



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 5 août 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté  
nucléaire

## AVIS IRSN N° 2021-00150

**Objet :** EDF - REP – Réacteurs de Paluel – Prise en compte du retour d'expérience d'exploitation  
Corrosion des assemblages boulonnés des colliers de fixation des dispositifs anti-fouettement  
présents sur les tuyauteries du système VVP.

**Réf. :** [1] Saisine ASN - CODEP-DCN-2012-200476 du 11 mars 2013.  
[2] Lettre ASN - CODEP-CAE-2021-011545 du 19 mai 2021.

Lors de l'inspection réalisée le 9 février 2021 sur le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Paluel pendant son arrêt pour rechargement, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a contrôlé l'état des dispositifs anti-fouettement (DAF) situés sur le système VVP<sup>1</sup> au niveau de la pince vapeur du bâtiment réacteur. Les colliers ou brides de fixation de ces DAF et leurs assemblages boulonnés présentaient une corrosion surfacique marquée.

Conformément à la saisine en référence [1], l'IRSN a ainsi évalué les risques pour la sûreté induits par l'état de dégradation de ces matériels.

Les DAF situés sur le système VVP ont pour fonction de maintenir en place les tuyauteries du système VVP afin d'éviter l'aggravation des conséquences d'un accident de rupture de tuyauterie vapeur du fait de l'agression d'un équipement par le fouettement de la tuyauterie.

Des colliers permettent de lier les DAF aux tuyauteries du système VVP. Ils encerclent les tuyauteries et sont maintenus autour de celles-ci par des assemblages boulonnés constitués de tirants, d'écrous et de rondelles.

Lors du premier examen par l'IRSN de clichés photographiques pris par l'exploitant montrant un état de corrosion avancé des assemblages boulonnés, la question du risque de propagation progressive de la corrosion vers l'intérieur de ces derniers s'est posée. En effet, ces dispositifs n'ont jamais été démontés et font uniquement l'objet d'un contrôle visuel externe. L'état actuel des surfaces cachées n'est donc pas connu. L'endommagement des assemblages par corrosion des filets notamment, voire par fissuration des tirants qui sont en acier à haute résistance, pourrait mettre en cause la capacité des DAF à assurer leur fonction, notamment supporter des efforts importants, en cas de rupture de tuyauterie. La perte de la fonction assurée par les DAF pourrait alors entraîner la dégradation de composants importants pour la sûreté situés au niveau de la pince vapeur au voisinage des DAF, s'ils étaient agressés par ces tuyauteries du fait de leur fouettement, et affecter la fonction de refroidissement du réacteur.

<sup>1</sup> VVP : circuit de vapeur vive principal.

MEMBRE DE  
**ETSON**

En réponse aux demandes de l'IRSN reprises par l'ASN dans sa lettre en référence [2], l'exploitant a indiqué que les assemblages boulonnés étaient légèrement affectés par de l'oxydation surfacique qui se serait développée lors des arrêts prolongés du réacteur, c'est-à-dire lorsque le système VVP fonctionne longtemps à une température inférieure à 200 °C. Il a précisé que les risques de corrosion sous contrainte et de propagation de la corrosion vers l'intérieur de ces assemblages, qui sont protégés des intempéries, étaient exclus lorsque la température de fonctionnement du système VVP est supérieure à 200° C. Il a ajouté qu'aucune action de retour d'expérience local ou national n'avait été mise en œuvre à la suite de ce constat.

Selon l'IRSN, l'absence de corrosion sous contrainte et de propagation de la corrosion vers l'intérieur des assemblages ne peut pas être garantie. En effet, compte tenu de l'état de dégradation des surfaces apparentes des assemblages dû à de la corrosion généralisée, un phénomène de corrosion par piqûre pourrait ne pas être détecté lors d'un contrôle visuel réalisé sur des assemblages qui ne sont jamais démontés. La corrosion par piqûre peut affecter des parties non visibles comme le filetage des tirants et donner lieu à une rupture. Or, parmi les différents phénomènes de corrosion, la cinétique d'évolution de la corrosion par piqûre est l'une des plus rapides.

EDF a d'ailleurs réalisé en 2001 une étude du phénomène de corrosion sous contrainte des tirants d'ancrage au génie civil endommagés et provenant de plusieurs centrales nucléaires françaises dont la centrale de Paluel. Cette étude avait notamment pour but de décrire le mécanisme de dégradation par corrosion conduisant à la rupture de tirants à partir d'un bilan exhaustif du retour d'expérience et de données bibliographiques, et d'analyser le risque de dégradation en fonction des caractéristiques mécaniques de l'acier.

Ainsi, selon cette étude, les mécanismes de corrosion présentent des cinétiques d'évolution très différentes. Les mécanismes de corrosion affectant les tirants d'ancrage au génie civil sont les suivants :

- la corrosion généralisée, due à la présence d'un milieu humide, qui conduit à une lente dissolution du matériau sur toute la surface en contact avec l'humidité ;
- la corrosion par piqûre, liée à la présence d'un milieu humide confiné, qui induit une dissolution localisée, dont la cinétique d'évolution est plus rapide que pour la corrosion généralisée ;
- la corrosion sous contrainte assistée par l'hydrogène, qui se manifeste par la propagation de fissures sous l'action combinée de contraintes de tension et d'un milieu corrosif.

Le processus de dégradation conduisant à la rupture des tirants commence par la création d'une piqûre de corrosion due au milieu humide confiné, se poursuit par l'amorçage et la propagation d'une fissure sous contrainte induite par l'hydrogène produit par l'hydrolyse des cations métalliques dans la piqûre, puis par la rupture finale brutale en cas de dépassement du facteur d'intensité des contraintes admissible en pointe de fissure.

De manière générale, la date d'apparition du phénomène de corrosion par piqûre n'est pas connue et sa cinétique d'évolution est difficile à prédire. En effet, son évolution dans le temps est fonction des cycles successifs d'assèchement et des paramètres de fonctionnement qui diffèrent selon les états du réacteur.

Les aciers au carbone, tels que ceux qui constituent les assemblages boulonnés des DAF du système VVP pour les quatre réacteurs de la centrale nucléaire de Paluel, ne présentent pas une bonne résistance à la corrosion. La présence d'un milieu très agressif n'est donc pas nécessaire pour conduire au processus de corrosion par piqûre, d'autant plus quand celle-ci s'initie en fond de filet, ce dernier constituant un site de confinement.

Pour l'ensemble des tirants expertisés par EDF dans son étude mentionnée supra, dont un avait été prélevé sur le système VVP, la fissuration conduisant à la rupture des tirants a toujours été amorcée par une piqûre, située en fond d'un des premiers filets, site de contrainte maximum. En effet, la sollicitation due à la précontrainte du tirant lors de son montage joue un rôle essentiel dans le processus de fissuration sous contrainte ainsi que lors de la rupture brutale.

La totalité des tirants rompus étaient fabriqués avec un acier dont la nuance est précisément celle des tirants des DAF situés sur le système VVP pour les réacteurs de la centrale nucléaire de Paluel. Outre ce retour d'expérience concernant les tirants, il n'est pas exclu que les autres pièces constituant les assemblages des DAF

situés sur le système VVP pour les réacteurs de la centrale nucléaire de Paluel, telles que les rondelles, soient également affectées par la corrosion, ce qui pourrait conduire à la défiabilisation de la fonction assurée par les DAF. En effet, le gonflement des rondelles dû à la corrosion par exemple pourrait générer une augmentation de volume au niveau du liaisonnement et, de ce fait, créer une tension excessive dans les tirants. A contrario, l'effacement de celles-ci du fait de leur corrosion, même sans aucune autre dégradation de l'assemblage, pourrait générer, avec le temps, un desserrage de l'assemblage (sous l'effet de vibrations par exemple) et mettre en cause la résistance mécanique de la liaison en cas de sollicitation par fouettement.

La corrosion des colliers des DAF situés sur le système VVP a également été constatée sur le réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Paluel lors de l'inspection du 10 juin 2021. L'IRSN n'a pas connaissance de l'état de ces colliers sur les réacteurs n° 2 et n° 3 ; néanmoins, il est probable qu'il soit similaire à celui des assemblages boulonnés des DAF situés sur système VVP sur les réacteurs n° 1 et n° 4.

Compte tenu de ce retour d'expérience concernant les tirants des ancrages et du fait que la cinétique d'évolution du phénomène réel est difficile à prédire, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF procède, pour l'ensemble des réacteurs de la centrale nucléaire de Paluel, lors de leur prochain arrêt, au contrôle de l'état de toutes les pièces constituant les assemblages boulonnés des DAF situés sur le système VVP et à leur remise en état, voire, si leur état le nécessite, à leur remplacement. Ce point fait l'objet de la recommandation formulée en annexe 1.

En outre, l'IRSN considère qu'il conviendrait également de contrôler, dans un premier temps par sondage, sur l'ensemble des réacteurs de la centrale nucléaire de Paluel, les dispositifs de ce type équipant d'autres tuyauteries que celles du circuit VVP, extérieures à l'enceinte du bâtiment réacteur et situées au niveau de la pince vapeur, dans la mesure où ces dispositifs sont installés dans le même environnement que les DAF situés sur le système VVP trouvés corrodés. Ce point fait l'objet de l'observation formulée en annexe 2.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2021-00150 DU 05 AOUT 2021**

### **Recommandation de l'IRSN**

L'IRSN recommande qu'EDF procède, sur les quatre réacteurs de la centrale nucléaire de Paluel, lors de leur prochain arrêt, au contrôle, après démontage, de l'état de toutes les pièces constituant les assemblages boulonnés des dispositifs anti-fouettement du circuit vapeur vive principal en portant une attention particulière au contrôle du filetage. Un nettoyage, une remise en état, voire, si leur état le nécessite, un remplacement de ces équipements devront être effectués.

## **ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2021-00150 DU 05 AOUT 2021**

### **Observation de l'IRSN**

L'IRSN estime qu'EDF devrait contrôler, dans un premier temps par sondage sur l'ensemble des réacteurs de la centrale nucléaire de Paluel, l'état des dispositifs anti-fouettement équipant d'autres tuyauteries que celles du circuit VVP, extérieures à l'enceinte du bâtiment réacteur et situées au niveau de la pince vapeur, dans la mesure où ces dispositifs sont installés dans le même environnement que les dispositifs du circuit VVP trouvés corrodés.