

Fontenay-aux-Roses, le 14 juin 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00083

Objet	EDF – REP – INB 167 – Risque de corrosion sous contrainte des tuyauteries du circuit primaire principal sur l'EPR FA3 – Expertise des volets matériaux, chimie et contrôles « point zéro ».
Réf.	[1] Saisine ASN – CODEP-DEP-2023-013894 du 27 mars 2023 [2] Avis IRSN N° 2022-00189 du 14 septembre 2022 [3] Avis IRSN N° 2023-00067 du 12 mai 2023

Fin 2021, lors de la deuxième visite décennale du réacteur N° 1 de Civaux, EDF a détecté des fissures de corrosion sous contrainte (CSC) aux abords de plusieurs soudures du système d'injection de sécurité (RIS)¹ connecté au circuit primaire principal (CPP) en branche froide (BF), ainsi qu'aux abords de certaines soudures du système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA). À la suite de la détection de ce nouveau mode d'endommagement des lignes auxiliaires du CPP, EDF a engagé un programme de contrôle pour l'ensemble du parc électronucléaire français qui vise à établir un état des lieux pour la fin 2025. Les contrôles réalisés par EDF depuis fin 2021 permettent d'établir un état des lieux intermédiaire qui montre que les tronçons non isolables² des lignes RIS BF et RRA en branche chaude (BC) des réacteurs de 1450 MWe et de 1300 MWe sont affectés, à des degrés divers, par de la CSC en milieu primaire nominal. Les paramètres influents identifiés à ce jour (les matériaux, le milieu et les contraintes) peuvent entraîner par leur présence simultanée l'apparition d'une fissuration intergranulaire. Dans ce contexte, l'ASN souhaite évaluer l'adéquation des dispositions prises par EDF pour assurer la maîtrise du risque de CSC dans les tuyauteries du CPP de l'EPR de Flamanville (EPR FA3) et les actions complémentaires nécessaires d'être déployées dans cet objectif.

Par la lettre en référence [1], l'ASN a sollicité l'avis de l'IRSN sur les volets suivants :

- Volet matériaux, en particulier sur l'effet de l'arasage des soudures et des réparations de celles-ci ;
- Volet chimie, en particulier sur l'influence de l'oxygène et les dispositions de conception ou d'exploitation prises par EDF, ainsi que sur les écarts survenus lors de la réalisation des essais à chaud ;

¹ Le circuit RIS a pour fonction d'injecter de l'eau à forte concentration en bore en cas de baisse de pression anormale du circuit primaire. Cette injection « de sécurité » est destinée à refroidir le cœur et à maîtriser sa réactivité, notamment en cas de brèche sur le circuit primaire.

² Un élément/tuyauterie non isolable ne peut pas être isolé du CPP du fait de l'absence d'un organe d'isolement de type clapet, vanne ou soupape entre l'élément/tuyauterie et le reste du circuit.

- Volet contrôle point zéro³, en particulier sur le procédé ultrasonore d'examens non destructifs (END), la stratégie d'exploitation des résultats des contrôles point zéro et l'extension du périmètre des contrôles point zéro.

Le périmètre de l'expertise de l'IRSN porte sur les tuyauteries du CPP non isolables, c'est-à-dire les soudures du CPP, de la ligne d'expansion du pressuriseur (LEP), du système d'injection de sécurité et de refroidissement à l'arrêt (RIS/RA), du système de contrôle chimique et volumétrique (RCV) et du système d'aspersion du pressuriseur (ASP PZR). L'analyse de l'IRSN repose sur les connaissances du phénomène de CSC sur le parc en exploitation acquises jusqu'à fin mars 2023.

1. VOLET MATÉRIAUX

Les fissures de CSC constatées sur les systèmes RIS des réacteurs du parc en exploitation s'initient et se propagent depuis la paroi interne des tuyauteries et aux abords des soudures non arasées principalement. Sur l'EPR FA3, les soudures du CPP et des tuyauteries auxiliaires non isolables sont arasées pour diminuer la sensibilité à la fatigue, ainsi que pour simplifier l'acquisition et l'analyse des résultats des examens non destructifs par ultrasons. Les arasages en paroi interne sont effectués soit manuellement, soit par un robot lorsque les soudures ne sont pas accessibles manuellement. L'arasage interne des soudures est une des principales mesures mise en avant par EDF pour réduire la sensibilité à la CSC lors des opérations de fabrication.

L'IRSN constate que le REX disponible sur le parc en exploitation porte principalement sur les soudures non arasées. Le faible nombre de soudures arasées examinées par EDF ne permet pas de conclure sur l'influence de l'arasage à partir de ce REX. Or l'arasage est une opération d'apparence simple qui conditionne en fait certaines propriétés influençant l'état de la matière arasée (métallurgie, niveaux de contraintes résiduelles⁴, écrouissage⁵) et le risque de CSC. L'IRSN identifie plusieurs paramètres qui doivent être choisis et maîtrisés lors de l'arasage pour limiter le risque de CSC comme le type d'outil, la charge imposée à l'outil, la vitesse de coupe, la vitesse d'avance de l'outil, l'angle d'outil avec la pièce, le cycle thermique. Tenant compte des conditions de mise en œuvre différentes sur l'EPR FA3 de celles sur le parc en exploitation, l'IRSN estime nécessaire que les propriétés telles que le niveau de contrainte résiduelle ou l'écrouissage générées par l'opération d'arasage robotisé soient caractérisées, eu égard au risque d'amorçage de la CSC, **ce qui amène l'IRSN à formuler la recommandation N° 1 en annexe. En conclusion, en l'état des connaissances actuelles sur les procédés d'arasage mis en œuvre sur l'EPR FA3, l'IRSN ne peut garantir que l'arasage permette de se prémunir, de manière certaine, du risque de CSC.**

La découverte de deux fissures de CSC de grande dimension dont l'une de hauteur 23 mm (soit 85 % de l'épaisseur) aux abords d'une soudure du réacteur N° 1 de Penly a conduit EDF à considérer cinq catégories de réparation des soudures par ordre de sévérité vis-à-vis de la propagation de fissure de CSC sur le parc en exploitation. Ainsi, la fissure mentionnée supra fait partie de la catégorie 1, la plus sévère, et présente potentiellement les contraintes résiduelles les plus élevées.

À la demande de l'IRSN, EDF a transmis une catégorisation des soudures réparées des tuyauteries non isolables du CPP de l'EPR FA3 selon la même catégorisation que sur le parc en exploitation. À ce jour, EDF n'envisage pas de réaliser de contrôle sur les soudures les plus réparées de chaque ligne. **L'IRSN considère que les soudures les plus réparées par ligne devront faire l'objet d'un contrôle point zéro. Ce point fait l'objet de la recommandation N° 2 en annexe.**

³ Ces contrôles point zéro permettent d'établir l'état initial des abords de soudure vis-à-vis de la présence d'indications de type CSC et dans le but de constater ou non une évolution lors du suivi en service.

⁴ La notion de contrainte résiduelle désigne généralement l'état de contrainte (compression ou traction) d'un matériau lorsqu'il n'est soumis à aucune charge externe.

⁵ L'écrouissage d'un métal est le durcissement d'un métal ductile sous l'effet de sa déformation plastique (déformation permanente).

2. VOLET CHIMIE

EDF définit les paramètres chimiques à surveiller durant l'exploitation du réacteur afin de garantir la qualité du fluide primaire pour, en particulier, maîtriser le risque de corrosion. Les spécifications chimiques, requises au titre des spécifications techniques d'exploitation (STE)⁶, précisent notamment les valeurs attendues ou les valeurs limites de ces paramètres, la périodicité d'analyse et la conduite à tenir en cas de dépassement d'une valeur attendue ou d'une valeur limite.

En septembre 2022, une expertise de l'IRSN [2] a conclu que la présence d'oxygène dissous (DO) dans le fluide primaire constitue un aggravant au risque de CSC dans les circuits en acier inoxydable austénitique, tels que ceux du système RIS. Pour l'EPR FA3, les prescriptions sont renforcées dans les spécifications chimiques par l'ajout du paramètre DO à contrôler au titre des STE. De plus, à la différence du parc, **des mesures en continu de ce paramètre sont réalisées sur la ligne de charge RCV, ce qui, pour l'IRSN, constitue une amélioration significative par rapport à la situation du parc en exploitation.** En effet, la charge RCV est la principale voie d'entrée des eaux d'appoint⁷ dans le CPP et donc de l'oxygène dissous. En cas de dépassement de la valeur limite, la conduite à tenir au titre des STE est de réaliser des mesures DO dans le CPP et de rechercher la cause d'apport d'oxygène dissous, ce qui est également une amélioration par rapport à la situation du parc en exploitation. Enfin, certaines améliorations de conception ont été apportées pour mieux maîtriser la présence de l'oxygène dissous dans le circuit primaire. Par exemple, à la différence des réacteurs de 1300 MWe et 1450 MWe les plus touchés par la CSC, l'ajout d'un ciel d'azote sur les bâches de stockage REA⁸ permet de limiter l'injection d'oxygène dissous dans le CPP. **En conclusion, les dispositions prises en exploitation pour l'EPR permettront de mieux connaître la teneur réelle en oxygène dissous en entrée du CPP, de limiter la présence d'oxygène dans les bâches d'appoint et donc de mieux maîtriser le risque lié à ce paramètre influent de la CSC par rapport aux réacteurs du parc en exploitation.**

Plusieurs écarts ont été constatés par EDF lors des phases d'essais à chaud, en particulier des dépassements des valeurs limites en oxygène fixées dans les STE sur la charge RCV et au niveau du pressuriseur. Ces dépassements sont ponctuels et sur une courte durée. **Toutefois, l'IRSN estime que les dépassements en DO doivent alerter sur la nécessaire maîtrise de ce paramètre vis-à-vis du risque de CSC, lors des phases à venir d'essais avant démarrage.**

3. VOLET CONTRÔLES POINT ZÉRO

Le procédé END utilisé pour les contrôles point zéro est nommé « *Uta* » (ultrasons amélioré) et est similaire à celui mis en œuvre sur le parc en exploitation, qui a fait l'objet d'une expertise de l'IRSN [3]. Cette expertise doit être complétée pour le cas des soudures arasées du système RIS sur EPR FA3. Ceci nécessite la transmission de fichiers d'acquisition typiques de ces cas et de leurs analyses par EDF en préalable, non disponible à la date de l'expertise.

Le périmètre des contrôles point zéro déjà engagés sur l'EPR FA3 concerne uniquement des soudures des lignes RIS, soit 12 soudures dont quatre réparées. Elles ont été sélectionnées par EDF selon leur sensibilité relative à la stratification thermique, phénomène qui, selon EDF, est le principal contributeur au déclenchement de la CSC sur les réacteurs du parc en exploitation.

⁶ Les spécifications techniques d'exploitation (STE) définissent les règles qui doivent être observées pendant l'exploitation normale du réacteur, afin de garantir notamment le fonctionnement correct des systèmes importants pour la sûreté.

⁷ Lors du fonctionnement du réacteur, les variations de températures et la maîtrise de la chimie en exploitation nécessitent des appoints d'eau dans le circuit primaire. Ces eaux sont apportées par le circuit REA.

⁸ Le circuit REA s'alimente auprès de bâches d'eaux d'appoint qui permettent d'injecter respectivement, une eau pure, bêche dite REA eau, ou une eau notablement chargée en acide borique, bêche dite REA bore.

À la suite des analyses présentées dans les volets matériaux et chimie, l'IRSN estime qu'EDF devrait étendre les contrôles point zéro aux soudures les plus réparées et les plus soumises à un environnement chimique défavorable (c'est-à-dire à des teneurs en oxygène supérieures aux STE). **Ce point est intégré à la recommandation N° 2 formulée en annexe.**

4. CONCLUSION

Dans le but de prendre des dispositions pour maîtriser le risque de CSC sur l'EPR FA3, EDF a réalisé des contrôles point zéro sur 12 soudures arasées du système RIS sélectionnées selon leur sensibilité relative à la stratification thermique. À la suite de son expertise, l'IRSN considère que, d'une part en l'état des connaissances actuelles sur les procédés d'arasage, cette disposition mise en œuvre sur les soudures des tuyauteries du CPP non isolables de l'EPR FA3 ne permet pas d'éliminer de manière certaine le risque de CSC, d'autre part les soudures les plus réparées par ligne devront faire l'objet d'un contrôle point zéro. Enfin, le périmètre de contrôle des soudures devra être étendu aux soudures des branches primaires principales du CPP les plus soumises à un environnement chimique défavorable. L'IRSN encourage également EDF à compléter son programme de contrôles point zéro en cohérence avec la stratégie définie pour le parc en exploitation.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2023-00083 DU 14 JUIN 2023

Recommandations de l'IRSN

Recommandation N° 1

L'IRSN recommande qu'EDF quantifie les niveaux de contraintes résiduelles de surface et d'érouissage générés par l'opération d'arasage robotisé selon les procédures en vigueur sur le réacteur EPR de Flamanville sur un coupon représentatif des soudures concernées. À partir de ces résultats, EDF se positionnera sur l'effet de cette opération sur le risque d'amorçage de la CSC.

Recommandation N° 2

L'IRSN recommande qu'EDF réalise un contrôle point zéro des soudures les plus réparées par ligne ou potentiellement exposées à des taux importants d'oxygène dissous. EDF mettra en œuvre ces contrôles *a minima* sur les soudures suivantes :

- 1C03R2 et 4U02R des branches primaires ;
- SL07 de la ligne d'expansion du pressuriseur ;
- RIS4560TY-F05-S102R2 du système d'injection de sécurité et de refroidissement du réacteur à l'arrêt ;
- RCV6413TY-F01-F301 et RCV6414TY-F01-F201 du système de contrôle volumétrique et chimique ;
- RCP6120TY-F02-S101R2 et RCP6120TY-F02-S103R du système d'aspersion du pressuriseur.