

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

**Avis et recommandations relatifs aux fissures de corrosion  
sous contraintes (CSC) détectées sur des tuyauteries  
auxiliaires en acier austénitique du circuit primaire principal  
de différents réacteurs à eau sous pression du parc d'EDF**

Réunion tenue à Montrouge et en visioconférence les 22 et 23 septembre

## I

Conformément à la saisine du 9 août 2022 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) référencée CODEP-DEP-2022-039910, le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) s'est réuni les 22 et 23 septembre 2022, avec la participation de membres du groupe permanent pour les réacteurs (GPR), pour traiter 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 GP sur :

- la nécessité de tenir compte des contraintes résiduelles dans les calculs dit « réalistes » de détermination de la résistance à la rupture brutale ;
- l'étendue du programme proposé pour confirmer les propriétés mécaniques des matériaux retenus dans les études mécaniques, différentes des valeurs tabulées dans le code RSE-M. Concernant ce point, en l'état d'avancement de l'instruction de ce sujet, l'ASN a réduit le champ de l'examen à l'applicabilité des valeurs de ténacité qui seront obtenues dans le cadre du programme d'essais obtenus à partir d'éprouvette pré-fissurée en fatigue à des fissures amorcées par CSC ;
- la nécessité de prendre des dispositions d'exploitation permettant de réduire le risque de CSC en garantissant la maîtrise du taux d'oxygène dans les eaux d'appoint du fluide primaire.

## II

Le Groupe permanent a pris connaissance de l'état des lieux du phénomène précité, du courrier de stratégie d'EDF du 13 juillet 2022, du courrier de position de l'ASN du 26 juillet 2022 et des avis de l'IRSN référencés dans la saisine.

Le Groupe permanent a notamment entendu les éléments présentés par EDF portant sur :

- les contrôles et expertises réalisés et les conclusions tirées pour les circuits d'injection de sécurité (RIS) et de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) ;
- la connaissance relative à l'occurrence du phénomène pour les circuits autres que RIS et RRA ;
- le développement des essais non destructifs (END) ;
- la cinétique du phénomène ;
- les résultats des calculs mécaniques relatifs à l'amorçage des défauts ;
- les conséquences pour la sûreté de la rupture de deux lignes RIS postulées défailtantes pour les réacteurs de 1300MWe ;
- les mesures particulières d'exploitation mises en œuvre pour éviter et détecter au plus tôt des fuites des circuits affectés de défauts ;

- la stratégie de maintenance et de suivi en exploitation jusqu'à fin 2022 et à compter de 2023.

Il a également entendu les conclusions de l'IRSN portant sur :

- l'analyse de sûreté associée aux conséquences potentielles de l'écart observé ;
- les mesures particulières mises en œuvre sur le parc en exploitation afin de limiter les risques liés à la CSC ;
- l'analyse des causes – volet chimie du fluide primaire ;
- la démarche d'analyse du risque de rupture brutale des soudures affectées par la CSC.

### III

En fin d'année 2021, dans le cadre de la deuxième visite décennale du réacteur Civaux 1 ainsi que durant la troisième visite décennale du réacteur Penly 1, des contrôles périodiques ont révélé la présence de défauts dans des tuyauteries des circuits RIS du circuit primaire principal des réacteurs, caractérisés par la suite comme des fissures.

EDF avait présenté, lors d'une séance d'information du Groupe permanent qui s'est tenue le 11 mars 2022, l'état des connaissances concernant le phénomène observé, confirmé comme résultant d'un mécanisme de corrosion sous contraintes. Des membres du groupe permanent pour les réacteurs avaient participé à cette réunion.

Depuis fin 2021, EDF a engagé un programme approfondi de contrôle et d'expertise pour faire progresser sa connaissance du phénomène et de ses implications à l'échelle du parc. La stratégie de contrôle déployée au début de l'année 2022 a permis de couvrir les différents paliers de réacteurs. Elle a notamment conduit EDF à procéder à des découpes de tuyauteries affectées sur un échantillon représentatif des défauts observés.

Ces expertises et les analyses réalisées par EDF étaient indispensables pour étayer sa stratégie de contrôle. Elles ont conduit EDF à considérer la géométrie des tuyauteries, la température en fonctionnement et les contraintes thermomécaniques auxquelles elles sont soumises, comme les principaux facteurs discriminants influant sur l'apparition de la CSC. EDF identifie comme étant les plus sensibles :

- les lignes du circuit RIS situées en branche froide et les lignes d'aspiration du circuit RRA des quatre réacteurs du palier N4 ;
- les lignes du circuit RIS situées en branche froide des réacteurs du palier P'4.

Les autres circuits de ces réacteurs et les circuits des autres réacteurs sont considérés par EDF comme peu sensibles ou très peu sensibles.

Quelle qu'en soit la cause, la rupture complète d'une ligne du circuit RIS ou RRA est couverte par la démonstration de sûreté des réacteurs. Compte tenu du phénomène observé, EDF a réalisé des études des conséquences de la rupture de deux lignes du circuit RIS pour les réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe. Ces études, réalisées avec des hypothèses dites réalistes, concluent au respect des critères de sûreté de 4<sup>ème</sup> catégorie. Des études similaires sont en cours pour les réacteurs N4.

De plus, EDF a déployé des mesures particulières d'exploitation pour les réacteurs en fonctionnement. Ces mesures visent à détecter au plus tôt les fuites qui pourraient survenir au niveau de ces fissures et à limiter les transitoires qui pourraient conduire à solliciter de manière importante de telles fissures.

