

Fontenay-aux-Roses, le 25 octobre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00201

Objet : Réacteur EPR de Flamanville - Complément de caractérisation d'un matériau d'apport utilisé pour les soudures des circuits secondaires principaux.

Réf. : [1] Avis IRSN N° 2021-00040 du 11 mars 2021.
[2] Lettre ASN – CODEP-DEP-2021-027558 du 20 juillet 2021.
[3] Avis IRSN N° 2022-00141 du 7 juillet 2022.

Les tuyauteries de vapeur principales (VVP) et du circuit d'alimentation en eau des générateurs de vapeur (ARE) du réacteur EPR de Flamanville sont réalisées en acier au carbone et au manganèse. Ces tuyauteries font partie des circuits secondaires principaux (CSP).

Lors de la réalisation des soudures de ces tuyauteries, EDF a constaté des écarts par rapport à son référentiel technique, notamment pour ce qui concerne les propriétés de résilience¹ inférieures au niveau requis. EDF a alors décidé de refaire les soudures des tuyauteries VVP en exclusion de rupture, à l'aide d'un nouveau matériau d'apport. Les tuyauteries ARE n'étant pas en exclusion de rupture, EDF a considéré que les propriétés mécaniques des soudures de ces tuyauteries restent acceptables et a décidé de maintenir en l'état ces soudures en faisant évoluer son référentiel technique.

Par ailleurs, EDF a déclaré un écart lié à la mise en œuvre de traitements thermiques de détensionnement² (TTD) locaux de ces soudures, la plage de température requise n'ayant pas toujours été respectée. Ainsi, suivant les soudures considérées, il peut exister des cas de sous-TTD ou de sur-TTD³. De plus, la présence d'un phénomène de vieillissement sous déformation (VSD) significatif après TTD du matériau d'apport d'origine de ces soudures a été constatée. Ceci peut conduire à des modifications des propriétés mécaniques des soudures des tuyauteries ARE, notamment à un abaissement des propriétés de ténacité.

Pour justifier la résistance des soudures à la rupture brutale, EDF s'appuie sur les propriétés de ténacité⁴ du métal d'apport de soudage. Ces propriétés de ténacité ne sont pas mesurées expérimentalement lors des différents essais menés en amont des opérations de soudage ou par la caractérisation des coupons témoins de soudage

¹ La résilience est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie quand il se déforme sous l'effet d'un choc en présence d'une entaille.

² Le TTD, aussi appelé revenu de détensionnement, permet notamment de restaurer les propriétés du métal modifiées par le soudage et de relaxer les tensions internes apparues lors de celui-ci.

³ Les zones ayant subi une température inférieure (respectivement supérieure) à la température minimale (respectivement maximale) requise sont dites en sous-TTD (respectivement sur-TTD).

⁴ La ténacité est la capacité d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure.

réalisés en parallèle des soudures de production. Seules les propriétés de résilience sont déterminées. EDF utilise alors des corrélations permettant d'évaluer les propriétés de ténacité de ces soudures à partir des propriétés de résilience. L'analyse de la validité de la méthode utilisée pour établir les données d'entrée du dossier de rupture brutale avait conduit l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) à émettre une recommandation afin qu'EDF complète la base de données utilisée pour définir les caractéristiques mécaniques minimales retenues pour le matériau d'apport des soudures des tuyauteries ARE [1]. EDF a alors enrichi son dossier avec les résultats de caractérisation de deux soudures choisies parmi quatre soudures déposées de tuyauteries VVP de l'EPR de Flamanville. L'objectif d'EDF est de vérifier que ces nouveaux résultats confirment la validité des caractéristiques mécaniques minimales retenues pour le matériau d'apport utilisé pour les soudures des tuyauteries ARE.

Par la lettre en référence [2], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a souhaité recueillir l'avis de l'IRSN sur les points suivants pour les soudures des tuyauteries ARE de l'EPR de Flamanville réalisées avec le matériau d'apport considéré :

- la représentativité des soudures réalisées avec ce matériau d'apport utilisées dans le programme expérimental d'EDF ;
- le caractère suffisant des programmes de caractérisation établis sur ce matériau d'apport ;
- les résultats et conclusions d'EDF au regard des données d'entrée utilisées dans les études de rupture brutale des soudures des CSP de l'EPR de Flamanville réalisées avec ce matériau d'apport.

