

Fontenay aux Roses, le 23 décembre 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2020-00212

Objet : REP - EDF – Palier 900 MWe – Comportement des joints des pompes primaires en cas de perte des alimentations électriques

Réf. [1] Saisine ASN - CODEP-DEP-048897 du 8 octobre 2020.
[2] Avis IRSN - 2019-00041 du 27 février 2019.
[3] Lettre ASN - CODEP-DCN-2020-004667 du 17 janvier 2020.
[4] Lettre ASN - CODEP-DCN-2019-013282 du 14 avril 2019

Dans le cadre de la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en première référence, qui demande à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) d'identifier les améliorations apportées par EDF à ses installations dix ans après l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi, le présent avis présente l'analyse des éléments présentés par EDF relatifs à la robustesse des joints d'arbre des groupes motopompes du circuit primaire (GMPP) des réacteurs de 900 MWe d'EDF¹, en situation de perte totale des alimentations électriques externes et internes ou de défaillance de cause commune des tableaux d'alimentation électrique LHA et LHB. L'IRSN a également analysé la prise en compte de ces éléments pour la conduite² de ces situations ainsi que des éléments de retour d'expérience national ou international relatifs au comportement en service des joints d'arbre des GMPP.

1. INTRODUCTION

Les tableaux LHA et LHB alimentent les systèmes de sauvegarde respectivement de la voie A et de la voie B.

Une situation dite H3 est une situation de perte de tension sur les tableaux électriques 6,6 kV LHA et LHB. Elle peut être occasionnée par :

- une perte totale des alimentations électriques externes et internes (PTAE) ; dans cette situation, le réseau électrique 400 kV est perdu ; l'îlotage (l'électricité produite par le réacteur est utilisée pour son propre fonctionnement) a échoué ; les alimentations internes (groupes électrogènes diesels de secours LHP et LHQ) n'ont pas fonctionné ;
- une défaillance de cause commune des tableaux LHA et LHB (dite situation DCC-LH).

¹ EDF n'a réalisé d'essais spécifiques que pour les réacteurs de 900 MWe.

² Les évolutions de conduite concernent les réacteurs à l'état VD4 (quatrième visite décennale).

La situation H3 est prise en compte dans le référentiel de sûreté. Dans cette situation, les trois fonctions fondamentales de sûreté que sont l'évacuation de la puissance résiduelle, la maîtrise de la réactivité et le confinement des substances radioactives doivent toujours être assurées.

Actuellement, chaque site de réacteurs de 900 MWe dispose d'un groupe électrogène d'ultime secours unique et autonome (GUS) permettant d'alimenter, sur un seul réacteur, dans un délai inférieur à quatre heures, le tableau LHA ou LHB.

Depuis 2015, EDF déploie, sur chacun de ses réacteurs, un groupe électrogène d'ultime secours à moteur diesel (DUS). Cet équipement, relevant du « noyau dur³ », a été conçu pour résister à des aléas extrêmes. L'installation des DUS est achevée pour les réacteurs de 900 MWe (elle le sera en février 2021 pour l'ensemble des réacteurs en exploitation). La mise en place des DUS ainsi que leur valorisation dans les procédures de conduite permettent de disposer d'un nouveau moyen de réalimentation électrique d'une partie des matériels de sauvegarde de chaque réacteur, y compris dans les situations H3 survenant sur l'ensemble du site. À l'état VD3 900, la réalimentation électrique des matériels par le DUS n'est pas automatique et nécessite un délai de mise en œuvre.

En situation H3, à l'état VD3-900, la conduite vise à atteindre une température de 190 °C et une pression de 45 bar dans le circuit primaire. Ces conditions permettent de garantir la tenue des joints des pompes primaires, même en l'absence d'injection aux joints, jusqu'à la restauration d'une source électrique.

Pour assurer le contrôle de la réactivité⁴, EDF a fait évoluer la conduite à l'état VD4, notamment en s'appuyant sur de nouvelles études de la robustesse des joints d'arbre des GMPP. Cette conduite consiste alors à rejoindre la température de 240 °C pour la branche froide du circuit primaire et à stabiliser le réacteur à cette température tant que l'alimentation électrique de secours n'a pas été récupérée. Ce point a fait l'objet de l'avis de l'IRSN en référence [2].

Les GMPP sont équipés d'un bloc de trois joints en série (n° 1, n° 2 et n° 3⁵), à fuite contrôlée, refroidis en permanence par une barrière thermique⁶ et par une injection d'eau froide assurée en fonctionnement normal par le circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV) du circuit primaire. L'étanchéité entre les différentes pièces en amont et aval de chacun de ces joints est assurée par des joints toriques en élastomère.

En situation H3, sur les réacteurs de 900 MWe, la fonction d'injection aux joints est assurée par la pompe RIS 011 PO, aussi appelée pompe de test, commune à deux réacteurs, alimentée par une turbine à l'état VD3 et par le DUS à l'état VD4. En cas de perte de l'injection d'eau froide au niveau du bloc de joints de GMPP, cela conduit à une remontée d'eau chaude provenant du circuit primaire au niveau des joints. Cette remontée d'eau chaude entraîne alors un risque de fuite ou de brèche non contrôlée du circuit primaire au niveau des joints des GMPP. Cette perte d'injection pourrait être consécutive à la perte de la pompe de test à la suite d'une situation H3 survenant sur un réacteur, ou à une situation H3 survenant sur deux réacteurs.

2. COMPORTEMENT DES JOINTS DES GMPP

L'expertise menée par l'IRSN a porté sur le comportement en situation H3 des joints 7 pouces des GMPP de type 93D équipant les réacteurs de 900 MWe. Le joint n° 1 assure l'essentiel de l'étanchéité en service d'un GMPP. Il est constitué de deux « glaces » en céramique, l'une fixe et l'autre tournant sur l'arbre de pompe.

³ Dans le cadre du retour d'expérience de l'accident de Fukushima en 2012, l'ASN a adressé à l'ensemble des exploitants d'installations nucléaires de base un jeu de prescriptions techniques pour définir un « noyau dur » de dispositions matérielles et organisationnelles visant à augmenter la robustesse des installations face à des situations extrêmes. En 2014, l'ASN a adressé un second jeu de prescriptions techniques afin de définir les exigences associées au noyau dur.

⁴ Le palier intermédiaire à la température de 240 °C a pour objectif d'assurer le contrôle de la fonction de sûreté réactivité (plus la température baisse, plus la réactivité augmente), en attendant de retrouver une alimentation électrique à partir d'un tableau LH.

⁵ Ces joints assurent une étanchéité progressive du circuit primaire en limitant la fuite primaire (quelques centaines de L/h/pompe).

⁶ La barrière thermique est un échangeur eau/eau refroidi par un circuit auxiliaire. Ce circuit est indisponible en situation H3.

2.1. DEMARCHE D'EDF

Le retour d'expérience des joints d'arbre de pompe primaire, avec notamment des incidents survenus au Bugey en 1979 et à Tihange en 1982 et 1983, a mis en évidence la faiblesse des « glaces » en alumine du joint n° 1, celle des joints toriques situés en périphérie des joints d'arbre, ainsi que celle des joints n° 2, entraînant des dégradations importantes assorties de la libération de particules solides et de fuites importantes (de l'ordre de la dizaine de m³/h) au niveau du circuit primaire. L'impact d'une éventuelle perte d'alimentation en eau froide au niveau des joints d'arbre des GMPP en situation H3 a alors fait l'objet d'études et d'essais, notamment sur des boucles d'essais situées à Montereau (entre 1982 et 1987) et à Gennevilliers (en 1992 et en 1993).

Au début des années 2000, EDF a procédé au remplacement des glaces des joints n° 1 en alumine par des glaces en nitrure de silicium et a mis en place des joints toriques « haute température » présentant de meilleures performances et une meilleure longévité en exploitation.

De 2014 à 2020, EDF a réalisé un nouveau programme d'essais, afin de caractériser le comportement des nouveaux joints de GMPP vis-à-vis d'un risque de brèche primaire, sur une boucle d'essais située à Karlstein (Allemagne). EDF souhaite ainsi démontrer le gain pour la sûreté de ces nouveaux joints.

2.2. NOUVEAUX ESSAIS REALISES SUR LE COMPORTEMENT DES JOINTS DE GMPP

Les nouveaux essais réalisés par EDF sur la boucle de Karlstein s'inscrivent dans une démarche de valorisation des joints des pompes primaires dans des conditions plus pénalisantes que celles résultant de leur domaine de conception, en considérant des situations sans refroidissement de l'hydraulique de la GMPP (barrière thermique inefficace et absence d'injection d'eau au niveau des joints des pompes primaires (IJPP)).

Ainsi, lors des essais réalisés sur la boucle, une arrivée d'eau chaude à 300 °C sur les joints des GMPP est provoquée, puis différents paliers de température et de pression sont réalisés afin de mesurer le débit de fuite des joints de GMPP. Les durées des paliers sont définies sur la base des différentes conduites enveloppes appliquées visant à atteindre un état de repli sûr du réacteur.

L'analyse qualitative des résultats met en évidence une bonne reproductibilité du comportement des joints des GMPP, lors des sept essais réalisés. EDF a synthétisé l'ensemble des résultats d'essais sous la forme d'un « gabarit de débit de fuite maximal⁷ » qui permet d'estimer des débits de fuite de GMPP dans différentes configurations de température et de pression. Pour EDF, les scénarios pris en compte dans les études sur le long terme sont ainsi validés.

À la suite de ces essais, l'expertise des glaces du joint n° 1 a mis en évidence un phénomène de « corrosion hydrothermale⁸ » lorsque la température est supérieure à 200 °C ; ce phénomène s'accélère au-delà. Cela a pour conséquence d'augmenter progressivement le débit de fuite du joint n° 1. EDF indique que les joints auraient alors un débit de fuite notable en cas de maintien durable du circuit primaire à des températures et des pressions élevées. Par ailleurs, aucun « effet falaise⁹ » n'a été détecté lors de ces essais.

Les analyses des essais présentées par EDF n'appellent pas de remarque. Toutefois l'IRSN relève que l'isolement complet de la ligne de retour du joint n° 1 n'a pas été simulé. De ce fait, les essais apportent des informations limitées sur le comportement du joint n° 2.

⁷ Ce débit est fonction des conditions thermo-hydrauliques régnant dans le circuit primaire ainsi que du temps écoulé après la perte du refroidissement des blocs de joints de GMPP.

⁸ Les faces actives des glaces en nitrure de silicium se dégradent lentement, provoquant une modification géométrique de leur profil au niveau de l'interface qui a pour conséquence l'augmentation progressive du débit de fuite.

⁹ Effet falaise : dans ce contexte, effet conduisant à une rupture brutale de l'évolution du débit de fuite.

Les essais réalisés conduisent à différentes cinétiques de dépressurisation du circuit primaire. L'IRSN note que ces cinétiques sont compatibles avec les différents scénarios de conduite définis par EDF.

Néanmoins, EDF n'a pas communiqué à l'IRSN la synthèse des résultats des trois derniers essais réalisés en 2019 et 2020. L'IRSN estime qu'EDF devrait rédiger une note de synthèse et d'analyse pour l'ensemble des essais réalisés sur la boucle de Karlstein. **Sur ce point, l'IRSN formule l'observation n° 1 en annexe 3.**

Pour ce qui concerne les joints toriques, selon EDF, leur défaillance éventuelle provoquerait une fuite parasite au niveau d'une étanchéité secondaire des blocs de joints de GMPP. Dès 2010, de nouveaux essais ont été réalisés afin de garantir leur bon comportement. Des essais, réalisés avec des pressions comprises entre 200 et 250 bar et jusqu'à 300 °C pendant 74 heures, ont permis de démontrer leur bon comportement.

Sur ce point, l'IRSN considère qu'EDF devrait fournir un dossier de synthèse du comportement des joints toriques à base de polymères résistant à « haute température » en situation H3 sans IJPP. **EDF a pris à cet égard l'engagement n° 1 rappelé en annexe 1 qui est satisfaisant.**

3. CONDUITE A L'ETAT VD4 900

L'état initial le plus pénalisant avant l'occurrence d'une situation H3 est le fonctionnement à puissance nominale (304,6 °C et 155 bar dans le circuit primaire).

L'IRSN a examiné les conduites en situation H3 (PTAE et DCC-LH), avec et sans fonctionnement de l'IJPP.

3.1. SITUATION DE PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES AVEC FONCTIONNEMENT DE L'IJPP

En situation H3, la pompe de test démarre automatiquement et assure le refroidissement des joints de GMPP. EDF estime que la pompe de test a un débit initial de refoulement de 5,4 m³/h. Ce débit doit ensuite être réduit par les opérateurs de conduite afin de réguler le niveau du pressuriseur et éviter son remplissage.

L'IRSN considère que la faisabilité de la régulation du débit de refoulement de la pompe de test par les opérateurs sur toute la plage de débits prévue dans la conduite des situations H3 doit faire l'objet de vérifications, notamment aux faibles débits.

Dans ce cadre de la présente expertise, EDF a pris sur ce point l'engagement n° 2 rappelé en annexe 1. L'IRSN précise toutefois que des éléments plus complets sont attendus dans le cadre de la réponse à la demande de l'ASN formulée **dans sa lettre en référence [3] et rappelée en annexe 2.**

L'IRSN estime par ailleurs que la pompe de test n'a pas un taux de fiabilité adapté au regard des enjeux de sûreté. De plus cette pompe, commune à deux réacteurs, ne peut être utilisée que pour un seul réacteur à la fois.

En 2020, dans le cadre de la stratégie de conduite des dispositions du noyau dur pour la prévention de la fusion du combustible pour les réacteurs de 900 MWe, et en réponse notamment à la demande de l'ASN formulée dans la lettre en référence [4], EDF s'est engagé à mettre en œuvre, pour l'ensemble de ces réacteurs, un moyen de secours de l'injection aux joints des groupes motopompes primaires permettant d'injecter en situations « noyau dur », de l'eau borée lorsque le circuit primaire est à haute pression. Ce moyen sera déployé entre 2025 et 2030, et pourra être utilisé en situation H3.

Dans l'attente de ce moyen d'injection à haute pression, l'IRSN considère qu'EDF devrait fournir un bilan matériel détaillé de la pompe de test conduisant à d'éventuelles actions de maintenance complémentaires. Il formule ainsi l'observation n° 2 en annexe 3.

3.2. SITUATION DE PERTE DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES SANS IJPP

En cas de défaillance à la sollicitation ou en fonctionnement du secours de l'IJPP par la pompe de test, l'eau chaude du circuit primaire va remonter dans le dispositif d'étanchéité du GMPP entraînant rapidement une augmentation significative du débit de fuite des joints de GMPP. Les nouveaux essais réalisés par EDF montrent que ce débit de fuite s'accroît si la température du circuit primaire est supérieure à 200 °C.

L'IRSN considère qu'EDF doit tenir compte des enseignements de ces nouveaux essais dans la conduite des réacteurs dont l'un des objectifs est le maintien de l'inventaire en eau du circuit primaire. En particulier, la température de 240 °C (palier de stabilisation) envisagée par EDF pour les réacteurs de 900 MWe à l'état VD4 est trop élevée en cas de défaillance de l'IJPP, car elle conduirait à un débit de fuite aux joints important dégradant l'inventaire en eau. Par ailleurs, le repli du circuit primaire sous 200 °C nécessite au préalable une injection d'eau borée à haute pression pour la maîtrise de la réactivité. **En l'absence de cette injection à haute pression, et malgré le risque de dégradation des joints conduisant à une perte de l'inventaire en eau, EDF considère que le palier de température stabilisée à 240 °C est nécessaire pour la maîtrise de la réactivité.**

Ce constat conforte l'IRSN quant à l'importance de la mise en œuvre d'un moyen d'injection haute pression en bore plus fiable que la pompe de test actuelle, et pour chaque réacteur, prévu aujourd'hui par EDF au titre du noyau dur. Un tel moyen devra permettre de s'affranchir, en situation H3, du risque de retour en criticité du réacteur tout en autorisant le repli à une température inférieure ou égale à 200 °C garantissant la tenue des joints des pompes primaires sans injection.

4. RETOUR D'EXPERIENCE RECENT SIGNIFICATIF

4.1. LE RETOUR D'EXPERIENCE D'EDF

Lors des arrêts des réacteurs n° 2 et n° 3 de Cruas de 2020 pour maintenance et rechargement de combustible, EDF a détecté une forte dégradation du joint flottant n° 2 pour le réacteur n° 2 ainsi qu'une usure anormale du joint flottant n° 3 pour le réacteur n° 3. Les premières investigations d'EDF permettent d'exclure un mode commun de dégradations. EDF estime que ces dégradations ont eu lieu en fonctionnement normal ou lors de l'arrêt des GMPP. L'IRSN estime que ce type de dégradation pourrait avoir des conséquences significatives lors d'une situation H3. **L'IRSN considère ainsi qu'EDF devra présenter l'origine des dégradations des joints de GMPP observées.** De plus, EDF devra en tirer les conséquences vis-à-vis de la gestion de la situation H3. **EDF a pris en ce sens l'engagement n° 3 rappelé en annexe 1 pour le réacteur n° 2 de Cruas, qui est acceptable,** le joint n° 3 présentant peu d'enjeu vis-à-vis des débits de fuite considérés.

Enfin, EDF s'est engagé à transmettre un bilan du retour d'expérience des joints de GMPP jugé significatif au titre du dossier de robustesses des joints de GMPP. **Sur ce point, EDF a pris l'engagement n° 4 rappelé en annexe 1 qui est satisfaisant.**

4.2. LE RETOUR D'EXPERIENCE INTERNATIONAL

EDF précise que le retour d'expérience à l'international ne sera pas disponible avant la fin 2020. Néanmoins, EDF cite le retour d'expérience du réacteur n° 1 de Maanshan (Taiwan) du 18 mars 2001 relatif à une perte totale des alimentations électriques sans IJPP pendant une durée de deux heures. Les GMPP installés à Maanshan sont très proches de ceux installés sur les réacteurs de 900 MWe du parc d'EDF. D'après EDF, l'événement a mis en évidence un bon comportement des joints de GMPP et leur expertise a montré l'absence de dégradation dans ces conditions incidentelles. Néanmoins, EDF n'a pas produit de rapport d'analyse de cet événement. **Pour ce qui concerne le retour d'expérience international, EDF a pris l'engagement n° 4 en annexe 1, déjà cité au paragraphe précédent, qui est satisfaisant.**

5. CONCLUSION

EDF a réalisé, de 2014 à 2020, un programme d'essais, sur une installation située à Karlstein en Allemagne, afin de caractériser la robustesse des nouveaux joints installés sur les arbres de groupe motopompe primaire des réacteurs de 900 MWe vis-à-vis d'un risque de brèche primaire. Ces essais ont été réalisés dans des conditions pénalisantes, sans refroidissement du bloc des joints de GMPP. Ces essais visaient à tester le comportement des blocs des joints au-delà de leur référentiel de conception, qui ne prévoyait pas de perte complète de leur refroidissement. EDF conclut de ces essais que les joints équipant les GMPP sont adaptés aux situations qu'ils sont susceptibles de rencontrer à l'état VD3 900 et VD4 900. **Sur la base des essais réalisés et des documents communiqués, l'IRSN considère que la conclusion d'EDF est acceptable, moyennant une conduite appropriée des situations de perte de sources électriques.**

À cet égard, les essais réalisés montrent un accroissement des débits de fuite au-delà de 200 °C. **Aussi l'IRSN estime préférable, dans la conduite des réacteurs en situation de perte totale des alimentations électriques, d'atteindre le plus rapidement possible une température du circuit primaire inférieure à 200 °C. Cela nécessite de disposer d'une injection fiable d'eau froide borée à haute pression au niveau des joints de GMPP et d'un réglage précis de cette injection afin d'éviter le remplissage du pressuriseur.**

Enfin, l'IRSN rappelle l'importance de la mise en œuvre, dans le cadre du noyau dur, d'un nouveau moyen d'injection de secours en eau froide borée à haute pression, et ce pour chaque réacteur de 900 MWe.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjointe au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2020-00212 DU 23 DÉCEMBRE 2020

Engagements de l'exploitant

Engagement n° 1

EDF rédigera une note de synthèse de vérification du comportement des joints toriques des joints de GMPP en situation H3 sans IJPP (échéance du 30 septembre 2021).

Engagement n° 2

EDF réalisera un essai en usine afin de démontrer la capacité de la pompe de test à fonctionner à un débit de refoulement de 1 m³/h environ et à une pression primaire minimum de 120 à 135 bar, valeur de pression calculée pour une situation H3 avec IJPP (échéance en juin 2021).

Engagement n° 3

EDF réalisera une expertise du joint n° 2 du second GMPP du réacteur n° 2 de Cruas (échéance 1^{er} trimestre 2021).

Engagement n° 4

EDF rédigera une note de synthèse relative au retour d'expérience d'exploitation national et international des joints de GMPP (échéance de fin décembre 2020).

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2020-00212 DU 23 DÉCEMBRE 2020

Rappel d'une demande de l'ASN

Rappel de la demande n° A2-1.4.2 de la lettre CODEP-DCN-2020-004667 du 17 janvier 2020

L'ASN vous demande de transmettre, avant fin 2020, l'étude justificative de l'exhaustivité des situations de remplissage du pressuriseur prises en compte à la conception des règles et consignes de conduite en situation d'accident. Cette étude devra être accompagnée de la démonstration de la faisabilité technique et de la fiabilité du réglage de la pompe RIS 011 PO aux valeurs préconisées par les procédures de conduite lorsque celle-ci fonctionne en mode d'injection aux joints en cas de situation de perte des tableaux secourus LHA et LHB.

ANNEXE 3 À L'AVIS IRSN N° 2020-00212 DU 23 DÉCEMBRE 2020

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN estime qu'EDF devrait rédiger une note de synthèse et d'analyse présentant le comportement des blocs des joints de GMPP, pour l'ensemble des essais réalisés à Karlstein.

Observation n° 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait analyser les causes de la mauvaise fiabilité de la pompe de test RIS 011 PO. Cette analyse devrait permettre de déterminer si sa maintenance est adaptée et, le cas échéant, de décider d'actions de maintenance complémentaires à réaliser.