

Monsieur le Directeur de la Direction des centrales nucléaires

Fontenay-aux-Roses, le 15 décembre 2025

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00126 DU 15 DÉCEMBRE 2025

Objet : DAC EPR2 Penly
Expertise des études probabilistes de sûreté de niveau 1 et de niveau 2 pour les événements internes du réacteur EPR2

Référence : [1] Lettre ASN CODEP-DCN-2024-069414 du 19 décembre 2024
[2] Règle fondamentale de sûreté 2002-01 relative au développement et à l'utilisation des études probabilistes de sûreté pour les réacteurs nucléaires à eau sous pression (RFS EPS)
[3] Avis d'expertise n° 2025-00110 du 4 novembre 2025

En 2016, EDF a sollicité l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sur les principales options de sûreté d'un projet de nouveau modèle de réacteur de type EPR, dénommé EPR NM¹. Le dossier d'options de sûreté (DOS), présentant le référentiel de sûreté applicable et les principales options de conception à l'étude pour ce type de réacteur, a fait l'objet d'une expertise de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Début 2018, EDF a communiqué à l'ASN sa décision de faire évoluer la configuration technique de ce type de réacteur vers une nouvelle version dénommée EPR2.

En 2023, EDF a déposé une demande d'autorisation de création (DAC) d'une paire de réacteurs EPR2 sur le site de Penly et transmis le rapport préliminaire de sûreté (RPrS) associé. Dans ce contexte, par la lettre citée en référence [1], l'ASN a sollicité l'avis de l'IRSN sur les études probabilistes de sûreté de niveau 1 (EPS1) et de niveau 2 (EPS2) pour les événements internes à l'installation, présentées dans le RPrS.

La Direction de l'expertise en sûreté de l'ASN² a ainsi examiné les données, méthodes et hypothèses retenues pour la réalisation des EPS de niveau 1 et 2, ainsi que les résultats et enseignements issus de ces études.

1. INTRODUCTION

La démonstration de sûreté de l'EPR2 s'appuie une démarche déterministe, complétée par une approche probabiliste. EDF développe les EPS de l'EPR2 par étapes successives en même temps que se précise la conception, ce qui lui permet d'identifier d'éventuelles améliorations pour atteindre les objectifs de sûreté visés pour ce réacteur.

L'EPS1 évalue le risque de fusion du cœur (RFC) et le risque de découverture des assemblages de combustible entreposés dans la piscine HK (RDC). L'EPS2 évalue le risque de rejets radioactifs à l'extérieur de l'installation en cas de rupture de gaines ou de fusion d'assemblages de combustible, en tenant compte du confinement (enceinte du bâtiment réacteur (HR), bâtiments périphériques et confinement dynamique assuré par les ventilations). Au stade de la DAC, la configuration technique de référence retenue par EDF pour ces EPS est la configuration dite « RC1.1 ».

¹ EPR nouveau modèle, préfigurateur du réacteur EPR2.

² Au 1^{er} janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASN).

La Direction de l'expertise en sûreté présente ci-après les principales conclusions de son expertise ainsi que les principaux engagements pris par EDF. Elle considère que ces conclusions sont applicables aux réacteurs EPR2 prévus sur le site de Penly, mais également envisagés sur d'autres sites.

2. EPS DE NIVEAU 1

2.1. RESULTATS

EDF évalue le RFC à $6,9.10^{-7}$ /année.réacteur (a.r.), le RDC à $1,1.10^{-8}$ /a.r. et la fréquence de fusion du cœur avec bipasse de l'enceinte de confinement (V-LOCA) à $8,5.10^{-9}$ /a.r. La fréquence des situations avec rupture de gaines sans fusion est évaluée à $5,6.10^{-6}$ /a.r.

Pour EDF, ces fréquences sont compatibles avec les objectifs probabilistes qu'il s'est fixés pour l'EPS1, à savoir :

- un RFC inférieur à 10^{-6} /a.r. pour les événements internes ;
- l'élimination pratique du risque de fusion du cœur avec bipasse de l'enceinte et du risque de dégradation des assemblages de combustible entreposés dans la piscine HK.

Compte tenu des délais de réalisation des études en support, certaines études justifiant les hypothèses de l'EPS1 sont celles qui avaient été réalisées pour l'EPR de Flamanville (EPR FA3), ce qui est acceptable au stade de la DAC.

À l'issue de son expertise, sans mettre en cause la possibilité d'atteinte des objectifs probabilistes associés à l'EPS1 EPR2, la Direction de l'expertise en sûreté considère que des compléments sont nécessaires à l'échéance de la demande de mise en service (DMES) pour améliorer la représentativité de l'EPS1 et répondre à des questions ciblées sur la conception. Ces compléments sont explicités ci-après.

2.2. HYPOTHESES RETENUES DANS L'EPS1

2.2.1. Tranche de référence

La tranche de référence retenue pour l'EPS1 EPR2 au stade de la DAC est à l'état technique RC1.1. Il est toutefois à noter qu'EDF a d'ores et déjà prévu des modifications (liées à la configuration RC1.2) qui auront un effet sur l'EPS1.

À l'échéance de la DMES, la conception du réacteur correspondra selon EDF à un état technique RC2.

2.2.2. Périmètre couvert

La Direction de l'expertise en sûreté souligne que le périmètre de l'EPS1 EPR2 au stade de la DAC, en termes d'initiateurs et d'états du réacteur étudiés, couvre un large spectre, mais devra néanmoins être complété.

À cet égard, à l'échéance de la DMES, EDF a prévu d'évaluer spécifiquement le risque de rupture de la cuve par surpression à froid du circuit primaire pour confirmer son caractère extrêmement improbable.

Il s'est également engagé à prendre en compte les dilutions hétérogènes et à évaluer le risque de dénoyage du combustible en cours de manutention dans les piscines HR et HK. La prise en compte de ces situations dans l'EPS1 permettra de confirmer que ces situations sont bien « pratiquement éliminées ».

En complément, la Direction de l'expertise en sûreté considère que certaines parades nécessaires pour éviter la fusion du cœur au-delà de 24 heures nécessitent d'être prises en compte, comme demandé par la règle fondamentale de sûreté relative à l'utilisation des EPS (RFS EPS [2]). De plus, les défaillances de cause commune (DCC) des tableaux LH de tension 10 kV, initiateurs d'accident ou supports d'une parade, méritent d'être intégrées dans l'EPS1 événements internes de référence, malgré leur caractère peu probable, compte tenu de l'absence de parade.

2.2.3. Profil de fonctionnement

La Direction de l'expertise en sûreté estime que le profil de fonctionnement de l'EPR2 retenu pour l'EPS1 est approprié au stade de la DAC et conforme aux préconisations de la RFS EPS. Il appartiendra à EDF de le mettre à jour à l'échéance de la DMES, en prenant notamment en compte les plannings d'arrêt du réacteur.

2.2.4. Données de fiabilité et défaillances de cause commune

La Direction de l'expertise en sûreté estime que la démarche générale d'établissement des données de fiabilité utilisées dans l'EPS1 EPR2 est satisfaisante et conforme aux préconisations de la RFS EPS.

À l'échéance de la DMES, EDF s'est engagé à affiner les données de fiabilité des différents groupes électrogènes de secours (GES)³ et à analyser la conception détaillée du GES DEC-A afin d'identifier d'éventuels modes de défaillance qui ne seraient pas couverts par les données de fiabilité utilisées. La prise en compte de ces données dans l'EPS1 permettra de confirmer le caractère satisfaisant des choix de conception des sources électriques de l'EPR2.

En complément, la Direction de l'expertise en sûreté souligne que les données de fiabilité relatives aux pompes du système d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG), de conception nouvelle pour l'EPR2, et les données de fiabilité des clapets (paramètres jouant un rôle prépondérant dans la quantification des situations avec bipasse du confinement) apparaissent optimistes et associées à une incertitude élevée. Aussi, des études de sensibilité seront nécessaires afin d'évaluer l'impact sur les résultats des incertitudes associée à ces données et ainsi vérifier l'atteinte des objectifs probabilistes.

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les DCC de composants appartenant à des systèmes différents ne peuvent pas être écartées par principe. EDF s'est engagé à l'échéance de la DMES à analyser l'impact de la prise en compte de telles défaillances (pour les cas pertinents), ce qui est satisfaisant.

