

**GROUPE PERMANENT D'EXPERTS POUR LES EQUIPEMENTS SOUS
PRESSION NUCLEAIRES**

**Avis relatif aux suites du dossier « fissuration par corrosion
sous contrainte de portions des tuyauteries primaires en
acier inoxydable de réacteurs à eau sous pression »**

Réunion tenue à Montrouge et en visioconférence le 7 juin 2024.

I

Conformément à la saisine du 23 mai 2024 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) référencée CODEP-DEP-2024-026267, le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GPESPN) s'est réuni le 7 juin 2024, avec la participation de membres du Groupe permanent pour les réacteurs (GPR), à propos du phénomène de corrosion sous contraintes (CSC) affectant des tuyauteries auxiliaires en acier austénitique du circuit primaire principal de différents réacteurs à eau sous pression du parc d'EDF. Dans ce cadre, l'ASN a souhaité recueillir l'avis du Groupe permanent sur les points ci-après :

- Le caractère suffisant des mesures prises par EDF sur le suivi de la composition chimique du fluide primaire des réacteurs, en lien avec le risque d'apparition de fissures de CSC ;
- Les actions d'EDF relatives à la prise en compte du risque de fissuration par CSC sur le réacteur EPR de la centrale de Flamanville ;
- Les mesures à prendre au stade de la conception et de la fabrication de nouveaux réacteurs (ou lors d'opérations de maintenance sur des réacteurs existants) afin de prévenir le risque de CSC, particulièrement dans le contexte des projets de réacteurs EPR2 ;
- Les mesures à prendre, lors de la réalisation d'opérations de maintenance sur les réacteurs du parc, afin de prévenir le risque de CSC.

La saisine de l'ASN encourageait également le Groupe permanent à formuler son avis sur la stratégie de contrôle en service prévue par EDF.

II

Le Groupe permanent a pris connaissance des rapports de l'ASN et de l'IRSN.

Le Groupe permanent a notamment entendu les éléments présentés par l'ASN et l'IRSN portant sur :

- la mise à jour des informations et connaissances disponibles sur la problématique depuis les précédentes réunions des GPESPN des 22 septembre et 13 octobre 2022 et des 25 et 26 mai 2023 ;
- la stratégie de contrôle d'EDF concernant d'une part les tuyauteries RIS et RRA de plus de huit pouces, et d'autre part les autres tuyauteries en acier inoxydable austénitique du CPP des réacteurs ;
- les mesures prises par EDF sur le suivi de la composition chimique du fluide primaire des réacteurs, en lien avec le risque d'apparition de fissures de CSC ;

- les mesures prises afin de prévenir le risque de fissuration par CSC sur le réacteur EPR Flamanville 3 ;
- les mesures à prendre au stade de la conception et de la fabrication de nouveaux réacteurs afin de prévenir le risque de fissuration par CSC, particulièrement dans le contexte des projets de réacteurs EPR2 ;
- les mesures à prendre, lors de la réalisation d'opérations de maintenance sur les réacteurs du parc, afin de prévenir le risque de fissuration par CSC.

III

Réacteurs en exploitation - Chimie

Le Groupe permanent relève que les points de prélèvement retenus par EDF pour le programme de suivi renforcé de la teneur en oxygène dissous du fluide primaire se situent l'un en branche chaude, l'autre en branche froide, en amont du piquage RCV qui est à l'origine des principales entrées d'oxygène dans le fluide primaire. Ainsi, ces points de mesure ne permettent pas de caractériser l'effet des appoints en eau sur la teneur en oxygène en branches froides.

Par ailleurs, ces points de mesure ne renseignent pas directement sur la teneur en oxygène dans les zones d'intérêt que constituent les tuyauteries auxiliaires.

Il formule à cet égard la recommandation n°1.

Le Groupe Permanent considère également que le nombre de réacteurs actuellement retenu pour le programme de suivi renforcé de la teneur en oxygène dissous du fluide primaire n'est pas suffisant pour être représentatif de la dispersion possible entre les réacteurs.

De plus, le Groupe Permanent considère que le déploiement de ce programme sur un cycle ne permettra pas d'établir de corrélation robuste entre les mesures de la teneur en oxygène dissous et les différents modes de conduite ou états (RP, AN/GV, API et AN/RRA) des réacteurs. Certains états de fonctionnement pour lesquels les phénomènes de radiolyse dans le cœur sont moins actifs que dans l'état RP (réacteur en puissance) pourraient conduire à introduire de l'oxygène en branche chaude.

