

Fontenay-aux-Roses, le 26 janvier 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

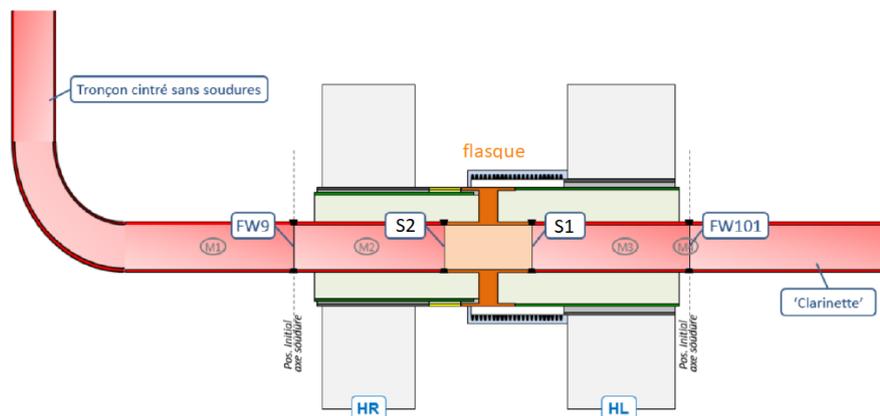
## AVIS IRSN N° 2022-00011

**Objet :** Réacteur EPR de Flamanville – Caractérisation thermique des soudures de traversées VVP traitées par induction et programme d'essais mécaniques associé.

**Réf. :** Lettre ASN – CODEP-DEP-2021-043933 du 20 octobre 2021.

Pour les soudures des tuyauteries de vapeur principales (VVP) des circuits secondaires principaux (CSP) de l'EPR de Flamanville (EPR FA3), Framatome a spécifié la réalisation d'un traitement thermique de détensionnement (TTD), afin de restaurer les propriétés du métal modifiées par le soudage et de relaxer les contraintes apparues lors de celui-ci.

À la suite d'un écart identifié lors de la réalisation des TTD des générateurs de vapeur (GV) de remplacement du parc en exploitation, Framatome a informé l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), en 2020, d'un écart sur le réacteur de l'EPR FA3, consécutif au dépassement des plages de température spécifiées lors du TTD pour les deux soudures repérées S1 et S2 situées au droit d'une des quatre traversées VVP de l'enceinte de confinement (cf. figure ci-dessous). Cet écart est appelé « *sur-TTD* ».



Représentation schématique de la géométrie de la traversée VVP

Dans le cadre de la réparation de cette traversée, ces deux soudures seront remises en conformité et les pièces assemblées remplacées. Néanmoins, la manchette M3 et le flasque seront maintenus en l'état, leur remplacement présentant de grandes difficultés techniques. Les pièces conservées subiront donc un second TTD dit « *de réparation* » à l'issue des opérations de soudage. Ce TTD consiste en un maintien à 600 °C pendant 1h30.

Dans ce contexte, l'ASN a saisi l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), par lettre citée en référence, afin de recueillir son avis sur les points suivants :

- 1) la caractérisation de l'écart relatif au TTD des soudures S1 et S2 ;
- 2) la conclusion de Framatome de retenir une température maximale vue par la manchette M3 de 630 °C et de 612 °C pour le flasque ;
- 3) les conclusions de l'impact de l'écart sur les caractéristiques mécaniques du flasque et de la manchette.

### **Caractérisation de l'écart et températures maximales**

La technologie utilisée pour le chauffage de l'ensemble soudé lors du TTD initial dit « *de production* » est un procédé de chauffage par induction<sup>1</sup>. Ce procédé possède la particularité de chauffer directement le métal par l'intérieur. Ainsi, l'opérateur règle la puissance électrique en production et contrôle la température grâce à un thermocouple qui sert de régulation. Tous les thermocouples de suivi du TTD sont en contact avec la surface extérieure du métal.

Afin d'évaluer la température en tout point de l'assemblage soudé durant le TTD de production, Framatome a entrepris des calculs thermiques basés sur les hypothèses les plus pénalisantes et permettant de retrouver les valeurs des thermocouples. Les températures calculées correspondent donc à des valeurs majorantes de la température atteinte localement par les deux pièces maintenues en l'état. Les calculs aboutissent à une température maximale de 612 °C sur le flasque et de 630 °C sur la manchette M3. La température maximale admissible est de 610 °C pour le TTD de production : cette valeur est également celle du palier du traitement thermique de détensionnement simulé (TTDS) appliqué à l'anneau de recette des pièces où sont mesurées les caractéristiques mécaniques. Ceci confirme donc l'existence d'un « *sur-TTD* ».

**L'IRSN estime que la caractérisation de l'écart telle que réalisée par Framatome est pertinente. Les valeurs de températures maximales affichées par Framatome issues de cette caractérisation sont acceptables, compte tenu de l'ensemble des hypothèses pénalisantes retenues.**

Ensuite, Framatome utilise le paramètre de Larson-Miller qui ramène les paramètres temps et température du TTD en un seul paramètre et permet des comparaisons entre traitements thermiques pour démontrer que le traitement thermique de détensionnement simulé sur le flasque et la manchette M3 constitue toujours un majorant du TTD de production suivi du TTD de réparation. L'IRSN considère acceptable l'utilisation de ce paramètre dans le cas présent et observe qu'il existe effectivement une marge avec la température qui conduirait à dépasser la valeur de la réserve thermique<sup>2</sup> de ces pièces. Ce constat suppose néanmoins que le traitement thermique de réparation à venir soit réalisé avec une précision satisfaisante. **Ceci conduit l'IRSN à formuler l'observation n° 1 en annexe.**

---

<sup>1</sup> Un chauffage par induction, consiste à émettre un fort courant dans une bobine isolée proche du métal à chauffer, créant ainsi un courant induit dans la peau de la pièce métallique à chauffer. Selon la fréquence et l'intensité du courant source, la température dans le métal cible est maîtrisée.

<sup>2</sup> La réserve thermique disponible correspond à la durée cumulée maximale pendant laquelle une soudure peut être soumise à la température du traitement thermique de détensionnement (TTD) tout en garantissant le respect des critères applicables, notamment les caractéristiques mécaniques.

**Caractérisation des propriétés mécaniques après un sur-TTD**

Pour ce qui concerne la manchette M3, dans un objectif de robustesse, Framatome a complété son dossier en réalisant un programme d'essais mécaniques sur un matériau provenant d'une coulée de même nuance et du même fournisseur, et très proche en termes de caractéristiques de celle ayant été utilisée pour la manchette M3. Le matériau a subi différents traitements thermiques allant jusqu'à 650 °C. Les valeurs du paramètre de Larson-Miller associé se situent, voire dépassent celle associée à la manchette M3. Framatome a reproduit les essais mécaniques de traction et de résilience demandés en recette et n'a pas cherché à mesurer le décalage de la courbe de transition de résilience pour les différents traitements thermiques du programme d'essais. Dans le cadre de ce dossier présentant des dépassements modérés de la température maximale admissible du TTD et de bonnes valeurs de résilience y compris pour des valeurs majorantes du paramètre de Larson-Miller, ceci reste acceptable. Dans le cas contraire, l'IRSN estime que des courbes de transition de résilience devraient être déterminées. **En conséquence, l'IRSN formule l'observation n° 2 en annexe.**

D'une manière générale, les valeurs des propriétés mécaniques obtenues par Framatome pour tous les traitements thermiques testés varient peu et respectent systématiquement les valeurs requises par le référentiel technique, y compris pour les valeurs les plus élevées du paramètre de Larson-Miller. Ce dernier point confirme donc l'absence d'effet falaise associé au traitement thermique tel qu'il a été étudié dans le programme d'essais mécaniques. **L'IRSN partage donc la conclusion de Framatome sur l'impact limité d'un sur-TTD suivi du TTD de réparation sur les propriétés mécaniques de la manchette M3.**

Pour ce qui concerne la nuance du matériau du flasque, celle-ci est de la même famille que celle de la manchette M3 mais ne présente pas les mêmes traitements thermiques au stade de la fabrication. Framatome a donc proposé un argumentaire de transposabilité des résultats mécaniques du matériau de la manchette M3 au flasque. Cet argumentaire met en avant une structure métallurgique identique d'une part et l'absence de détérioration du traitement thermique initial du matériau du flasque par le sur-TTD d'autre part. **Compte tenu des arguments présentés, l'IRSN reste confiant dans la représentativité des propriétés mécaniques de recette pour le flasque.**

L'IRSN considère, sur la base des résultats du programme d'essais mécaniques présenté par Framatome, que l'impact du sur-TTD survenu sur le flasque et la manchette M3 reste limité vis-à-vis des propriétés mécaniques du matériau dans le cadre d'une remise en conformité des soudures S1 et S2 prenant en compte un TTD de réparation conforme.

En conclusion, l'IRSN estime que l'ensemble de la démonstration de Framatome, compte tenu des hypothèses pénalisantes retenues pour le calcul thermique et de l'ensemble des états thermiques testés mécaniquement, est suffisamment robuste pour considérer que les valeurs des propriétés mécaniques mesurées sur l'anneau de recette du flasque et de la manchette M3 à l'état TTDS restent représentatives des pièces assemblées en vue du TTD de réparation. **Le maintien en l'état de la manchette M3 et du flasque dans le cadre du processus de réparation des soudures S1 et S2 de la traversée VVP de l'EPR FA3 où un « sur-TTD » a été identifié, est donc acceptable.**

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00011 DU 26 JANVIER 2022**

### **Observations de l'IRSN**

#### **Observation n° 1**

L'IRSN considère que Framatome devrait mettre en place un contrôle strict, lors de la réparation des deux soudures situées au droit de la traversée, du couple temps-température de 600 °C pendant 1h30 afin de garantir l'absence de dépassement de la réserve thermique de la manchette M3 et du flasque.

#### **Observation n° 2**

L'IRSN considère que Framatome devrait, dans les situations présentant un sur-TTD significatif, déterminer les courbes de transition de résilience pour mieux appréhender l'effet de l'augmentation du paramètre de Larson-Miller sur l'évolution des propriétés de ténacité, notamment le plateau ductile.