

Fontenay-aux-Roses, le 31 janvier 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00012

Objet : Réacteurs électronucléaires d'EDF de 1300 MWe – RP4 1300 – Examen des études probabilistes de sûreté de niveau 1 relatives aux événements internes (EPS1 RP4 1300).

Réf. :

- [1] Saisine ASN - CODEP-2023-DCN-2023-029208 du 1er juin 2023.
- [2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2013-013464 du 28 juin 2013.
- [3] Courrier ASN – CODEP-DCN-2019-009228 du 11 décembre 2019.
- [4] Courrier ASN – CODEP-DCN-2021-034392 du 23 juillet 2021.
- [5] Règle fondamentale de sûreté (RFS) 2002-01 du 26 décembre 2002 relative à l'utilisation des études probabilistes pour la sûreté des installations nucléaires de base.

Par la saisine en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite, dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs nucléaires de 1300 MWe (RP4 1300), l'avis de l'Institut de sûreté et de radioprotection nucléaire (IRSN) sur les études probabilistes de sûreté (EPS) de niveau 1, réalisées par EDF, relatives aux événements internes pour la chaudière et la piscine BK de désactivation du combustible (appelées respectivement EPS1 réacteur¹ et EPS1 piscine BK²).

Les conclusions de l'expertise menée par l'IRSN sur la pertinence de ces EPS, sur leurs résultats, ainsi que sur les enseignements tirés de ces études pour le réexamen, sont présentées ci-après.

Outre les données et hypothèses retenues dans ces EPS et la prise en compte de demandes antérieures formulées par l'ASN, l'IRSN a examiné en priorité la bonne représentation des modifications matérielles et intellectuelles proposées par EDF pour répondre aux objectifs de sûreté du RP4 1300 ainsi que les enseignements de ces EPS quant à la suffisance des modifications proposées au regard des objectifs du réexamen. L'IRSN a également examiné la représentativité de ces EPS au regard de leurs utilisations ultérieures.

¹ L'EPS1 réacteur présente une évaluation du risque de fusion du cœur.

² L'EPS1 piscine BK présente une évaluation du risque de découverture des assemblages de combustible en cours de manutention ou entreposés dans la piscine.

1. INTRODUCTION

Le RP4 1300 s'inscrit dans le contexte du prolongement de la durée de fonctionnement des réacteurs au-delà de 40 ans pour lequel l'ASN a considéré [2] que le niveau de sûreté des réacteurs actuels devait être amélioré, en particulier au regard des exigences de sûreté renforcées appliquées aux nouveaux réacteurs.

En 2019, à l'issue de la consultation du Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires sur les orientations du programme de travail d'EDF associé au RP4 1300, l'ASN a statué, par lettre citée en référence [3], sur ces orientations, et a défini les éléments complémentaires qu'EDF devait transmettre afin d'apporter la démonstration de sûreté attendue dans le cadre de ce réexamen. L'ASN a ensuite présenté ses attentes concernant les études à mener par EDF, formulées initialement en 2021 [4] et mises à jour pour tenir compte d'éléments de contexte apportés par EDF.

Le RP4 1300 (à l'instar du RP4 900) doit permettre d'améliorer le niveau de sûreté des réacteurs de 1300 MWe avec des objectifs se rapprochant de ceux applicables aux nouveaux réacteurs, comme l'EPR implanté sur le site de Flamanville, en tenant compte du retour d'expérience acquis sur le parc électronucléaire français ou à l'international, ainsi que, plus généralement, de l'évolution des connaissances et des pratiques.

Le développement d'EPS constitue un des éléments sur lesquels s'appuie la démarche de réévaluation de sûreté d'EDF pour ce réexamen. Les EPS permettent, en complément des études déterministes, d'identifier d'éventuels besoins d'amélioration des dispositions de conception ou d'exploitation [5].

EDF a mis à jour les EPS1 1300 réacteur et piscine BK, relatives aux événements internes, pour qu'elles soient représentatives de l'état des réacteurs en prenant compte les modifications (matérielles et intellectuelles) associées au RP4 1300, notamment les modifications « post-Fukushima ». EDF a en outre apporté un certain nombre d'améliorations en termes de modélisation (meilleure prise en compte des systèmes de ventilation, démarche « industrialisée » pour l'évaluation probabiliste du facteur humain, ...).

Avec ces EPS dites « de référence » pour le réexamen, EDF évalue, pour les réacteurs du palier P4, les risques globaux induits par les « événements internes » à :

- $2,6 \cdot 10^{-6}$ /année.réacteur pour le risque de fusion du cœur (RFC) ;
- $4,0 \cdot 10^{-8}$ /année.réacteur pour le risque de découverture des assemblages de combustible dans le BK (RDC).

Les résultats sont similaires pour les réacteurs du palier P'4.

Ces résultats confortent pour EDF l'atteinte des objectifs qu'il s'est fixés en entrée de réexamen, à savoir obtenir un RFC de quelques 10^{-6} /année.réacteur et rendre extrêmement improbable le découverture des assemblages de combustible en cas de vidanges accidentelles ou de pertes de refroidissement de la piscine de désactivation du combustible.

Dans le cadre d'appuis à certains dossiers de sûreté tels que des demandes de modification temporaire des spécifications techniques d'exploitation (DMT) ou de l'analyse de précurseurs d'accidents (ANPE), EDF prévoit des mises à jour de ces EPS, sur un périmètre restreint, portées par des modèles EPS dits « applicatifs », les évolutions visant à obtenir une bonne représentativité des EPS à l'état RP4 vis-à-vis de l'application considérée. Les différentes versions de ces EPS « applicatives » ne sont pas transmises par EDF à l'ASN et à l'IRSN.

2. TRANCHE DE RÉFÉRENCE

Les EPS1 RP4 1300 réacteur et piscine BK sont des EPS dites « palier », représentatives des réacteurs des paliers P4 et P'4 ayant intégré les modifications du RP4 1300. Plus précisément, elles sont développées sur la base de la conception du palier P4, avec la possibilité de différencier certaines spécificités des paliers P4 et P'4.

Pour certaines spécificités de site, telles que les appoints en eau à la piscine BK par la distribution d'eau incendie, EDF a modélisé la configuration la plus pénalisante.

L'IRSN estime que la démarche d'EDF est acceptable et souligne l'intérêt, pour le RP4 1300, de disposer d'EPS1 réacteur et piscine BK prenant en compte les modifications connues à date. L'impact des spécificités des sites et des tranches sur les EPS1 RP4 1300 est en outre à considérer par EDF lors des utilisations ultérieures de ces EPS.

3. PÉRIMÈTRE

Le périmètre des EPS1 réacteur et piscine BK mis à jour par EDF, en termes d'événements redoutés, d'initiateurs et d'états du réacteur étudiés, couvre un large spectre. Toutefois, l'IRSN observe que certains événements initiateurs ou séquences accidentelles développées par EDF lors du RP3 1300 ne sont plus analysés.

Cela concerne notamment les événements initiateurs de perte des tableaux LH (6,6 kV) par défaillance de cause commune (DCC-LH) ou les risques de surpressions à froid, qui font l'objet d'expertises dédiées de l'IRSN.

D'autres situations ne sont pas prises en compte : les pertes de ventilation en tant qu'initiateurs d'accident, certains scénarios de dilution homogène ou hétérogène, certains scénarios de bipasse du confinement ou encore certains initiateurs affectant le site.

Ces limites ne mettent pas en cause les conclusions des EPS1 pour le RP4 1300, mais il appartiendra à EDF d'en tenir compte si besoin dans les applications des EPS (modèles EPS « applicatifs »).

Enfin, pour les risques dans les états d'arrêt pour rechargement, non inclus dans les EPS1 RP4 1300, EDF prévoit de transmettre un éclairage probabiliste, prenant en compte les modifications issues de la démarche déterministe.

4. DONNÉES D'ENTRÉE

Le profil de fonctionnement (durées moyennes passées par un réacteur dans chaque état de fonctionnement) retenu par EDF dans ses EPS est basé sur un échantillon restreint de données (trois années d'exploitation des réacteurs). En outre, ces durées moyennes masquent une grande variabilité des temps passés, notamment dans les états d'arrêt pour lesquels les risques horaires de fusion du cœur peuvent être importants.

Les évaluations par EDF des fréquences des événements initiateurs sont globalement satisfaisantes. Toutefois, la réduction - comparativement à l'étude transmise dans le cadre du RP3 - de la fréquence de certaines situations, telles que les vidanges excessives du circuit primaire en état d'arrêt dans l'EPS1 réacteur ou les brèches³ situées sur certaines tuyauteries considérées dans l'EPS1 piscine BK, reste à confirmer au regard du retour d'expérience d'exploitation ou des évolutions de conception ou d'exploitation des réacteurs.

Les données de fiabilité des équipements sont mises à jour par EDF partir du retour d'expérience (REX) d'exploitation de son parc électronucléaire, complété le cas échéant par l'expérience au niveau international, et selon un processus mis en place depuis plusieurs années et en cours d'amélioration. Certains équipements font l'objet d'un suivi renforcé de leur fiabilité, en fonction de leur importance sur les résultats des EPS1. Compte tenu des résultats des EPS1 RP4 1300, EDF prévoit par exemple de renforcer le suivi des clapets RRI⁴ d'isolement de la barrière thermique des motopompes du circuit primaire, ce qui est satisfaisant.

Néanmoins, l'IRSN a noté que les capteurs associés au contrôle-commande ne se sont pas intégrés à ce processus et que certaines données afférentes sont anciennes. EDF a mis en place un suivi spécifique de certains capteurs

³ EDF utilise des données définies par l'EPRI (Electric Power Research Institute) pour les fréquences de brèches sur des tuyauteries connectées à la piscine BK. L'EPRI est un organisme de recherche qui a été créé par les industriels américains du secteur de l'énergie.

⁴ RRI : système de refroidissement intermédiaire.

pour détecter d'éventuelles dérives de fiabilité. Selon l'IRSN, d'autres capteurs pourraient faire l'objet d'un tel suivi. Par ailleurs, l'IRSN souligne les incertitudes sur certaines données, telles que la fiabilité du réseau électrique externe, des diesels d'ultime secours (DUS) ou des pompes des systèmes RIS⁵ et EAS⁶.

Enfin, la comptabilisation par EDF des taux d'indisponibilité (fortuite ou programmée) des matériels est acceptable dans son principe ; néanmoins, certaines de ces données reposent sur un REX ancien et l'introduction de ces données dans les EPS ne semble pas exhaustive.

Toutefois, EDF prévoit à la mise à jour des données d'entrée (paramètres de fiabilité, profil de fonctionnement, paramètres d'indisponibilité et fréquences d'initiateurs) avec le REX d'exploitation le plus récent pour permettre l'utilisation de ces EPS dans le cadre d'appuis à certains dossiers de sûreté (modèles EPS « applicatifs »), ce qui est satisfaisant.

5. MODÉLISATION

EDF s'est doté d'outils informatiques de manière à faciliter le développement d'un ensemble d'études EPS (de niveaux 1 et 2, pour les événements internes, les agressions internes ou externes) cohérentes entre elles. Les modèles intègrent en outre divers jeux d'hypothèses (modèle à l'état RP3 ou RP4, spécificités du palier P4 ou P'4), ou des études de sensibilité. Ceci a entraîné une complexification importante des modèles. Des améliorations sont souhaitables dans les prochaines études sur ces aspects.

EDF a complété certains aspects des EPS1 1300 (modélisation de la perte des ventilations ou du contrôle commande en tant que systèmes supports aux équipements modélisés dans les EPS, meilleure prise en compte des situations affectant à la fois le réacteur et la piscine BK, ...). EDF a de plus pris en compte les modifications connues pour le RP4 1300, notamment les nouvelles missions du Diesel d'ultime secours (DUS), capable, par exemple, d'alimenter :

- les tableaux électriques 6,6 kV LHA et LHB ;
- la nouvelle pompe d'injection aux joints des pompes primaires (PIJ), ainsi que le tableau électrique 30 V LDC permettant ainsi d'assurer la conduite des générateurs de vapeur en voie B depuis la salle de commande ;
- une motopompe du système ASG⁷ ou une pompe du système RCV⁸ ;
- la nouvelle pompe EAS ND⁹ d'injection d'eau borée au circuit primaire ;
- la pompe SEG¹⁰.

Lors de son expertise, l'IRSN a relevé des faiblesses de modélisation concernant les modifications du RP4 1300. Elles sont notamment relatives à la modélisation des dépendances fonctionnelles au niveau des alimentations électriques, du contrôle-commande de la PIJ ou de la ventilation du local l'abritant, de certaines actions des opérateurs de conduite (délestages manuels de systèmes pour limiter l'appel de puissance du DUS). EDF a

⁵ RIS : système d'injection de sécurité.

⁶ EAS : système d'aspersion dans l'enceinte.

⁷ ASG : système d'alimentation de secours des générateurs de vapeur.

⁸ RCV : système de contrôle volumétrique et chimique.

⁹ EAS-ND : système appartenant au noyau dur mis en œuvre dans le cadre post Fukushima permettant une injection d'eau borée dans le circuit primaire ou dans l'enceinte de confinement, ainsi que le refroidissement de cette eau pour évacuer la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement.

¹⁰ SEG : système appartenant au noyau dur mis en œuvre dans le cadre post Fukushima permettant des appoints d'eau ultimes pour les générateurs de vapeur ou la piscine de désactivation du combustible.

convenu que certains détails de conception des modifications du RP4 1300 n'étaient pas connus au moment de la réalisation des EPS, et qu'une mise à jour des EPS1 est nécessaire.

L'IRSN a également relevé des imprécisions concernant la modélisation de systèmes non concernés par les modifications du RP4 1300. On peut citer par exemple l'absence de modélisation des conséquences de la défaillance du tableau 220 V LNH sur la disponibilité du transformateur auxiliaire.

EDF s'est engagé à compléter ses EPS 1 RP4 1300 sur ces points dans le cadre des EPS « applicatives » (voir engagement présenté en annexe), ce qui est satisfaisant.

Évaluation probabiliste de la fiabilité humaine (EPFH)

Dans le cadre du RP4 1300, EDF a développé, pour les besoins de ses EPS, une nouvelle méthode EPFH appelée HAMSTER¹¹, et présentée comme une « industrialisation » de la précédente méthode MERMOS¹². Cette méthode est utilisée par EDF pour évaluer une grande partie des actions de conduite modélisées dans les EPS1 RP4 1300 et consiste à évaluer puis à combiner la probabilité d'une *situation d'échec* (P_{PS}) pour les opérateurs de conduite et la probabilité de *non-récupération de la situation* par les acteurs chargés de la surveillance (P_{NRS}).

La récupération d'une *situation d'échec* des opérateurs de conduite dépend du superviseur (qui utilise des consignes identiques à celles des opérateurs) et du porteur¹³ de la consigne de surveillance permanente de l'état (SPE) qui est différente de celle du superviseur de manière à assurer une redondance humaine indépendante conformément à la doctrine en vigueur.

Or, la méthode HAMSTER fusionne les rôles du superviseur et du porteur de SPE et considère de manière systématique la possibilité d'une récupération d'une situation d'échec par ce dernier, même si la consigne qu'il utilise ne stipule pas le besoin de réaliser l'action visée. Aussi, la méthode HAMSTER ne permet pas d'attribuer au seul porteur de SPE le gain de fiabilité apporté par la redondance humaine et surestime son rôle pour les situations dans lesquelles, en l'absence de prescription dans ses procédures, le porteur de SPE ne peut intervenir de manière fiable dans la récupération.

Par ailleurs, l'IRSN souligne que les dépendances entre les actions humaines (pré ou post-accidentelles) ou entre les actions humaines et le contrôle-commande ne sont pas modélisées dans l'EPS de référence, ce qui constitue une limite importante de l'étude, notamment pour ses utilisations ultérieures.

Enfin, l'IRSN considère que la quantification des erreurs humaines pré-accidentelles, basée sur la modélisation d'un état pré-RP3¹⁴ des réacteurs et sans processus de collecte du retour d'expérience pour confirmer cette quantification, est assez incertaine.

Ces différents points pourront être traités par EDF en dehors du RP4 1300.

¹¹ HAMSTER : human action modelling – standardized tool for editing and recording.

¹² MERMOS : méthode d'évaluation de la réalisation des missions opérateurs pour la sûreté.

¹³ Le chef d'exploitation délégué applique la consigne en l'attente de l'arrivée de l'ingénieur sûreté.

¹⁴ État pré-RP3 : correspond à l'état des installations avant le troisième réexamen périodique.

6. ENSEIGNEMENTS DES EPS1 POUR LE RP4 1300

L'IRSN convient que la prise en compte des modifications prévues en RP4 1300, notamment les modifications dites « post Fukushima », entraîne une réduction importante des risques de fusion du cœur et de découvrement des assemblages de combustible dans la piscine BK, les résultats des études permettant de conforter l'atteinte des objectifs qu'EDF s'est fixés pour ce réexamen.

Pour ce qui concerne le risque de fusion du cœur, les scénarios qui voient leurs fréquences réduites de manière très significative sont les scénarios induits par la perte d'alimentations électriques. Cette réduction est due aux modifications post-Fukushima ainsi qu'à la fiabilisation de l'alimentation électrique de la ventilation des locaux électriques. D'autres modifications, encore à l'étude, visant à fiabiliser la conduite des situations de perte de la source froide, permettront de réduire encore le risque de fusion du cœur une fois prises en compte dans les EPS.

Le risque de découvrement des assemblages de combustible dans la piscine BK est notamment réduit par la modification RP4 1300 relative au système d'appoint d'eau ultime (SEG). Le risque prépondérant est le dénoyage d'un assemblage de combustible en cours de manutention, à la suite d'une vidange de la piscine due à une erreur de lignage ou une brèche sur un collecteur d'aspiration du système PTR. L'étude de ce scénario met en évidence l'importance de la fiabilité du signal de détection de la baisse de niveau dans la piscine BK, entraînant l'arrêt automatique des pompes PTR et la fermeture de la vanne située sur le circuit PTR à l'aspiration de la piscine (modification RP3 1300).

Il appartiendra à EDF de confirmer les résultats des EPS1 RP4 1300 une fois prise en compte la conception finalisée des modifications associées au RP4 1300 et la conduite associée.

7. CONCLUSION

En dehors des risques de surpression à froid du circuit primaire et des événements initiateurs de perte des tableaux secourus de 6.6 kV par défaillance de cause commune qui sont examinés par ailleurs, et compte tenu des engagements pris par EDF à l'issue de la présente expertise, l'IRSN considère que les EPS1 RP4 1300 réacteur et piscine BK participent de manière satisfaisante à la démonstration de l'atteinte des objectifs du RP4 1300.

Des améliorations ultérieures de ces études sont toutefois souhaitables de manière à accroître leur représentativité vis-à-vis de l'état réel des installations et de leur exploitation. Dans les futures applications des EPS1 RP4 1300, il appartiendra à EDF de tenir compte des limites de modélisation identifiées par l'IRSN.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2024-00012 DU 31 JANVIER 2024

Engagement principal de l'exploitant

À l'échéance de la TTS RP4 1300 phase A¹⁵, EDF mettra à jour le modèle EPS en vue des futures utilisations des EPS dans le cadre d'appuis (DMT STE, ANPE, etc.), en tenant compte d'une conception et d'une conduite finalisées pour les modifications RP4 1300.

Plus particulièrement, une mise jour de l'EPFH associée à la famille accidentelle H3¹⁶ sera réalisée une fois que les consignes APE¹⁷ seront disponibles. Une attention particulière sera notamment apportée aux points soulevés par l'IRSN (actions de délestage en situation H3, critères de couplage du LHT¹⁸).

Les éléments suivants seront également pris en compte lors de la mise à jour de ce modèle EPS.

1) Modélisation des dépendances fonctionnelles des alimentations électriques

Dans une démarche d'amélioration continue, EDF continuera à analyser les dépendances fonctionnelles lors de la mise à jour de son modèle EPS. Une attention particulière sera portée aux points relevés par l'IRSN lors de son expertise.

2) Perte du transformateur auxiliaire (TA) consécutive à la perte du tableau électrique LNH (220 V - voie B)

EDF analysera les séquences initiées par la perte du tableau 220V LNH, en tenant compte des actions de délestage prescrites par la règle de conduite et qui visent à garantir une marge suffisante vis-à-vis des capacités de réfrigération du TA.

3) Perte du TAS LLS¹⁹ induite par un déficit de vapeur consécutive à la défaillance de la TPS ASG

EDF mettra à jour le modèle EPS en intégrant ce mode de défaillance.

¹⁵ TTS RP4 1300 phase A : échéance de déploiement du premier lot de modifications associées au quatrième réexamen périodique du palier 1300 MWe.

¹⁶ Famille accidentelle H3 : cette famille regroupe les situations de pertes totales des alimentations électriques.

¹⁷ Consignes APE : consignes de conduite des opérateurs pour la gestion des situations accidentelles, sur la base d'une approche par état de l'installation.

¹⁸ LHT : système de substitution d'un diesel de secours.

¹⁹ TAS LLS : turboalternateur du système de production 380 V secours.