

Fontenay-aux-Roses, le 1^{er} avril 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00066

Objet : EDF – REP – Corrosion sous contrainte des tuyauteries auxiliaires du circuit primaire principal
Analyse des procédés d'examen ultrasonore « optimisés ».

Réf. : Saisine ASN - CODEP-DEP-2022-001563 du 11 février 2022.

Lors des examens ultrasonores de l'abord de soudures des lignes du circuit d'injection de sécurité » (RIS¹) du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Civaux, des défauts ont été détectés par EDF. L'expertise métallurgique, engagée à la suite de la détection de ces défauts, a révélé que ceux-ci étaient des fissures de corrosion sous contrainte (CSC). Or la corrosion sous contrainte est un mode d'endommagement qui résulte généralement de l'action conjuguée d'une contrainte mécanique et d'un milieu agressif vis-à-vis du matériau. Ce mode d'endommagement n'était toutefois pas envisagé pour l'acier inoxydable des lignes RIS, celui-ci étant peu sensible à la CSC au contact du fluide primaire.

Historiquement, pour ces soudures, des examens non destructifs étaient réalisés à titre préventif pour détecter des fissures provenant d'un mode d'endommagement par fatigue thermique selon un procédé d'examen ultrasonore qualifié². Pour EDF, ce procédé dit « *historique* » n'est pas optimisé pour la détection de fissure de CSC car la morphologie de cette fissure est différente de celle, plus régulière, d'une fissure par fatigue thermique.

En effet, une fissure de CSC se caractérise par :

- un faciès intergranulaire : la fissuration peut être très fine et progresse de façon sinueuse en suivant les joints de grains ;
- une configuration généralement multi-amorcée : plusieurs fissures s'initient et progressent conjointement, les fissures peuvent se ramifier et peuvent coalescer ;
- une orientation pouvant être complexe, globalement perpendiculaire à la direction des contraintes de traction, affectée également par les caractéristiques du matériau proche de la soudure.

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. En fonctionnement normal, il n'y a aucune circulation d'eau dans ces lignes.

² La qualification des procédés d'examen consiste à établir de façon sûre les performances d'examen en recueillant l'avis d'un groupe d'experts indépendants (commission de qualification) sur la base de l'examen d'un dossier justificatif technique. Cette qualification répond à une exigence réglementaire pour les contrôles périodiques du circuit primaire principal.

Pour détecter des fissures de CSC, EDF a alors développé un procédé d'examen non destructif par ultrasons dit « *optimisé* ».

Par la saisine en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a souhaité connaître l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le procédé d'examen non destructif par ultrasons dit « *optimisé* », actuellement mis en œuvre pour détecter la fissuration par CSC des lignes auxiliaires du circuit primaire principal (CPP).

1. PROCÉDÉ D'EXAMEN OPTIMISÉ

Pour être en capacité de détecter de façon fiable des fissures de CSC dans les lignes auxiliaires du CPP, EDF a modifié le procédé d'examen qualifié pour la détection des fissures de fatigue. Les principales modifications apportées au procédé « *historique* » qualifié sont :

- une meilleure sensibilité de l'examen ;
- une estimation plus enveloppe de la longueur des indications.

L'IRSN considère que l'augmentation de la sensibilité du procédé d'examen est de nature à augmenter les capacités de détection des fissures de CSC initiées en paroi interne des tuyauteries auxiliaires du circuit primaire principal.

Le procédé dit « *optimisé* » d'examen est mis en œuvre dans le cadre d'un programme d'expertise pour la recherche de fissures de CSC dans les tuyauteries auxiliaires du circuit primaire. **Si le procédé d'examen « *optimisé* » devenait pérenne, l'IRSN considère qu'il devrait faire l'objet d'une qualification afin d'apporter toutes les garanties sur les performances revendiquées. Ce point conduit l'IRSN à formuler une observation en annexe 2.**

2. CARACTÉRISATION DES INDICATIONS ULTRASONORES

Lors des examens non destructifs, la phase de détection est complétée par une phase de caractérisation qui a pour objectif de fournir des éléments sur la nature des indications détectées. Celles-ci peuvent correspondre soit à un artefact³ des contrôles soit à la confirmation de la détection d'un défaut. La phase de caractérisation « *historique* » prévoit, en complément des examens pour la détection, l'utilisation de traducteurs ultrasonores en ondes inclinées à des fréquences plus élevées que celle utilisée lors de la phase de détection. Les informations complémentaires sont utilisées pour discriminer un artefact d'un défaut.

Les informations recueillies par EDF sur la CSC des lignes auxiliaires du CPP, fondées notamment sur la relecture des rapports d'examens réalisés lors des visites décennales précédentes et les expertises métallurgiques de tronçons déposés, montrent que le procédé de caractérisation des indications ne permet pas de caractériser de façon fiable une fissure de CSC. Une fissure de CSC pourrait en effet être caractérisée comme une indication parasite par le procédé de caractérisation.

L'IRSN observe que la caractérisation des indications notables réalisée par EDF est un processus complexe nécessitant plusieurs examens manuels complémentaires, en utilisant successivement des traducteurs de fréquence centrale 2,25, 5 et 10 MHz, pour discriminer un défaut d'une indication dite « *parasite* » (ou artefact).

³ Un artefact ne correspond pas à un défaut recherché. En contrôle ultrasonore, un artefact peut provenir, par exemple, d'une réflexion sur une singularité géométrique, notamment dans le cas d'un cordon de soudure non arasé.

Quelques-unes des difficultés pour la caractérisation des indications sont listées ci-dessous :

- raccordement de coudes avec des rayons de courbure différents en intrados et en extrados ;
- variation d'épaisseur entre les coudes et les tronçons droits ;
- pente de délardage⁴ variable ;
- variabilité des géométries de ragréage⁵ ;
- bruit de structure (échos rétrodiffusés par la structure métallurgique) et atténuation dans la soudure ;
- présence d'une passe de racine de soudage non arasée (première passe de soudage).

Ce dernier point peut conduire à observer une zone échogène appelée également « écho de géométrie » qui peut se confondre avec la réponse ultrasonore d'un défaut plan de type fissure.

L'IRSN partage avec EDF le constat que la zone à examiner présente des caractéristiques géométriques et métallurgiques qui contribuent aux difficultés de caractérisation d'une indication. Cependant, des indications identifiées comme des échos de géométrie doivent être vues systématiquement à chaque réalisation d'examen. À cet égard, à la lecture de certains rapports d'examen, l'IRSN constate que des indications caractérisées comme parasites (interprétées comme provenant d'écho de géométrie) lors de la deuxième visite décennale ne l'étaient pas lors de la première visite décennale, alors que le programme d'examen en vigueur lors des deux visites était identique.

De plus, l'atténuation acoustique est un phénomène bien connu pour l'examen ultrasonore des aciers inoxydables de type 304L ou 316L, ce qui conduit généralement à limiter, pour les pièces épaisses, la fréquence d'examen pour des examens manuels avec des capteurs mono-éléments à 5 MHz environ. L'utilisation de traducteurs mono-élément de fréquence centrale plus élevée pour des pièces épaisses conduit à une atténuation significative. **En conséquence, l'IRSN formule des réserves sur l'intérêt d'un examen manuel à l'aide de traducteurs mono-élément de fréquence centrale élevée pour des tuyauteries épaisses en acier inoxydable. L'IRSN observe également que l'utilisation de traducteurs ultrasonores de fréquence élevée est en dehors du périmètre qualifié, ce qui, en l'absence d'un dossier de justification technique, n'apporte pas une garantie en termes de caractérisation.**

Par ailleurs, l'IRSN note que le gain d'examen pour les traducteurs complémentaires est réglé à partir du niveau de bruit de fond⁶, ce qui ne garantit pas un gain élevé si le matériau présente un fort bruit de structure. La démarche habituelle est de fixer un gain d'examen⁷ de manière à garantir la sensibilité ciblée pour l'examen et de vérifier a posteriori que le bruit ne dépasse pas un certain niveau afin d'obtenir un rapport signal sur bruit satisfaisant. **L'IRSN considère que le réglage du gain d'examen à partir du niveau de bruit de fond pour la caractérisation des indications ne présente pas une garantie suffisante en termes de sensibilité et pourrait conduire à classer abusivement des fissures de CSC comme des indications parasites.**

L'IRSN émet par conséquent de nombreuses réserves techniques sur la pertinence des examens complémentaires réalisés à des fréquences élevées et dans le but de discriminer une fissure d'une indication parasite. Or la multiplication des examens n'est pas en cohérence avec le principe d'optimisation de la dosimétrie des contrôleurs. De ce fait, l'IRSN formule une recommandation sur ce point en annexe 1.

En complément, l'IRSN constate que le procédé « optimisé » prévoit un arrêt des examens réalisés sur une soudure dès que la présence d'un défaut potentiel est confirmée. Le statut de la soudure devient alors « hors

⁴ Usinage interne et externe des tuyauteries en préparation au soudage.

⁵ Meulage externe des soudures pour adoucir la géométrie de raccordement.

⁶ Le niveau de bruit de fond correspond, pour un contrôle ultrasonore, au signal ultrasonore obtenu pour une pièce sans défaut.

⁷ Réglage du niveau de réception du signal ultrasonore.

critères » et les examens sont arrêtés quel que soit leur état d'avancement. Cette disposition conduit à limiter la dosimétrie des intervenants. **L'IRSN considère que cette disposition est pertinente.**

3. CONCLUSION

EDF a adapté de manière réactive le procédé d'examen des lignes auxiliaires du circuit primaire principal afin de prendre en compte un nouveau mécanisme d'endommagement, à savoir la fissuration par corrosion sous contrainte de l'acier inoxydable aux abords des soudures en milieu primaire. Ce type d'endommagement n'était pas attendu pour ces lignes et le retour d'expérience international de l'exploitation des réacteurs à eau sous pression reste très limité en la matière.

Le nouveau procédé d'examen dit « *optimisé* » apporte une plus grande sensibilité de détection et une estimation plus enveloppe de la longueur des défauts.

Toutefois, IRSN estime qu'EDF réalise plusieurs examens non justifiés au regard du principe d'optimisation de la dosimétrie des contrôleurs.

En revanche, l'arrêt des examens dès que la présence d'un défaut potentiel est confirmée conduit à limiter la dosimétrie des intervenants. Pour l'IRSN, cette disposition est conforme au principe d'optimisation de la radioprotection.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté



Hervé BODINEAU
2022.04.01
18:13:51 +02'00'

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00066 DU 1^{ER} AVRIL 2022

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF optimise les doses reçues par les intervenants lors des examens réalisés selon les procédures dite « optimisées » et mises en œuvre lors des prochains arrêts de réacteur en réduisant le nombre d'examens complémentaires pour discriminer un défaut d'un artefact.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00066 DU 1^{ER} AVRIL 2022

Observation de l'IRSN

L'IRSN estime qu'EDF devrait qualifier sa procédure d'examen optimisée dans le cas d'une utilisation pérenne de celle-ci.