Il formule à cet égard la recommandation n°2.

Le Groupe permanent considère enfin, s'agissant de mieux caractériser l'influence d'apports d'oxygène sur le développement de fissures de CSC en milieu REP, que des investigations ou recherches seraient à mener en conditions contrôlées.

Réacteurs en exploitation – Phénomènes thermohydrauliques

Le Groupe permanent note que les phénomènes thermohydrauliques dans les tuyauteries, tels que la stratification thermique, sont susceptibles d'induire des chargements de nature à favoriser le développement de fissures de CSC. Il rappelle à cet égard son avis de mai 2023 exprimant l'intérêt d'améliorer la caractérisation de ces phénomènes.

Il note que le programme d'instrumentation mis en œuvre par EDF couvre un faible nombre de réacteurs et de tuyauteries. De plus, les premiers résultats du programme d'instrumentation des tuyauteries sur le parc en service ont conduit à constater que des températures peuvent être très différentes de ce qui était estimé sur le tracé des tuyauteries RIS BF de certains réacteurs des paliers P4 et N4, ce qui illustre les limites dans la capacité à positionner et quantifier les phénomènes thermohydrauliques dans les bras morts, et les chargements qui en résultent.

Le Groupe permanent considère que la réunion programmée en novembre 2024 devrait permettre une présentation plus détaillée de ce programme d'instrumentation, de ses résultats et de ses perspectives.

Projet EPR2 - Phénomènes thermohydrauliques

Le Groupe permanent souligne l'intérêt d'améliorer la connaissance des chargements thermohydrauliques qui seront propres à ce réacteur en s'appuyant sur un programme d'instrumentation et a pris note des évolutions de conception apportées en vue d'en limiter l'occurrence et l'amplitude.

Il formule à cet égard la recommandation n°3.

Projets EPR2 - Opérations de montage des tuyauteries

Le Groupe permanent note qu'EDF s'est engagé à optimiser les procédés de soudage qui seront mis en œuvre pour la réalisation des fabrications pour les réacteurs EPR2, de sorte à limiter les déformations

et les contraintes résiduelles liées au soudage, mais que le choix des procédés de soudage ne pourra être explicité par EDF qu'au moment de la sélection du titulaire du contrat en 2025.

Il rappelle également que les fissures de CSC découvertes lors des expertises réalisées sur les soudures du parc ont montré que certaines réparations par soudage augmentent significativement le risque d'amorçage et de propagation de CSC.

Aussi, le Groupe permanent considère qu'il est nécessaire d'identifier les modes de réparation qui sont les plus susceptibles de perturber les contraintes résiduelles de soudage et l'écroutissage en vue de limiter le recours à ces modes de réparation dans les zones de sensibilité avérée au regard des modes de dégradation qui s'initient en peau interne comme la fatigue ou la CSC.

Il formule à cet égard les recommandations n°4 et 5. Le Groupe permanent estime que les résultats de ces travaux ont vocation à être mis en œuvre sur les réacteurs du parc, dans le cas d'interventions de remplacement.

S'agissant plus largement des opérations de montage des tuyauteries, le Groupe permanent relève que des déplacements importants ont été relevés lors des démontages des tuyauteries RIS et RRA sur le parc en service. Cela traduit, pour les localisations concernées, l'application d'efforts significatifs pour l'accostage des tuyauteries lors du montage, générant des contraintes résiduelles importantes.

Le Groupe permanent note également que l'ASN a mis en évidence lors d'inspections une forte hétérogénéité des dispositions mises en œuvre pour accoster les tuyauteries lors des remplacements des tronçons des tuyauteries des systèmes RIS et RRA affectées par la fissuration par CSC.

Le Groupe permanent considère, notamment au vu de l'hétérogénéité des dispositions de mise en œuvre observées sur site par l'ASN, qu'EDF devra préciser les dispositions qui seront applicables aux opérations de montage des tuyauteries auxiliaires du CPP de l'EPR2 dans les zones sensibles à des modes de dégradation tels que la fatigue et la CSC de manière à limiter les déplacements imposés aux tuyauteries et les contraintes induites.

S'agissant des opérations d'arasage des soudures en paroi interne, le Groupe permanent rappelle les conclusions issues du GPESPN des 20 & 21 juin 2023 selon lesquelles des contraintes résiduelles de traction (circonférentielles ou axiales) peuvent apparaître à la suite de certaines opérations d'arasage, comme cela a été mis en évidence par l'expertise de l'IRSN. Il considère ainsi qu'il est nécessaire de qualifier ces opérations préalablement à leur mise en œuvre sur des soudures de production, dans l'objectif de démontrer que l'état résiduel dans lequel le matériau sera laissé (état de surface, écroutissage, contraintes...) n'est pas de nature à favoriser l'amorçage de fissures.