De plus, EDF a prévu de mettre à jour la modélisation des DCC dans l'EPS1, en tenant compte des évolutions de la conception de l'EPR2. Cela concerne en particulier les GES, les pompes ASG et les tableaux LH de tension 10 kV. Il appartiendra à EDF de réaliser des études de sensibilité et de prendre en compte les événements de type DCC-LH dans l'EPS1 afin d'évaluer l'impact de ces évolutions sur les résultats et enseignements des EPS. Ainsi, l'EPS1 pourra être utilisée pour confirmer le bien-fondé du choix de non-diversification des pompes ASG et des tableaux LH, à partir de l'état technique RC1.2 de l'EPR2.

2.2.5. Fréquence des événements initiateurs

La Direction de l'expertise en sûreté considère que la liste des événements initiateurs et la démarche d'estimation de leur fréquence sont globalement satisfaisantes au stade de la DAC, hormis pour ce qui concerne l'initiateur de perte totale de la source froide principale.

Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF introduise, dans l'EPS1 « événements internes » EPR2, à l'échéance de la DMES, un événement initiateur de perte totale de la source froide principale de longue durée incluant une arrivée massive de colmatants excédant les capacités prévues au dimensionnement du système de nettoyage SFI (cf. recommandation n° 1 en annexe).

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'il appartiendra à EDF de consolider les fréquences de brèche sur des tuyauteries connectées au circuit primaire en prenant en compte le retour d'expérience récent. Il en est de même pour les fréquences des événements initiateurs de vidange de la piscine HK induits par des erreurs d'opérateur.

Enfin, la fréquence de certains initiateurs de l'EPS1 EPR2 est estimée à partir d'analyses de défaillance du contrôle-commande de l'EPR de Flamanville. EDF s'est engagé à mettre à jour la modélisation de ces événements initiateurs à l'échéance de la DMES, en prenant en compte le contrôle-commande de l'EPR2 ainsi que, lorsque cela est pertinent, une composante liée au facteur humain. Cet engagement est satisfaisant.

³ Le réacteur EPR2 dispose de 4 quatre GES (trois principaux et un mutualisable) qui assurent l'alimentation des systèmes de sauvegarde, d'un GES dit GES DEC-A (composé de 7 diesels de secours synchronisés, de conception différente des autres GES) qui assure l'alimentation des matériels nécessaires à la gestion des conditions de fonctionnement avec défaillances multiples (conditions DEC-A), et d'un GES dit GES DEC-B, qui alimente les systèmes permettant de gérer les conditions de fonctionnement avec fusion du cœur.

2.2.6. Modélisation des stratégies de conduite et évaluation probabiliste de la fiabilité humaine (EPFH)

La Direction de l'expertise en sûreté estime que la modélisation, dans l'EPS1 EPR2, des erreurs humaines pré-accidentelles et des dépendances entre ces erreurs est acceptable au stade de la DAC. À l'échéance de la DMES, cette modélisation méritera d'être mise à jour sur la base de la conception finalisée.

S'agissant des actions post-accidentelles, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la méthode mise en œuvre par EDF, peu dépendante des procédures de conduite incidentelle ou accidentelle (CIA) (non disponibles au stade de la DAC), permet de réaliser des quantifications EPFH appropriées à un réacteur en phase de conception, dès lors que les actions des opérateurs évaluées sont effectivement prescrites dans ces procédures. À l'échéance de la DMES, il est nécessaire que, dans l'EPS1, la modélisation des séquences accidentelles et les EPFH soient mises à jour par EDF en considérant la conception finalisée et sur la base des procédures CIA de l'EPR2.

Dans ce cadre, EDF a indiqué qu'il analysera les dépendances entre les erreurs humaines post-accidentelles et le contrôle-commande, ainsi qu'entre les actions humaines post-accidentelles, ce qui est satisfaisant. Il appartiendra à EDF d'intégrer les dépendances des actions humaines post-accidentelles avec les erreurs humaines conduisant à des événements initiateurs.

2.2.7. Modélisation des systèmes

De manière générale, au stade de la DMES, EDF prévoit que la modélisation des systèmes dans l'EPS1 soit cohérente avec un état technique RC1.2 proche de l'état RC2 visé.

La Direction de l'expertise en sûreté souligne l'intérêt de modéliser le contrôle-commande dans l'EPS1 avec suffisamment de détails, en particulier pour les capteurs. À cet égard, **la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF modélise, dans l'EPS1 « événements internes » EPR2, à l'échéance de la DMES, les défaillances des capteurs en prenant en compte leurs alimentations électriques via une modélisation explicite permettant d'identifier les dépendances fonctionnelles (cf. recommandation n° 2 en annexe).**

2.2.8. Modélisation des séquences accidentelles

Au stade de la DAC, EDF n'a pas documenté les analyses qualitatives de sûreté (AQS) décrivant le déroulement des séquences accidentelles modélisées dans son EPS1 EPR2, et s'est appuyé sur les études thermohydrauliques réalisées pour l'EPS1 EPR FA3, sans justifier leur transposition à l'EPR2.

Aussi, au stade de la DMES, les AQS et les études thermohydrauliques justifiant la modélisation des séquences accidentelles de l'EPS1 EPR2 devront être disponibles.

À l'échéance de la DMES, il appartiendra à EDF de retenir dans l'EPS1 des hypothèses cohérentes avec la conception et les règles générales d'exploitation finalisées (conduite incidentelle ou accidentelle, spécifications techniques d'exploitation).

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté constate que le modèle EPS1 EPR2 est d'une très grande complexité, au regard notamment des modèles développés pour le parc (y compris l'EPR FA3), sans que cela puisse être imputé à la complexité de la conception de l'EPR2. Certains aspects sont traités par des modèles spécifiques (famille V-LOCA par exemple), ce qui n'est pas une bonne pratique.

2.3. ENSEIGNEMENTS DE L'EPS1 EPR2 AU STADE DE LA DAC

2.3.1. Risque de fusion du cœur (hors bipasse de l'enceinte de confinement)

Lors de l'expertise, EDF a précisé qu'il complètera la modélisation des séquences accidentelles au stade de la DMES, ce qui est satisfaisant. Cela concerne notamment les séquences accidentelles avec échec de l'arrêt des groupes motopompes primaires.

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'il conviendra de définir, à partir d'études support, les conditions de température à partir desquelles le conditionnement thermique du système de ventilation de la zone non-contrôlée des bâtiments des auxiliaires de sauvegarde (DVL) par le système de production et de

distribution d'eau glacée de sûreté (DEL) est requis, puis d'évaluer la probabilité de dépassement de cette température. En effet, le fonctionnement du système DVL permet d'éviter le dépassement des températures de qualification des matériels dans les bâtiments des auxiliaires de sauvegarde.

2.3.2. Risque de fusion du cœur avec bipasse de l'enceinte de confinement

Le dossier transmis par EDF au stade de la DAC pour les scénarios de fusion du cœur avec bipasse de l'enceinte (dits V-LOCA), qui doivent être pratiquement éliminés, est incomplet. Aussi, à l'échéance de la DMES, EDF s'est engagé à compléter l'EPS1 EPR2 pour ces scénarios et à réaliser des études de sensibilité sur les paramètres prépondérants de la modélisation, pour confirmer le caractère pratiquement éliminé des situations V-LOCA. La Direction de l'expertise en sûreté considère que cet engagement est satisfaisant et rappelle (cf. § 2.2.4) que l'incertitude sur les données de fiabilité des clapets devra être prise en compte pour ces études de sensibilité.

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté a identifié des scénarios d'accident susceptibles de conduire à la rupture de la tuyauterie à double enveloppe du système RIS-RA à l'aspiration de l'IRWST (réserve d'eau borée d'appoint au circuit primaire située à l'intérieur de l'enceinte). Ces scénarios ne sont pas étudiés dans l'EPS1 EPR2 alors qu'ils pourraient conduire à une situation de fusion du cœur avec bipasse de l'enceinte de confinement. **Ainsi, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF étudie, dans l'EPS1 « événements internes » EPR2, à l'échéance de la DMES, les scénarios V-LOCA liés à la position ouverte ou à l'inétanchéité d'une des vannes motorisées RIS 1004/2004/3004 VP conduisant à la rupture par surpression du tronçon du RIS-RA protégé par la double enveloppe, mais dimensionné à une pression très inférieure à celle du circuit primaire (cf. recommandation n° 3 en annexe).**

2.3.3. Risques liés aux assemblages de combustible entreposés dans la piscine HK (ébullition et découverture)

La Direction de l'expertise en sûreté souligne que la fréquence d'ébullition de la piscine HK est élevée au stade de la DAC ($2,3 \cdot 10^{-4}$ /a.r.) ; même si aucune cible de conception n'a été définie, cette fréquence devra être réduite lorsque toutes les dispositions prévues au stade de la conception finalisée seront prises en compte.

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté a noté que les résultats de l'EPS1 pour la piscine HK reposent en grande partie sur l'hypothèse d'un degré d'indépendance élevé entre les actions humaines d'une part, et entre les actions humaines et les actions automatiques d'autre part ; cela devra être confirmé au stade de la DMES. EDF prévoit à cet égard de compléter l'EPS1 pour ce qui concerne la modélisation des actions, humaines ou automatiques, pouvant influencer sur l'objectif d'élimination pratique du risque de découverture des assemblages de combustible entreposés dans la piscine HK ainsi que leurs éventuelles dépendances, et d'en tirer les enseignements sur la conception, ce qui est satisfaisant.

3. EPS DE NIVEAU 2

3.1. RESULTATS

Pour présenter les résultats d'une EPS de niveau 2, les scénarios d'accident étudiés sont regroupés par catégories de rejets, dont la fréquence est calculée. L'EPS2 de l'EPR2 réalisée au stade de la DAC conduit aux fréquences suivantes pour les différentes catégories de rejets définies par EDF :

- **$4,2 \cdot 10^{-8}$ /a.r.** pour les rejets « importants⁴ et précoces⁵ » en cas de fusion du cœur, ces situations devant être pratiquement éliminées (et $4,4 \cdot 10^{-9}$ /a.r. pour ce même type de rejets en cas de rupture de gaines cumulée à un bipasse de l'enceinte de confinement) ;
- **$8,6 \cdot 10^{-9}$ /a.r.** pour les rejets « importants et tardifs » en cas de fusion du cœur, la perte du confinement (après 24 heures) étant principalement due à l'échec de la mise en œuvre du système EVU⁶. La fréquence de ces situations doit être résiduelle ;

⁴ Les rejets sont « importants » lorsque la dose efficace, estimée à 3 km du point d'émission et cumulée sur les 7 premiers jours de l'accident, dépasse 50 mSv.

⁵ La perte du confinement a lieu moins de 24 heures après le début de fusion du cœur.

⁶ En cas d'accident avec fusion du cœur, le système EVU assure le transfert de la chaleur de l'atmosphère de l'enceinte vers la source froide diversifiée.

- **2,5.10⁻⁷ /a.r.** pour les rejets « anormaux » (dépassant les seuils définis dans le cadre des études déterministes), dus à la défaillance de la ventilation des bâtiments périphériques. Cette fréquence, dont une grande part est associée à des situations de rupture de gaines, doit être réduite autant que raisonnablement possible ;
- **7,4.10⁻⁹ /a.r.** pour les rejets « voie eau » correspondant à la percée du radier de l'enceinte de confinement, dont la fréquence doit être résiduelle ;
- **1,1.10⁻⁸ /a.r.** pour les rejets importants (précoces ou tardifs) en cas de dégradation du combustible dans la piscine HK suite à sa vidange ou à la perte de son refroidissement, situations devant être pratiquement éliminées.

Les situations accidentelles issues de l'EPS1 ne relevant pas de ces catégories conduisent à des conséquences acceptables, au regard des objectifs fixés pour les accidents avec fusion du combustible.

Pour EDF, ces résultats permettent de vérifier l'atteinte des objectifs : rendre le risque de rejets importants et précoces extrêmement improbable et éviter les effets durables dans l'environnement.

À l'issue de son expertise, sans mettre en cause la possibilité d'atteinte des objectifs probabilistes associés à l'EPS2 EPR2, la Direction de l'expertise en sûreté considère que des compléments sont nécessaires à l'échéance de la DMES pour améliorer la représentativité de l'EPS2 et répondre à des questions ciblées sur la conception. Ces compléments sont explicités ci-après.

3.2. HYPOTHESES RETENUES DANS L'EPS2

États dégradés issus de l'EPS1 et calculs physiques représentant la progression de l'accident

Les scénarios d'accident avec fusion du cœur issus de l'EPS1 sont regroupés en « états dégradés de l'installation » (EDI) constituant l'entrée de l'EPS2. La logique de ces regroupements est correctement documentée ; toutefois, le nombre réduit d'EDI⁷ conduit, dans certains cas, à regrouper des scénarios qui ne sont pas équivalents en termes de disponibilité des systèmes et de progression de l'accident.

Pour caractériser ensuite la progression d'un accident avec fusion du cœur, EDF s'appuie au stade de la DAC sur un nombre limité⁸ de calculs physiques réalisés pour l'EPR FA3, la réalisation de calculs spécifiques à l'EPR2 étant prévue pour la mise à jour de l'EPS2 au stade de la DMES.

La Direction de l'expertise en sûreté considère que **ces limites sont acceptables au stade la DAC**, compte tenu du fait que les OSSA⁹ (décrivant les actions des opérateurs pour le maintien du confinement et la limitation des rejets dans l'environnement en cas d'accident avec fusion du cœur) et la conception de l'EPR2 ne sont pas finalisées.

Comportement ultime de l'enceinte de confinement en situation d'accident avec fusion du cœur

L'enceinte de confinement de l'EPR2 est un ouvrage en béton armé précontraint, dont l'étanchéité est assurée par une peau métallique interne (liner). Dans l'EPS2, l'enceinte de confinement est modélisée par une courbe de fragilité fournissant sa probabilité conditionnelle de dégradation en fonction de la pression interne, établie à partir de résultats d'études de mécanique de structure détaillées.

EDF s'est engagé à compléter ces études à l'échéance de la DMES ; cela concerne en particulier l'évaluation des modes de défaillance de l'enceinte de confinement (par exemple au niveau du liner ou du dispositif de fermeture du tampon d'accès des matériels (TAM)), la prise en compte des effets de la température ou le raffinement de la modélisation aux éléments finis utilisée.

La Direction de l'expertise en sûreté estime que cet engagement est satisfaisant. Dans ce cadre, EDF devra notamment s'assurer de la validité des maillages mis en œuvre pour la modélisation de l'enceinte de confinement,

⁷ Les scénarios d'accident avec fusion du cœur issus de l'EPS1 EPR2 sont regroupés dans 22 EDI pour l'EPS2.

⁸ Sept calculs couvrent l'ensemble des scénarios en puissance et dix calculs les scénarios en états d'arrêt.

⁹ Operating Strategies for Severe Accidents.

de la pertinence des lois de comportement non-linéaires utilisées, ainsi que de la pertinence des incertitudes (aléatoires et épistémiques) considérées.

Modélisation des phénomènes physiques en cas d'accident avec fusion du cœur

La Direction de l'expertise en sûreté estime que les hypothèses retenues par EDF dans l'EPS2 EPR2 pour les phénomènes physiques survenant durant un accident avec fusion du cœur sont acceptables au stade de la DAC.

Au stade de la DMES, il appartiendra à EDF d'apporter des éléments complémentaires sur les conséquences d'une explosion de vapeur en cuve et des éléments permettant de s'assurer de l'absence de risque de soulèvement de la cuve lors de sa défaillance. Des compléments d'analyse sont également attendus concernant le risque de déflagration rapide d'hydrogène pendant la phase de dégradation du cœur en cuve, l'occurrence d'une rupture du circuit primaire en cas de fusion en pression et le risque de combustion d'hydrogène lorsque le corium¹⁰ est relocalisé hors de la cuve. Enfin, les situations pouvant mener à la présence d'eau dans le puits de cuve avant la rupture de la cuve et les possibilités d'interaction corium-eau pour les coulées tardives de corium méritent d'être investiguées.

Conduite et évaluation probabiliste de la fiabilité humaine (EPFH)

Pour identifier les actions des opérateurs à prendre en compte dans l'EPS2 EPR2, EDF a transposé les actions définies dans les OSSA de l'EPR FA3. Les probabilités d'échec des actions humaines sont évaluées avec des méthodes simplifiées et les actions en local ne sont pas modélisées, **ce qui est acceptable à ce stade.**

EDF prévoit la mise en œuvre d'une méthode EPFH plus détaillée au stade de la DMES, lorsque la CIA et les OSSA de l'EPR2 seront finalisées. La Direction de l'expertise en sûreté souligne que la probabilité d'échec des actions humaines dépend du délai disponible. Elle considère en outre que la possibilité d'une entrée tardive dans les OSSA est à considérer dans l'EPS2.

Évaluation des rejets et des conséquences radiologiques

Les situations accidentelles évaluées dans l'EPS2 EPR2 font l'objet d'une évaluation de leur fréquence et sont affectées qualitativement aux catégories de rejets définies pour la présentation des résultats. EDF n'a pas réalisé de calculs de rejets, ce qui constitue une limite de l'étude disponible au stade de la DAC.

EDF a prévu de réaliser à l'échéance de la DMES une évaluation des rejets et des conséquences radiologiques pour les principales situations accidentelles de l'EPS2 EPR2, à l'exception de celles pratiquement éliminées.

La Direction de l'expertise en sûreté estime cette approche acceptable.

Événements jugés improbables

EDF exclut de l'EPS2 EPR2 certains événements qu'il juge très improbables. La Direction de l'expertise en sûreté considère que certains de ces événements méritent toutefois d'être considérés lorsqu'ils ont un impact particulier sur le déroulement d'un accident, avec une fréquence tenant compte des dispositions prises pour les éviter. Il s'agit par exemple de la rupture du circuit primaire localisée de telle façon qu'elle conduirait à un remplissage en eau du puits de cuve ou de l'apparition d'une fuite d'eau contaminée sur le système EVU durant son fonctionnement en situation d'accident avec fusion du cœur.

3.3. ENSEIGNEMENTS DE L'EPS2 EPR2 AU STADE DE LA DAC

Élimination pratique des situations de rejets importants et précoces

La fréquence estimée des situations de rejets importants et précoces en cas de fusion du combustible ($4,2 \cdot 10^{-8}$ /a.r. pour les rejets depuis le bâtiment HR et $4 \cdot 10^{-9}$ /a.r. depuis le bâtiment HK) apparaît relativement faible, du fait de la fiabilité des systèmes d'isolement des traversées de l'enceinte de confinement et des dispositions permettant

¹⁰ Amas de combustible et de matériaux des structures qui supportent le combustible dans la cuve, fondus et mélangés, et maintenus en fusion par le dégagement de la puissance résiduelle.

d'éviter les phénomènes énergétiques pouvant endommager l'enceinte de confinement. Le risque résiduel de rejets importants et précoces est porté par :

- les situations avec fusion du cœur survenant en état d'arrêt, alors que l'enceinte de confinement est ouverte au niveau du tampon d'accès des matériels pour des nécessités d'exploitation ;
- le risque de rupture de tube(s) de générateur de vapeur (RTGV), qu'elle soit initiatrice ou induite par l'accident ;
- le risque de fusion du cœur avec bipasse de l'enceinte de confinement (V-LOCA) ;
- le risque de fusion d'assemblages entreposés dans la piscine du bâtiment HK suite à une vidange rapide.

Au stade de la DMES, une mise à jour de l'EPS2 est attendue, en cohérence avec celle de l'EPS1, pour ce qui concerne la fiabilité de l'isolement des traversées de l'enceinte (humaine et matérielle) et l'évaluation des situations de V-LOCA.

Dans l'EPS2 EPR2, les situations de rupture de gaines sans fusion du cœur cumulées à un bipasse de l'enceinte de confinement sont également associées à des rejets importants et précoces par conservatisme. Au stade de la DAC, la fréquence estimée de ces situations ($4,4.10^{-9}$ /a.r.) est acceptable.

Cas particulier des accidents survenant alors que le TAM est ouvert (rejets importants et précoces)

Dans l'EPS2 EPR2, le TAM est considéré non-refermable en cas d'accident. Pour l'EPR2, à l'instar des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe, EDF s'est engagé à valoriser (dans les OSSA) le système permettant d'assurer une aspersion dans l'enceinte (à savoir le système EVU pour l'EPR2) pour rabattre dans l'enceinte de confinement une partie des produits de fission issus de la dégradation du cœur, **ce qui est satisfaisant.**

En outre, EDF prévoit d'affiner la modélisation de ces situations dans l'EPS2 au stade de la DMES en tenant compte des plannings d'arrêt de l'EPR2, voire en valorisant la refermeture du TAM lorsque les délais de grâce et les conditions d'ambiance le permettent, **ce qui est également satisfaisant.**

Situations de pressurisation lente de l'enceinte (rejets importants et tardifs)

Les situations conduisant à la défaillance de l'enceinte par pressurisation lente ont une fréquence de $8,6.10^{-9}$ /a.r.

En situation d'accident avec fusion du cœur sur le réacteur EPR2, l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur hors de l'enceinte serait assurée par le système EVU, refroidi par la source froide diversifiée. En l'absence de disposition d'éventage-filtration de l'enceinte¹¹ sur le réacteur EPR2, le système EVU est conçu pour assurer sa mission pendant un an sans maintenance ou réparation, afin de pouvoir maintenir la pression et la température dans l'enceinte à des valeurs compatibles avec le maintien de l'étanchéité de l'enceinte et avec les profils de qualification des matériels.

Dans l'EPS2 EPR2, la probabilité d'une défaillance en fonctionnement du système EVU est évaluée sur une durée de 24 heures, non représentative de la durée de mission du système (1 an). En outre, les scénarios de fuite ou l'indisponibilité pour maintenance ne sont pas modélisés. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté considère que l'EPS2 EPR2 d'EDF au stade de la DAC sous-évalue la fréquence de rejets importants et tardifs par pressurisation lente de l'enceinte et ne permet pas de démontrer avec un haut degré de confiance que le risque de rejets tardifs puisse être amené à un niveau très faible sans valorisation de moyens de résilience qui pourraient être mis en œuvre en cas de défaillance de l'EVU.**

En outre, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'EDF n'a pas apporté les éléments permettant de justifier le caractère suffisant des dispositions de résilience envisagées et renvoie à cet égard à l'avis à venir relatif à l'analyse des études relatives aux accidents graves.

¹¹ Disposition permettant de décompresser l'enceinte de confinement tout en filtrant les gaz et particules en suspension dans celle-ci. Différentes technologies de dispositif existent.

Situations avec percée du radier

La conception de l'EPR2 prévoit un dispositif de récupération et de stabilisation du corium. La Direction de l'expertise considère acceptable la modélisation des défaillances de ce dispositif et l'évaluation du risque de percée du radier qui en découle ($7,4.10^{-9}$ /a.r.) dans l'EPS2 au stade de la DAC.

Situations avec défaillance de la ventilation des bâtiments périphériques (rejets anormaux)

Parmi les accidents avec défaillance de la ventilation des bâtiments périphériques (fréquence de $8,9.10^{-8}$ /a.r. pour les accidents avec fusion du cœur et de $1,6.10^{-7}$ /a.r. pour les accidents avec rupture de gaines sans fusion), l'identification de ceux qui nécessitent des mesures de protection à l'extérieur de l'installation reste à conforter par EDF à l'échéance de la DMES, en tenant compte des évaluations de rejets prévues à cette échéance.

4. CONCLUSION

La Direction de l'expertise en sûreté estime que les EPS de niveau 1 et 2 du réacteur EPR2 pour les événements internes, réalisées au stade de la DAC, apportent un éclairage appréciable sur la conception de l'installation.

Les résultats obtenus sont satisfaisants au regard des objectifs probabilistes de sûreté visés, mais ces études devront être complétées par EDF à l'échéance de la DMES, sur la base de la conception finalisée du réacteur, pour confirmer l'atteinte de ces objectifs. L'EPS1 ainsi complétée devra être utilisée pour conforter la liste des conditions de fonctionnement et dispositions DEC-A, comme indiqué dans l'avis en référence [3].

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté

Annexe

Recommandations de la Direction de l'expertise en sûreté

Recommandation n° 1

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF introduise, dans l'EPS1 « événements internes » EPR2, à l'échéance de la DMES, un événement initiateur de perte totale de la source froide principale de longue durée incluant une arrivée massive de colmatants excédant les capacités prévues au dimensionnement du système de nettoyage SFI.

Recommandation n° 2

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF modélise, dans l'EPS1 « événements internes » EPR2, à l'échéance de la DMES, les défaillances des capteurs en prenant en compte leurs alimentations électriques *via* une modélisation explicite permettant d'identifier les dépendances fonctionnelles.

Recommandation n° 3

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF étudie, dans l'EPS1 « événements internes » EPR2, à l'échéance de la DMES, les scénarios V-LOCA liés à la position ouverte ou à l'inétanchéité d'une des vannes motorisées RIS 1004/2004/3004 VP conduisant à la rupture par surpression du tronçon du RIS-RA protégé par la double enveloppe, mais dimensionné à une pression très inférieure à celle du circuit primaire.