## **Prise en compte des contraintes résiduelles dans les calculs dit « réalistes » de détermination de la résistance à la rupture brutale**

Pour ce qui concerne l'évaluation de la résistance à la rupture brutale en présence d'un défaut de corrosion sous contraintes, le Groupe permanent a examiné les résultats des analyses menées par EDF pour un jeu d'hypothèses dit « réaliste ». EDF a utilisé les études dites réalistes lors de la découverte de l'anomalie pour en apprécier l'importance. En séance, EDF a précisé que, pour les justifications à venir, les démarches conformes à la réglementation seront utilisées, ce qui est satisfaisant. Dans ces conditions, le GP ne s'est pas prononcé sur les hypothèses des calculs dits réalistes.

## **Caractéristiques des matériaux retenus dans les études mécaniques**

Le Groupe permanent a pris note de l'engagement d'EDF de réaliser un programme d'essais mécaniques permettant de consolider les hypothèses retenues dans les études mécaniques pour décrire le comportement local du matériau de base dans la zone affectée par les opérations de soudage où des défauts de corrosion sous contraintes ont été observés.

Ce programme comporte des essais mécaniques de résistance à la déchirure, selon une approche normalisée, à partir de fissures initiées par un processus de fatigue mécanique. Le groupe permanent estime que ce programme est utile. **Néanmoins, le groupe permanent considère qu'EDF devra s'assurer que la résistance à la déchirure du métal retenue pour le calcul à partir des essais sur fissures de fatigue est conservatrice pour l'analyse de la résistance à la déchirure lorsque ces fissures ont pour origine la corrosion sous contraintes.**

## **Analyse des causes de CSC liées à la composition chimique du fluide primaire**

L'analyse par EDF des causes de la fissuration par corrosion sous contraintes telle qu'observée aux abords des soudures de certaines lignes de sauvegarde ou auxiliaires du circuit primaire principal des réacteurs, le conduit à identifier, comme paramètres de premier rang, le chargement thermomécanique des lignes et la température de fonctionnement. Un chargement thermomécanique important peut en effet se produire sous l'effet d'une stratification thermique dans certains tronçons horizontaux des lignes et notamment conduire à des moments de flexion importants, qui n'avaient pas été pris en compte dans le dimensionnement des circuits. EDF identifie comme autre paramètre la méthode de soudage employée. Par contre, EDF n'identifie pas de facteur aggravant lié au matériau ou à la chimie du fluide primaire dans les conditions de fonctionnement de ses réacteurs.

Le Groupe permanent a examiné les travaux menés par EDF pour évaluer l'influence de la composition chimique du fluide primaire sur le risque d'apparition de corrosion sous contraintes. Il relève, notamment à la lumière d'observations à l'international sur des réacteurs à eau bouillante, que la présence d'oxygène dans le fluide primaire présente un caractère défavorable. Au regard des données disponibles, le Groupe permanent considère approprié l'engagement pris par EDF de mener des actions qui permettront à terme de quantifier plus précisément l'effet de l'oxygène sur l'initiation et la

cinétique de développement de fissures de corrosion sous contraintes dans des conditions représentatives de celles des réacteurs à eau sous pression de son parc en exploitation. Dans l'attente de l'obtention et de la prise en compte de ces nouvelles connaissances, le Groupe permanent estime qu'il convient, d'une part de minimiser ce facteur de risque en opérant un suivi plus encadré de l'oxygène présent dans les eaux d'appoint au circuit primaire, d'autre part de contrôler plus fréquemment la teneur en oxygène du fluide primaire. **Ainsi, le Groupe formule à cet égard la recommandation en annexe.**

## **Recommandation du Groupe permanent**

Le Groupe permanent recommande, pour tous les paliers de réacteurs, qu'EDF :

- privilégie l'emploi d'eau désaérée dans les bâches REA eau et bore. A ce titre, EDF devrait définir une valeur d'alerte dans les spécifications chimiques dédiées, demandant d'engager les actions nécessaires pour revenir sous la valeur d'alerte ;
- augmente sa périodicité de mesure de l'oxygène dans le circuit primaire principal des réacteurs, en tenant compte des pratiques internationales, et définit, en cas de dépassement de la valeur limite, les dispositions et les délais associés pour revenir vers une valeur attendue définie dans les spécifications chimiques.

\*

\*\*\*

## Annexe

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

M.	SCHULER	Président
M.	SORRO	Vice Président
M.	AUTRET	
M.	BALAHY	
M.	BUISINE	
M.	CHAMPIGNY	
M.	CREIS	
Mme	DROBYSZ	
M.	HOUZÉ	
M.	JENDRICH	
M.	LONGIN	
M.	MARIGNAC	
M.	MARTINEZ MARTIN	
M.	MONNOT	
M.	NEDELEC	
M.	PAYEN	
M.	PERRAT	
M.	PERRIN	
M.	PLANTEVIN	
M.	SPIESS	

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

M. CHARLES Président

M. BOUTEILLE

M. COUTURIER

Mme DEGEYE

M. DEVOS

M. DUBOIS

M. FRANCARD

M. FRESON

Mme HERVIOU

M. MARIGNAC

M. MBONJO

M. MENAGE

M. MIRAUCOURT

M. NEDELEC

M. NICAISE

M. RAYMOND

M. ROTTER

M. SAINT RAYMOND

M. SERVIERE

M. SEVESTRE

M. SIDANER

Mme TOMBUYSES

M. VITTON