EPR2 - Contrôlabilité des soudures

Le Groupe permanent estime que les dispositions de suivi en service des réacteurs EPR2 devront considérer le risque de fissuration par fatigue et par CSC. Or, la mise en œuvre de tels contrôles sur le parc a mis en évidence que leur facilité de mise en œuvre dépend directement de l'état final des soudures, comme la géométrie de leur surface externe et de leurs abords.

Le Groupe permanent attire ainsi l'attention sur l'intérêt de considérer dès la fabrication des tuyauteries les exigences qui pourraient découler du besoin de mise en œuvre de tels procédés de contrôle. Compte tenu du requis général de contrôlabilité des ESPN formulé dans la réglementation, et dans une perspective d'homogénéisation des exigences, il suggère d'en considérer l'extension à l'ensemble des tuyauteries en acier inoxydable du CPP des réacteurs EPR2.

Annexe

Recommandation 1

Le Groupe permanent rappelle sa recommandation sur l'importance à accorder à l'usage d'eau désaérée dans les bâches REA eau et bore. En l'état des connaissances, et compte tenu des difficultés de mesure de l'oxygène dissous dans les zones d'intérêt, il recommande que soit adoptée une démarche de minimisation du terme source en oxygène et qu'un projet à cet effet soit élaboré par l'exploitant.

Recommandation 2

Compte tenu des modes d'exploitation des réacteurs du parc français, notamment le suivi de charge, qui conduisent à des volumes importants d'eau injectée dans le circuit primaire, le Groupe permanent recommande, en complément à la démarche de minimisation objet de la recommandation n°1, que l'exploitant renforce son programme de recueil et de suivi de la teneur en oxygène du CPP dans les domaines d'arrêt tels que AN/GV, AN/RRA, API du réacteur en visant un recueil de données permettant d'aboutir à une base suffisante sur le plan statistique.

Recommandation 3

Considérant l'importance d'apprécier la présence et l'ampleur des phénomènes thermohydrauliques locaux susceptibles d'affecter les lignes RIS des réacteurs EPR2 après intégration des évolutions de conception définies par EDF pour deux de ces lignes, le Groupe permanent recommande de prévoir une campagne d'instrumentation de leur température dès la mise en service, afin de les caractériser pendant les différentes phases de fonctionnement du réacteur (démarrage, phase d'arrêt, pleine puissance, ...). Les résultats correspondants seront à prendre en compte pour vérifier la validité des hypothèses retenues dans les analyses de comportement.

Recommandation 4

Le Groupe permanent recommande qu'EDF précise l'encadrement du choix des procédés de soudage qui seront retenus par les prestataires en charge de la réalisation des tuyauteries auxiliaires du CPP de l'EPR2 dans des zones sensibles à des modes de dégradation tels que la fatigue et la CSC. En particulier,

la limitation des contraintes résiduelles et de l'écroissage en peau interne devrait être pris en compte comme des paramètres de la qualification du ou des modes opératoires retenus.

Recommandation 5

Le Groupe permanent recommande qu'EDF formule, préalablement à la réalisation des fabrications des tuyauteries en acier inoxydable des réacteurs EPR2, une classification des modes de réparation par soudage au regard de leur impact sur les contraintes résiduelles de soudage et évite ou encadre strictement l'usage des procédés à plus fort impact.

Membres du GPESPN ayant participé à la rédaction de l'avis

M. SCHULER Président
M. SORRO Vice Président

M. BALAHY
M. BILLON
M. BODINEAU
M. BUISINE
M. CASSAGNES
M. CHALLOT
M. COUPLET
M. CROMER
Mme DROBYSZ
M. GIRAUD
M. GONDARD
M. HOUZÉ
M. HYVERT
M. LEBLANC
M. LOISEAU
M. LONGIN
M. NEDELEC
M. PAYEN
M. PITOISET
M. PLANTEVIN
M. ROTTER
M. ROUSSEL
M. SPIESS

Membres du GPR ayant participé à la rédaction de l'avis

M. CHARLES Président
M. SIDANER Vice-président

M. BOSSU
M. COURTIN
M. DE L'EPINOIS
M. NEDELEC
M. NICAISE
M. RAYMOND
M. SEKRI
M. SEVESTRE