Une synthèse de l'expertise menée par l'IRSN et les principales conclusions associées sont présentées ci-après.

Représentativité des soudures utilisées pour le programme expérimental

EDF a transmis des éléments relatifs aux conditions de réalisation des soudures des tuyauteries ARE et des deux soudures caractérisées provenant des tuyauteries VVP, toutes ces soudures étant constituées avec le produit d'apport objet de la présente expertise. L'IRSN a déjà analysé ces éléments lors d'une précédente expertise [3] et n'a pas identifié d'élément pouvant remettre en cause la représentativité des deux soudures utilisées dans le programme expérimental visant à caractériser les propriétés de ténacité du matériau d'apport utilisé pour les soudures des tuyauteries ARE.

Suffisance du programme expérimental

EDF a réalisé des essais de résilience sur des éprouvettes prélevées dans l'une des deux soudures déposées et dans un coupon témoin de production, ainsi que des essais de ténacité dans le domaine de transition et dans le domaine ductile sur des éprouvettes prélevées dans les deux soudures déposées pour caractériser le matériau d'apport. Ces essais ont été menés dans les configurations de sous-TTD ou de sur-TTD, en peau et en racine des soudures. Les propriétés de ténacité du matériau d'apport dépendent de façon importante des conditions de réalisation des soudures, certaines zones pouvant être plus fragiles que d'autres. Les localisations de prélèvement des éprouvettes de caractérisation définies par EDF interceptent les zones les plus fragiles des soudures. Pour l'IRSN, les localisations de prélèvements des éprouvettes, les états de sous-TTD et sur-TTD caractérisés et le nombre d'essais réalisés sont suffisants pour vérifier les propriétés mécaniques du matériau d'apport.

Résultats du programme expérimental de caractérisation

Les résultats de caractérisation produits par EDF confirment le caractère enveloppe sans marge de la courbe définissant les propriétés minimales de ténacité dans le domaine de transition du matériau d'apport objet de la présente analyse. Les résultats de ténacité les plus faibles dans le domaine de transition ont été expliqués par

EDF et, quel que soit l'état caractérisé (sous-TTD ou sur-TTD), ceux-ci ne remettent pas en cause les hypothèses prises en données d'entrée des études mécaniques. À l'issue de son analyse, l'IRSN considère que le décalage de 46 °C du domaine de transition retenu dans les hypothèses des études mécaniques est conservatif, les incertitudes liées à la mise en œuvre du procédé de soudage industriel n'étant pas susceptibles de remettre en cause cette valeur.

Aux températures de fonctionnement du circuit ARE les plus faibles, les propriétés de ténacité du matériau d'apport dans le domaine ductile sont significativement supérieures aux exigences minimales. Les soudures des tuyauteries ARE concernées par cette analyse feront l'objet d'un traitement thermique de remise en conformité, conforme aux spécifications initiales de températures. Cette opération améliorera les propriétés de ténacité dans le domaine ductile.

Conclusion

Pour faire suite à une recommandation émise par l'IRSN à l'issue d'une première expertise concernant les propriétés mécaniques d'un matériau d'apport mis en œuvre pour réaliser des soudures des tuyauteries du circuit ARE du réacteur EPR de Flamanville, EDF a complété la base de données expérimentales permettant de justifier les propriétés minimales de ce matériau d'apport utilisées dans les études de rupture brutale.

À l'issue de son analyse, l'IRSN estime que les soudures utilisées pour compléter la base de données sont représentatives de celles des tuyauteries ARE réalisées sur site. Les dispositions expérimentales et le nombre d'essais réalisés sont suffisants pour vérifier les propriétés minimales de ténacité du matériau d'apport.

Au vu des résultats obtenus par EDF et des conclusions qu'il en déduit, l'IRSN considère que le choix des données d'entrée utilisées dans les études de rupture brutale des soudures des tuyauteries ARE de l'EPR de Flamanville réalisées avec ce matériau d'apport est acceptable.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté