

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

**Avis et recommandations relatif à la mise à jour du dossier  
« Zones en Inconel du circuit primaire principal »**

Réunion tenue à Montrouge et en visioconférence le 26/11/2020

## I

Conformément à la saisine du 27 octobre 2020 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) référencée CODEP-DEP-2020-051265, le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) s'est réuni le 26 novembre 2020 pour examiner la cohérence de la politique d'exploitation, de suivi en service et de maintenance d'EDF pour les zones en Inconel du circuit primaire principal (CPP)<sup>1</sup> au regard des enjeux de sûreté associés aux pertes d'intégrité des zones concernées et l'état ainsi actualisé du dossier « Zones en Inconel du circuit primaire principal ».

## II

Le Groupe permanent a pris connaissance des conclusions de l'examen par le rapporteur du dossier transmis par EDF et de l'avis de l'IRSN sollicité en vue de constituer son rapport.

Le Groupe permanent a notamment examiné la démarche et les conclusions d'EDF portant sur :

- les enjeux de sûreté, en particulier la conséquence d'une fuite de fluide primaire pour les aciers ferritiques ;
- le retour d'expérience (REX) aux niveaux international et national pris en compte ;
- l'actualisation des connaissances sur les matériaux, notamment les cinétiques de propagation des fissures de corrosion sous contrainte (CSC) ;
- le bilan des dossiers de fabrication des zones en Inconel du CPP ;
- les méthodes de mitigation ainsi que les dossiers de réparation ;
- l'analyse des performances des procédés d'essais non destructifs (END) développés et mis en œuvre par l'exploitant dans le cadre du suivi en service des zones en Inconel du CPP ainsi que les performances des méthodes de surveillance mises en œuvre par l'exploitant, notamment le système de détection de fuite en puits de cuve « Flüs » ;
- la stratégie de maintenance définie par l'exploitant pour le suivi en service des zones en Inconel du CPP.

## III

Les alliages à base de nickel, de dénomination commerciale Inconel, sont utilisés notamment dans le CPP des réacteurs à eau sous pression, sous forme de pièces forgées, laminées ou de soudures et revêtements. Certains de ces alliages se sont révélés sensibles à la CSC en milieu primaire, conduisant à de nombreuses opérations de réparation, de remplacement ainsi que d'examen en service.

---

<sup>1</sup> Hors tubes de générateurs de vapeur

L'enjeu de sûreté associé à ce phénomène de CSC est la perte d'intégrité de la seconde barrière de confinement, avec pour conséquences des risques de fuite en service, de dégradations des composants concernés, et potentiellement de rupture sous fortes sollicitations.

L'importance du sujet a conduit EDF à créer un dossier, dit « Zones en Inconel », de suivi en service des zones en Inconel du CPP dès le milieu des années 90. Ce dossier a déjà fait l'objet de trois révisions, la première datant de 1995 et les suivantes de 1999 et 2009.

En 2017, EDF a engagé la réactualisation du dossier « Zones en Inconel » avant les quatrièmes visites décennales (VD4) des réacteurs de 900 MWe, à la suite d'une demande de l'ASN. Cette demande avait été formulée à l'issue du GP ESPN du 10 juin 2015 portant sur les orientations retenues par EDF pour la mise à jour des dossiers de référence réglementaires lors de la VD4 des réacteurs de 900 MWe.

### **Analyse de sûreté**

Le Groupe permanent note que l'exploitant a correctement analysé les enjeux de sûreté associés à chaque zone en Inconel.

Sur la base des enjeux de sûreté analysés pour chaque zone en Inconel, le Groupe permanent considère que l'objectif que doivent atteindre les méthodes d'END (défauts recherchés et périodicité) doit être de permettre une détection précoce de l'endommagement par CSC, afin de réduire les risques identifiés propres à chaque zone.

Concernant les pénétrations de fond de cuve (PFC), le Groupe permanent note qu'en cas de fissuration interne par CSC, d'orientation longitudinale<sup>2</sup> et de profondeur traversante, le risque est une fuite d'eau primaire dans le puits de cuve. A cet égard, le Groupe permanent considère que cette configuration de fuite en service doit être éliminée afin d'exclure le risque de corrosion de l'acier ferritique du fond de cuve, ceci afin de préserver l'intégrité de la cuve.

### **REX international et REX national**

Le Groupe permanent considère que la compréhension fine des conditions menant à une dégradation rapide par corrosion d'aciers ferritiques par l'acide borique est imparfaite, des cas de REX international montrant que de petites infiltrations ou fuites ont pu causer une corrosion significative de l'acier ferritique. A cet égard, il note que l'exploitant s'est engagé à réaliser la mise à jour du retour d'expérience des cas de corrosion sous revêtement ou de faible fuite observés à l'international relatifs à la corrosion des aciers ferritiques, applicables ou transposables au dossier « Zones en Inconel ».

---

<sup>2</sup> Longitudinale par rapport à l'axe, vertical, des pénétrations de fond de cuve

Le Groupe permanent note l'important travail d'expertise sur pièces réelles et maquettes mené par l'exploitant. Toutefois, le Groupe permanent note que le nombre de soudures d'adaptateurs expertisées représente un échantillonnage trop faible pour permettre de généraliser les résultats à l'ensemble des soudures en J des adaptateurs de couvercle de cuve ou des PFC. A cet égard, il note que l'exploitant s'est engagé à mettre à jour la note de REX international, en intégrant l'analyse des fissurations dans les soudures en J des adaptateurs des traversées de couvercles de cuve.

Concernant le REX national, le Groupe permanent considère que l'analyse réalisée par l'exploitant est acceptable dans son ensemble.

### **Cinétique de fissuration**

Le Groupe permanent note que le cas d'une fissure amorcée dans la soudure en J d'une PFC et qui se propagerait dans la soudure jusqu'au point triple entre la racine de soudure et la PFC, sans aller dans le métal de base, n'est pas abordé dans l'analyse de sûreté de l'exploitant. Le Groupe permanent souligne le besoin de poursuivre les efforts pour investiguer cette zone et formule à cet égard la recommandation n° 1 en annexe.

### **Alliage 690 et métaux d'apports associés**

Le Groupe permanent considère que l'analyse de l'exploitant selon laquelle le risque de fissuration est faible pour le métal de base en Inconel 690 et pour les métaux déposés en Inconel 152 et 52 correctement mis en œuvre est acceptable.

Le Groupe permanent note que l'exploitant réalisera une expertise sur plusieurs bouchons de tube de GV en Inconel 690 dans le cadre de son projet d'étude « SHERLOCK », afin de vérifier l'absence de dégradation par CSC des éléments en Inconel 690 les plus écrouis du CPP.

### **Modélisation du risque d'amorçage de la CSC**

Le Groupe permanent considère que la méthode d'évaluation du risque de CSC développée par l'exploitant est acceptable. Toutefois, il considère que la transition entre le modèle historique des indices et le modèle amélioré par deux nouveaux indices nécessite d'être expliquée de manière approfondie. A cet égard, le Groupe permanent note que l'exploitant s'est engagé à intégrer, dans le code CORIOLIS, des modèles des indices améliorés, pour tenir compte des modifications concernant l'hydrogène dissous et l'injection de zinc dans le fluide primaire.

Le Groupe permanent considère que les résultats de la simulation numérique du soudage (SNS) doivent être interprétés avec prudence en l'état actuel du développement de la méthode.

### **Bilan des dossiers de fabrication**

Le Groupe permanent note que l'exploitant a réalisé un travail conséquent sur les dossiers de fabrication des zones en Inconel du CPP afin de pouvoir établir un bilan des procédés de fabrication et en particulier des anomalies rencontrées lors de celle-ci.

Le Groupe permanent considère que ce bilan des dossiers de fabrication des zones en Inconel du CPP permet d'apporter des éléments utiles concernant les potentiels facteurs aggravants de l'amorçage et de la propagation de la CSC.

### **Méthodes de mitigation et dossiers de réparation**

Concernant les méthodes de mitigation par modification de la composition chimique du fluide primaire, à savoir l'injection de zinc et l'augmentation de la teneur en hydrogène dissous, le Groupe permanent considère que celles-ci sont utiles et acceptables.

Le Groupe permanent considère que les méthodes de mise en compression de la surface des zones en Inconel peuvent améliorer la durée de vie des composants. Toutefois, il note que de petits défauts préexistants, non détectables par les END, peuvent se propager même dans une zone localement en compression. De plus, les méthodes de mise en compression ne sont efficaces que si aucune déformation ultérieure n'est appliquée à la surface. A cet égard, le Groupe permanent note que l'exploitant s'est engagé à intégrer, dans son dossier d'intervention, les examens à mettre en œuvre sur les 14 PFC de Bugey 3 traitées par *peening* (grenailage), en cas de déformation de la surface due à l'effet d'un corps migrant ou de toute opération.

Concernant les dossiers de réparation, le Groupe permanent note que l'exploitant a développé des solutions de réparation pour les zones en Inconel présentant des cas de fissuration avérées par CSC et qu'il a réalisé des études de faisabilité pour des réparations pour les zones pour lesquelles aucun cas de fissuration par CSC n'a été détecté.

Cependant, le Groupe permanent constate que seules les cloisons des GV des réacteurs de 900 MWe disposent d'une solution de réparation générique, alors que des cas de fissuration par CSC ont été constatés sur des cloisons de GV des réacteurs de 1300 et 1450 MWe. A cet égard, il note que l'exploitant s'est engagé à réaliser une étude de faisabilité pour l'extension du dossier 900 MWe aux réacteurs de 1300 et 1450 MWe.

## **Examens non destructifs pour les zones du CPP en alliages de nickel**

Le Groupe permanent note que les END des PFC reposent, en contrôle de base, uniquement sur un examen ultrasonore TOFD-L qualifié.

Il formule à cet égard la recommandation n° 2 en annexe.

Le Groupe permanent note que le périmètre de la qualification du contrôle volumique de base des PFC n'intègre pas les configurations de la PFC n° 50 du réacteur n° 3 de Tricastin, ni de la PFC n°53 du réacteur n° 3 de Cattenom, du fait d'un diamètre interne plus important pour ces PFC. A cet égard, il note que l'exploitant s'est engagé à étudier la faisabilité du développement de sondes adaptées aux diamètres internes variables de ces PFC pour la mise en œuvre d'un procédé de type ultrasons TOFD-L en mode expertise.

Concernant les procédés d'END développés et mis en œuvre par l'exploitant pour le suivi en service des autres zones en Inconel, le Groupe permanent considère que leurs performances sont en adéquation avec les défauts recherchés.

## **Stratégie de maintenance**

De manière générale, le Groupe permanent considère que la stratégie de maintenance élaborée par l'exploitant concernant les zones en Inconel du CPP1 est acceptable et cohérente avec le REX du parc en exploitation.

S'agissant des PFC, le Groupe permanent note que les critères de notation et de caractérisation des résultats des END, les cinétiques de fissuration ainsi que les analyses de nocivité comportent des incertitudes.

Il formule à cet égard la recommandation n° 3 en annexe.

Concernant la PFC n° 58 du réacteur n° 3 de Cattenom, le Groupe permanent note que, à la suite de sa réparation, cette PFC ne fait pas l'objet d'un suivi en service spécifique adapté à sa configuration inédite. A cet égard, il note que l'exploitant s'est engagé à apporter les justifications face au risque de fissuration après réparation et à analyser l'adéquation des END et de leur périodicité.

## **Recommandations du Groupe permanent**

### **Recommandation n° 1**

Le Groupe permanent recommande qu'EDF définisse les objectifs auxquels peut répondre une méthode de contrôle des soudures en J afin de préciser la contribution qu'ils peuvent avoir à la réduction du risque de fuite en service. Il recommande de plus qu'EDF mette en œuvre des contrôles sur une proportion significative des soudures en J des PFC à partir des VD4.

### **Recommandation n° 2**

Pour renforcer le niveau de confiance quant à la détection des défauts susceptibles de se développer en peau interne des PFC, quelles que soient leur orientation, le Groupe permanent recommande qu'EDF documente les performances non qualifiées du procédé de contrôle ultrasonore volumique TOFD-L et le traitement des évènements détectés dans la zone proche de la surface interne.

### **Recommandation n° 3**

Considérant, d'une part, qu'une interprétation du retour d'expérience des PFC n° 4 de Gravelines 1 et n° 58 de Cattenom 3 interroge pour ces cas singuliers la cinétique enveloppe de propagation postulée, et d'autre part, qu'un nombre important de PFC vont bénéficier d'un nouvel examen dans les prochaines années, le Groupe permanent recommande qu'EDF réévalue la périodicité de ces examens si des résultats le justifiaient. Il souligne l'importance de maintenir une complémentarité entre les contrôles volumiques et les ETV en puits de cuve.

\*

\*\*\*

## **Annexe**

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

|                                     |                |
|-------------------------------------|----------------|
| Monsieur Matthieu SCHULER           | Président      |
| Monsieur Jean-François SORRO        | Vice-Président |
|                                     |                |
| Monsieur Jean-Claude AUTRET         |                |
| Monsieur Laurent BALAHY             |                |
| Monsieur François BILLON            |                |
| Monsieur Denis BUISINE              |                |
| Monsieur François CHAMPIGNY         |                |
| Monsieur Damien COUPLET             |                |
| Madame Sophie DROBYSZ               |                |
| Monsieur Alain EHRLACHER            |                |
| Monsieur Marc HOUZE                 |                |
| Monsieur Uwe JENDRICH               |                |
| Monsieur José Angel MARTINEZ MARTIN |                |
| Monsieur Bernard MONNOT             |                |
| Monsieur Michel NEDELEC             |                |
| Monsieur Thierry PAYEN              |                |
| Monsieur Gérard PERRAT              |                |
| Monsieur Gilles PERRIN              |                |
| Monsieur Xavier PITOISET            |                |
| Monsieur Bernard ROTTER             |                |
| Monsieur Guy ROUSSEL                |                |
| Monsieur André WEYN                 |                |