{-4}/\text{an}$ inférieur à la gamme de majoration discutée dans le GT « vent et neige ». **Ainsi, la Direction de l'expertise en sûreté considère que la démarche de conception de l'installation doit être prudente compte tenu des travaux en cours et de la sensibilité de certains SSC (par exemple les structures métalliques de la station de pompage de sûreté).**

La vitesse de vent forfaitaire utilisée dans l'étude d'impact des projectiles est majorante par rapport à la vitesse de vent moyen de référence retenue par EDF. Les types de projectiles et leurs caractéristiques, ainsi que les SSC à protéger et les principes de leur protection n'appellent pas de remarque à ce stade.

EDF ne retient pas le grand vent extrême au titre des agressions extrêmes, car les conséquences de ce vent sont couvertes à la conception par celles de la tornade extrême, à la fois pour les effets directs et indirects du grand vent, ce qui n'appelle pas de remarque à ce stade.

5.9. RISQUES LIÉS À L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET AUX VOIES DE COMMUNICATION

L'agression « risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication » est prise en compte dans la démonstration de sûreté selon une approche déterministe qui est couplée, lorsqu'elle ne permet pas de conclure

³¹ Dans le cadre d'une démarche de vérification, les marges retenues à la conception pour les agressions de référence peuvent être valorisées à l'égard des agressions extrêmes.

à l'absence de risque, à une approche probabiliste conformément à la RFS I.2.d. Cette démarche a fait l'objet récemment de demandes de l'ASNR pour les réacteurs du parc en exploitation qui devront être prises en compte par EDF en amont du dépôt du DMES anticipé des réacteurs EPR2 de Penly.

Le principal risque associé à l'environnement industriel et aux voies de communication est lié au transport de matières inflammables ou explosives sur les voies maritimes au large du site de Penly. Les phénomènes dangereux correspondants sont principalement des feux de liquides inflammables, dits feux de nappe, s'étalant à la surface de l'eau et des explosions de type UVCE³².

EDF estime que les feux de nappe, à la suite d'un accident maritime, ne conduisent pas à des effets thermiques susceptibles d'affecter les SSC des réacteurs EPR2 de Penly, ce qui n'appelle pas de remarque.

Pour ce qui concerne les risques d'explosion, l'analyse d'EDF repose sur de nombreuses hypothèses de modélisation. En particulier, pour les scénarios d'UVCE impliquant des vapeurs d'essence, EDF assimile l'essence à de l'octane. La Direction de l'expertise en sûreté estime que ce produit n'est pas suffisamment représentatif et que la prise en compte de la composition chimique de l'essence pourrait conduire pour certains scénarios d'explosion à des effets susceptibles d'atteindre les SSC des réacteurs EPR2 de Penly.

À l'issue de son évaluation probabiliste, EDF estime que la probabilité de rejet radioactif à la suite d'un accident de transport de matière dangereuse par voie maritime au large des réacteurs EPR2 de Penly est acceptable. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les valeurs de probabilité d'inflammation retenues par EDF étant potentiellement sous-estimées, EDF doit démontrer le respect des objectifs fixés par la RFS I.2.d. Sur ce point, EDF s'est engagé à justifier, en amont du dépôt du DMES anticipé, la robustesse des évaluations probabilistes réalisées. En particulier, EDF retiendra la composition de l'essence dans ses études. **Ces engagements sont satisfaisants.**

5.10. SCÉNARIO CONVENTIONNEL DES AGRESSIONS EXTERNES EXTRÊMES

Afin de protéger l'EPR2 contre toutes les agressions externes extrêmes, EDF définit un « scénario conventionnel » pouvant traduire les conséquences de ces agressions. Ce scénario correspond à une perte de la source froide principale de sûreté cumulée à un MDTE et à la perte des groupes électrogènes de secours principaux.

Lors d'un tel scénario, le groupe électrogène diversifié dédié à la gestion des transitoires DEC-A démarre automatiquement et réalimente les équipements de la division électrique n° 3 jugés nécessaires à la maîtrise de la situation, notamment la chaîne de refroidissement diversifiée. La gestion de ce transitoire permet d'atteindre en particulier un état où le refroidissement du réacteur est assuré par le système RIS-RA, **ce qui est satisfaisant**.

En revanche, l'expertise de l'étude associée à ce scénario a mis en exergue que la conduite envisagée génère une dissymétrie thermohydraulique importante entre les boucles. En effet, une seule pompe ASG étant disponible, deux des quatre boucles du circuit primaire ne sont plus refroidies par leur générateur de vapeur et ces derniers sont asséchés. Cette situation présente plusieurs risques et inconvénients, notamment un risque de choc froid dans les générateurs de vapeur asséchés en cas de redémarrage de l'ASG. **La Direction de l'expertise en sûreté considère que ces risques devront faire l'objet d'un examen particulier en amont de la DMES.**

Par ailleurs, l'étude présentée dans le RPrS, qui considère la chute de la totalité des grappes de commande, n'apporte pas la démonstration de la maîtrise de la réactivité. À ce sujet, EDF a apporté des éléments satisfaisants au cours de l'expertise et s'est engagé à les intégrer dans le rapport de sûreté transmis en support du DMES anticipé, **ce qui est satisfaisant**. Enfin, compte tenu de réserves sur la capacité de la totalité des grappes à chuter en cas de séisme extrême, EDF s'est engagé à fournir, à échéance du dépôt du DMES anticipé et au titre de la robustesse, une étude du scénario conventionnel en considérant le blocage de la grappe la plus antiréactive hors du cœur et l'insertion partielle de deux grappes adjacentes, **ce qui est satisfaisant**.

³² Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE) : explosion d'un nuage de gaz ou de vapeurs non confiné.

6. CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES LIÉES AUX AGRESSIONS

La démarche mise en œuvre par EDF pour évaluer les rejets radioactifs dans l'environnement associés aux conséquences des agressions consiste à identifier des scénarios d'agression dits « enveloppes » en termes de rejets, puis, pour chacun de ces scénarios, à identifier la ou les conditions de fonctionnement (DBC, DEC-A) les couvrant, en termes de conséquences radiologiques. EDF s'assure par ailleurs, pour les agressions internes, que la fréquence d'occurrence du scénario d'agression considéré est plus faible ou du même ordre de grandeur que celle du scénario de référence de l'étude DBC ou DEC-A réalisée. Si le scénario enveloppe d'agression n'est pas couvert par une étude préexistante, une évaluation des conséquences radiologiques est effectuée.

La Direction de l'expertise en sûreté considère cette démarche, similaire à celle employée pour l'EPR FA3, satisfaisante. La vérification des fréquences d'occurrence des agressions internes, qui est une composante importante de la démarche, est attendue à échéance de la DMES.

La Direction de l'expertise en sûreté estime les hypothèses considérées par EDF pour les évaluations des rejets acceptables au stade de la DAC. Certaines d'entre elles devront être confortées une fois la conception finalisée.

Pour tous les scénarios enveloppes identifiés à ce stade par EDF, les évaluations des conséquences radiologiques des agressions internes et externes de référence ont des conséquences radiologiques mineures sur les populations, ce qui répond aux objectifs de sûreté qu'EDF s'est fixés. Néanmoins, de nombreuses études de conséquences radiologiques restent à réaliser à échéance de la DMES.

7. EPS AGRESSIONS

Au stade de la DAC des réacteurs EPR2 de Penly, EDF a réalisé des EPS de niveaux 1 et 2 pour les événements internes, ainsi qu'une EPS1 séisme simplifiée de type « Seismic Margin Assessment (SMA) ». Les autres EPS « agressions » envisagées par EDF, à savoir les EPS1 « agressions internes » (incendie, explosion, inondation) et « agressions externes » (canicule, grand vent, inondation externe à la suite d'une défaillance intrinsèque du circuit de circulation de l'eau brute, franchissements de bord de mer (combinaison surcote/houle/vent)), seront disponibles à échéance de la DMES. Pour ce périmètre, il appartiendra à EDF, sur la base de la conception finalisée des réacteurs EPR2 de Penly, d'une part de conforter sa position quant à la non prise en compte des précipitations dans l'EPS « franchissements bord de mer », d'autre part de confirmer le caractère résiduel du risque de rejets importants ou précoces pour les agressions étudiées voire d'étendre ces EPS « agressions » au niveau 2.

EDF a réalisé une EPS1 « séisme » simplifiée de type SMA pour évaluer le risque de fusion du cœur en retenant deux événements initiateurs sismo-induits (MDTE ou petite brèche sur le circuit primaire). La Direction de l'expertise en sûreté considère que cette étude apporte un premier éclairage probabiliste au regard du risque sismique qui devra être confortée à échéance de la DMES.

Les EPS « agressions externes » prévues pour les réacteurs EPR2 de Penly ont été définies par EDF à l'aide d'une démarche de sélection des agressions simples ou de leur combinaison, que la Direction de l'expertise en sûreté estime satisfaisante dans son principe. La liste des combinaisons d'agressions candidates à des analyses probabilistes devra être confortée, à échéance de la DMES, lorsque le dimensionnement des SSC aux agressions externes sera finalisé.

8. CONCLUSION

La Direction de l'expertise en sûreté souligne que les réacteurs EPR2 de Penly seront les premiers à bénéficier, dès le stade de la conception, d'une protection à des niveaux d'agressions externes dont la cible probabiliste est de $10^{-4}/\text{an}$. En outre, ces réacteurs disposeront chacun d'une source froide diversifiée et d'une alimentation électrique robustes à des agressions externes extrêmes. Ceci constitue une amélioration notable pour la sûreté.

La Direction de l'expertise en sûreté souligne l'ampleur des études restant à mener d'ici la demande de mise en service de ces réacteurs. Néanmoins, les éléments présentés dans la version préliminaire du rapport de sûreté des réacteurs EPR2 de Penly et dans les notes supports permettent de conclure, compte tenu des engagements pris par EDF, que, à ce stade de l'examen du dossier, les dispositions retenues à la conception de ces réacteurs

pour faire face aux effets des agressions internes et externes apparaissent appropriées au regard des objectifs de sûreté assignés à ces réacteurs.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté