

Fontenay-aux-Roses, le 12 novembre 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00159

Objet :	EDF – Projet EPR2 – Qualification du bloc-joints hydrodynamique des groupes motopompes primaires.
Réf. :	Saisine ASN – CODEP-DCN-2023-051757 du 21 septembre 2023.

Dans le cadre du projet de réacteur EPR2, EDF a transmis la version préliminaire du rapport de sûreté dont un chapitre est consacré aux groupes motopompes primaires (GMPP). Chaque GMPP est composé de trois éléments majeurs : la pompe, le système d'étanchéité de la ligne d'arbre et le moteur. Le système d'étanchéité de la ligne de l'arbre des GMPP de l'EPR2 est constitué de trois joints hydrodynamiques et d'un dispositif d'étanchéité à l'arrêt (DEA). L'ensemble des trois joints hydrodynamiques est communément appelé bloc-joints. EDF a transmis la note de synthèse de qualification (NSQ) du bloc-joints, ainsi qu'une note d'accompagnement. Par la saisine en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) d'expertiser la qualification, réalisée par EDF, du bloc-joints aux conditions normales de fonctionnement et aux conditions accidentelles des futurs réacteurs EPR2.

1. ÉVOLUTION DU BLOC-JOINTS DES GMPP

Le rôle du bloc-joints des GMPP est d'assurer l'étanchéité entre le circuit primaire et l'enceinte du bâtiment réacteur. Ils sont constitués de trois étages de joints. Sur le parc en exploitation, les bloc-joints sont constitués d'un joint n° 1 de type hydrostatique¹ et de deux joints (joints n° 2 et n° 3) de type hydrodynamique².

Pour le projet EPR2, EDF prévoit d'utiliser, pour le bloc-joints, trois joints hydrodynamiques. Selon EDF chaque étage du bloc-joints est capable de tenir à la pression du circuit primaire. À la différence des bloc-joints des réacteurs du parc en exploitation, une unique ligne de fuite est située à la sortie du joint n° 3. Sur le parc en exploitation, il y a trois lignes de fuite situées au niveau de chaque étage du bloc-joints. Afin d'empêcher la remontée du fluide primaire le long de l'arbre du GMPP, du fluide est injecté par la pompe RCV³ entre la barrière

¹ Un joint hydrostatique est un joint tournant constitué de deux faces en mouvement relatif et dont le film d'eau dans l'interface convergente est créé par une pression extérieure (dans le cas des GMPP des réacteurs en exploitation, il s'agit d'une pression d'injection de l'ordre de 157 bar).

² Un joint hydrodynamique est un joint tournant constitué de deux faces en mouvement relatif et dont le film d'eau est généré par le mouvement relatif entre les deux faces. Dans le cas des joints n° 2 et n° 3, les joints sont à faces frottantes (frottement mixte) car le film d'eau n'est pas suffisant pour écarter complètement les deux faces.

³ RCV : Système de contrôle chimique et volumétrique.

thermique⁴ et le joint n° 1. Le débit d'injection est de 1800 l/h à une pression supérieure à la pression du circuit primaire (158 bar). La répartition du débit est d'environ 1/3 vers le bloc-joint et 2/3 vers le circuit primaire.

EDF a indiqué que ces bloc-joints sont déjà installés sur des réacteurs à l'étranger et qu'ils présentent un retour d'expérience positif.

2. SÉQUENCE D'ESSAIS

La méthode de qualification retenue par EDF pour justifier la qualification du bloc-joints des GMPP des futurs réacteurs EPR2 est la méthode dite mixte. EDF s'est donc appuyé sur une séquence d'essais et sur des calculs, notamment pour déterminer le profil en pression et température applicable en conditions accidentelles. EDF a réalisé la séquence d'essais sur un bloc-joints complet identique à ceux qui seront utilisés sur les futurs réacteurs. EDF a également réalisé des essais préalables sur un seul étage de joint afin d'anticiper le comportement d'un bloc-joints complet. EDF considère que les conditions d'ambiance prises en compte pour la démonstration de la qualification sont enveloppes de celles prévues pour le projet EPR2. **À ce stade, conformément à la demande de l'ASN, l'IRSN n'a pas expertisé les conditions d'ambiance retenues par EDF. Si les études futures devaient les remettre en cause, il sera de la responsabilité d'EDF de justifier que le bloc-joints reste qualifié.**

La séquence de qualification par essai retenue par EDF est la suivante :

- qualification aux conditions normales de fonctionnement :
 - essai de fonctionnement 24 h dans les conditions normales de fonctionnement,
 - essai avec simulation d'un ou deux joints défaillants,
 - essai en épreuve hydraulique,
 - essais d'endurance dans les conditions normales de fonctionnement,
 - essais d'endurance dans les conditions aux limites de fonctionnement,
 - essais d'endurance en eau froide,
 - essais de décélération de la pompe lors d'un transitoire de pression,
- qualification aux conditions accidentelles
 - essai en conditions thermohydrauliques accidentelles,
 - essai en conditions accidentelles d'ambiance dégradée.

L'objectif de durée de vie des bloc-joints visé par EDF est de 10 ans. L'IRSN rappelle que lors de la deuxième phase des essais à chaud de l'EPR FA3, réalisés en préalable au démarrage du réacteur, EDF a constaté un phénomène vibratoire niveau des GMPP. Ce phénomène peut entraîner une usure prématurée du bloc-joints et donc réduire sa durée de vie. Lors de la qualification du bloc-joints du projet EPR2, EDF n'a pas pris en compte ce retour d'expérience. EDF indique qu'une action est en cours pour réduire ce phénomène vibratoire pour le projet EPR2. Toutefois, EDF précise que si ce phénomène vibratoire se présentait également sur le projet EPR2 alors l'applicabilité de la NSQ des joints HD serait à revoir. **Ceci est satisfaisant pour l'IRSN.**

EDF a également précisé que les joints toriques et les bagues anti-extrusion équipant le bloc-joints ont été préalablement vieillis en température et sous rayonnement afin de simuler une durée de vie de 10 ans, puis installés sur le bloc-joints en début de séquence d'essais. Cela signifie que ce sont des joints déjà vieillis qui ont subi toute la séquence d'essai, y compris les essais simulant les situations accidentelles. Les autres éléments constituant le bloc-joints sont soit en acier inoxydable austénitique, soit en acier inoxydable martensitique. Les glaces⁵ flottantes et tournantes sont respectivement en carbure de tungstène et en graphite. Pour EDF, ces matériaux ne sont pas sensibles au vieillissement. **Ceci est satisfaisant pour l'IRSN.**

⁴ Barrière thermique : échangeur de chaleur permettant de maintenir les parties supérieures de la pompe à une température modérée.

⁵ Les glaces sont les parties frottantes qui enserrant le film d'eau.

L'IRSN a constaté que les essais n'avaient pas été réalisés avec de l'eau borée alors qu'EDF indique qu'il peut y avoir un risque de cristallisation du bore en cas de perte du balayage au joint n° 3. Sur ce point, EDF a apporté des éléments au cours de l'expertise afin de justifier que le risque de cristallisation du bore est écarté. EDF s'est notamment appuyé sur le retour d'expérience positif de fonctionnement de bloc-joints du même type installés sur des réacteurs à l'étranger ne bénéficiant pas de ligne de balayage, contrairement à ceux des futurs réacteurs EPR2. De plus, le retour d'expérience d'un réacteur de type EPR en Chine a montré qu'il n'y avait pas de trace de bore au niveau du joint n° 3 après la mise en service et un cycle d'exploitation. **La justification d'EDF de réaliser les essais en eau claire et non en eau borée n'appelle plus de remarque de la part de l'IRSN.**

Pour l'IRSN, la séquence d'essais retenue par EDF pour justifier la qualification des bloc-joints aux conditions normales et accidentelles de fonctionnement est conforme à ce qui est habituellement réalisé lors de la qualification d'un matériel. Il a en particulier bien été considéré que la situation accidentelle peut arriver en fin de vie du matériel. **La séquence d'essais retenue par EDF n'appelle donc pas de remarque de la part de l'IRSN.**

3. RÉSULTATS D'ESSAIS

EDF indique que les différents essais de référence ont permis de connaître le débit de fuite au niveau du joint n° 3 et le débit circulant dans la ligne d'étagement⁶, en fonctionnement nominal ou bien en simulant diverses défaillances d'étages du bloc-joints. Les résultats présentés par EDF permettent de vérifier le respect des valeurs requises.

EDF a également réalisé des essais d'endurance, sur une durée supérieure à 800 h. Les essais d'endurance ont été réalisés à différentes températures au niveau de la cavité du joint n° 1. Lors de ces essais d'endurance, il a également été réalisé les transitoires suivants :

- transitoires de déplacement axial de l'arbre ;
- transitoires de déplacement radial de l'arbre ;
- transitoires de variation de la vitesse de rotation de l'arbre ;
- transitoire d'arrêt/démarrage du GMPP ;
- transitoires de montée/descente en pression du circuit primaire ;
- transitoire de fermeture intempestive de la ligne d'étagement.

Selon, EDF tous ces transitoires sont enveloppes des situations qui pourraient être rencontrées par le bloc-joints lors de l'exploitation des futurs réacteurs EPR2.

Les résultats de ces essais sont conformes aux attentes et montrent que, dans toutes ces situations, le débit de fuite au niveau du joint n° 3 est très faible, de l'ordre de 2 l/h.

Les essais de qualification aux conditions accidentelles ont été réalisés sur le même bloc-joints que celui qui a été utilisé pour la qualification aux conditions normales de fonctionnement. C'est donc un matériel vieilli qui a fait l'objet des essais. La situation accidentelle retenue est le manque de tension généralisé (MDTG). Le liquide injecté dans la cavité du joint n° 1 suit un profil de température et pression enveloppe des conditions d'accident estimées à l'aide d'un logiciel sur une durée de 360 h. Les résultats d'essais indiquent que lors des 96 premières heures, lorsque la pression est supérieure à 80 bar, le débit de fuite au niveau du joint n° 3 est nul. Lorsque la pression est inférieure à 80 bar, le débit de fuite augmente légèrement pour atteindre 1 l/h jusqu'à la fin de l'essai.

EDF indique que l'expertise du bloc-joints après les essais n'a pas mis en évidence de signe de dégradation.

⁶ La ligne d'étagement est disposée en parallèle de la garniture mécanique de chaque joint. L'ajustement de ses caractéristiques dimensionnelles permet de fixer la perte de charge de chaque étage de joint à la valeur désirée.

EDF précise que les bloc-joints sont équipés de joints toriques, dont l'un des modes de défaillance est leur extrusion. Lors des essais de tenue aux conditions accidentelles, réalisés sur le bloc-joints complet, ce mode de défaillance n'a pas pu être évalué. C'est pour cette raison qu'EDF a également réalisé un essai d'extrusion sur ces joints qui ont préalablement subi un vieillissement en température et sous rayonnement simulant 10 ans de fonctionnement. Selon EDF, lors de l'essai, il n'y a pas eu de chute de pression et par conséquent pas de fuite au niveau des joints. De plus, l'inspection visuelle indique que les joints ne sont pas rompus ; ils présentent seulement de légères traces de craquelures et de délamination ainsi qu'une très légère marque d'extrusion.

Pour l'IRSN, les résultats présentés par EDF démontrent une grande stabilité du comportement du bloc-joints pour toutes les conditions de fonctionnement testées. Le scénario choisi pour la situation accidentelle est identique à celui retenu lors des études du comportement des bloc-joints du parc en exploitation et permet de maximiser les débits de fuite du fluide primaire au niveau des joints. **Il n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

L'IRSN constate que pour la situation accidentelle testée, le bloc-joints des futurs réacteurs EPR2 présente un comportement amélioré par rapport à ceux du parc en exploitation. En effet, le débit de fuite au niveau du joint n° 3 reste très faible, voire nul, et aucune dégradation des glaces n'est constatée. En comparaison, pour les bloc-joints des réacteurs du parc en exploitation, le débit de fuite dans les mêmes conditions peut être de plusieurs tonnes par heure et un phénomène d'érosion des glaces peut se produire lorsque la température au niveau des joints est supérieure à 200 °C.

Pour l'IRSN, le bon comportement des bloc-joints des futurs réacteurs EPR2 mis en évidence lors des essais de qualification devrait permettre d'avoir une meilleure gestion de l'inventaire en eau du circuit primaire en situation accidentelle.

4. CONCLUSION

Dans le cadre du projet de réacteur EPR2, EDF a fait le choix d'équiper les GMPP de bloc-joints constitué de trois joints hydrodynamiques. EDF a réalisé une qualification de ce bloc-joints afin de démontrer son bon fonctionnement en condition normale et accidentelle de fonctionnement. À ce stade, conformément à la demande de l'ASN, l'IRSN n'a pas expertisé les conditions d'ambiance retenues par EDF. Si les études futures devaient les remettre en cause, il sera de la responsabilité d'EDF de justifier que le bloc-joints reste qualifié.

Nonobstant, pour toutes les conditions testées, les essais n'ont mis en évidence aucune dégradation significative des composants des bloc-joints. Les résultats d'essais ont également montré une grande stabilité du comportement du bloc-joints avec des débits de fuites qui restent nettement inférieurs aux valeurs requises, y compris en situation accidentelle. Pour l'IRSN le bon comportement du bloc-joints devrait donc permettre d'avoir une meilleure gestion de l'inventaire en eau du circuit primaire en situation accidentelle.

Ainsi, à l'issue de son expertise, l'IRSN considère que le bloc-joints des futurs réacteurs EPR2 est qualifié aux conditions normale et accidentelle de fonctionnement définies par EDF.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté