

Fontenay-aux-Roses, le 4 avril 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00051

---

<b>Objet</b>	<b>EDF – REP – Palier 900 MWe – Coudes moulés de type E en CF8-M – Analyse de la tenue à la rupture brutale du coude 48E du réacteur n° 2 de Saint-Laurent B.</b>
<b>Réf.</b>	Saisine ASN – CODEP-DEP-2022-063162 du 21 décembre 2022.

---

Le circuit primaire principal (CPP) des réacteurs de 900 MWe du palier CPY est équipé de coudes moulés en acier austénoferritique fabriqués par un procédé de moulage statique. Ces coudes moulés peuvent comporter des défauts inhérents au procédé de fabrication – retassures<sup>1</sup> ou criques de solidification<sup>2</sup>.

Au début des années 1980, il a été découvert que le matériau de nuance CF8-M, utilisé pour la plupart des coudes d'origine, subissait un vieillissement thermique aux températures de fonctionnement du CPP. Ce phénomène se manifeste par un abaissement de certaines propriétés mécaniques du matériau, telles que la résilience<sup>3</sup> et la résistance à la déchirure ductile. La présence des défauts dans les coudes moulés, combinée au vieillissement thermique, peut remettre en cause la démonstration de l'aptitude à la poursuite de l'exploitation des réacteurs concernés, vis-à-vis du risque de rupture brutale.

Les coudes moulés dits « froids » de type E sont situés entre la tuyauterie de la branche froide (BF) et la tubulure d'entrée de cuve (cf. figure ci-après). À la suite de la réunion du GP ESPN<sup>4</sup> du 23 mai 2019, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a validé les nouvelles formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile proposées par EDF et a demandé de retenir un défaut générique de dimensions profondeur par longueur de 10 mm x 40 mm pour les justifications du maintien en service des coudes moulés des réacteurs du palier 900 MWe.

EDF a transmis une analyse de justification de la tenue à la rupture brutale du coude 48E du réacteur n° 2 de Saint-Laurent B (SLB2). Cette note vise à justifier la tenue mécanique de ce coude en regard du référentiel associé à la quatrième visite décennale (VD4), jusqu'à la VD4 plus dix ans, en valorisant de nouvelles hypothèses relatives

---

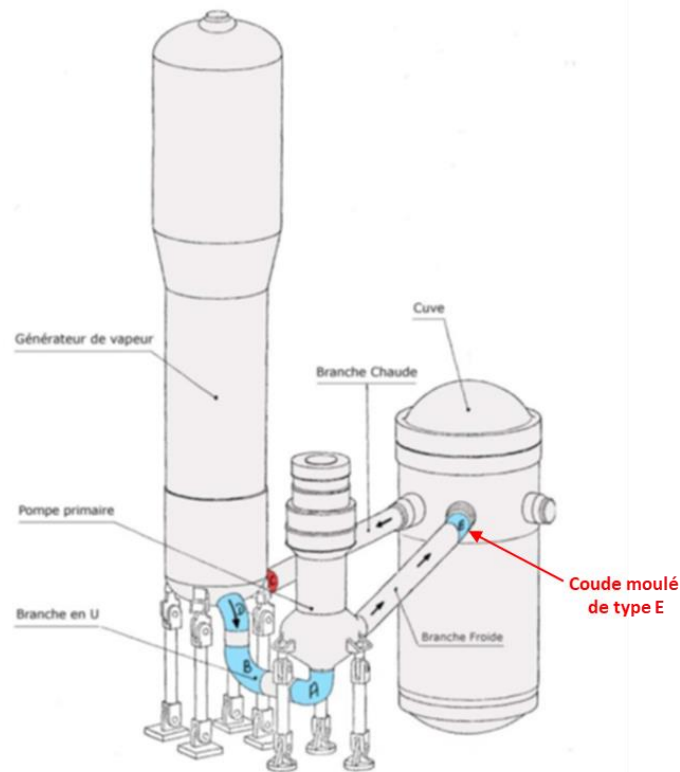
<sup>1</sup> Une retassure est un défaut constitué par une cavité se formant dans la partie massive d'une pièce métallique coulée et due à la contraction du métal lors de sa solidification.

<sup>2</sup> Les criques de solidification peuvent apparaître lors du refroidissement rapide du métal en fusion au contact du moule ou lors de la rencontre de deux fronts de solidification perpendiculaires à la paroi.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires.

à la durée de fonctionnement du réacteur et à la modélisation des situations de fonctionnement prises en compte dans la démonstration.



Par la saisine citée en référence, l'ASN sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le dossier d'EDF relatif à la justification de la tenue à la rupture brutale du coude 48E jusqu'à VD4 + 10 ans. Plus particulièrement, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur les nouvelles hypothèses retenues :

- la durée de fonctionnement à VD4 + 10 ans spécifique au réacteur n° 2 de Saint Laurent B (SLB2);
- le découpage du transitoire le plus pénalisant en 3<sup>e</sup> catégorie de conditions de fonctionnement (transitoire 58\_3).

### **Valorisation de la durée de fonctionnement enveloppe à VD4 + 10 ans applicable au réacteur de SLB2**

En lieu et place de l'utilisation d'une durée de fonctionnement enveloppe à VD4 + 10 ans (420 000 heures) habituellement retenue pour les réacteurs de 900 MWe du palier CPY, la nouvelle justification de la tenue à la rupture brutale d'EDF repose sur une durée de fonctionnement à VD4 + 10 ans, spécifiquement établie pour le réacteur de SLB2. À cette fin, EDF a réalisé un inventaire complet des heures de fonctionnement effectives correspondant à tous les états standards du réacteur SLB2 depuis sa 1<sup>re</sup> divergence (le 1<sup>er</sup> juin 1981) jusqu'au 30 septembre 2022. Les états standards, présentant une température moyenne du fluide primaire ( $T_m$ ) supérieure ou égale à 286 °C, sont totalement pris en compte dans le calcul de la durée de fonctionnement. Sont également comptabilisées les heures dans l'état standard « arrêt à chaud », pour lequel  $280\text{ °C} \leq T_m \leq 286\text{ °C}$ , en retenant sa température maximale. Cette durée « réellement comptabilisée » est par la suite extrapolée jusqu'à l'échéance de la VD4 + 10 ans (prévue à ce jour le 1<sup>er</sup> février 2033) en y ajoutant une marge industrielle de six mois. En outre, EDF a justifié, *via* la méthode de calcul d'équivalence température – temps de vieillissement, que la durée de fonctionnement aux états standards présentant des  $T_m$  inférieures à 280 °C (573 heures équivalentes), ainsi que la durée correspondant aux phases « à chaud » des essais réalisés avant la 1<sup>re</sup> divergence (360 heures) sont négligeables par rapport à une durée de fonctionnement jusqu'à VD4 + 10 ans. Finalement, EDF retient une valeur arrondie à 377 000 heures comme durée de fonctionnement enveloppe de SLB2 à VD4 + 10 ans avec six mois de marge industrielle (3 606 heures).

Pour l'IRSN, l'utilisation de la  $T_m$  à 286 °C dans la comptabilisation des heures de fonctionnement est acceptable car la température de la branche froide – où se situe le coude 48E – est en général inférieure (en production) ou presque égale (en états d'arrêt) à celle de la branche chaude. Toute la durée de fonctionnement de l'état standard « arrêt à chaud » est également entièrement prise en compte dans cette comptabilisation, ce qui est satisfaisant.

L'IRSN considère également que l'approche retenue par EDF pour le calcul d'équivalence temps – durée de vieillissement permet d'estimer de manière conservatrice les durées équivalentes de vieillissement avec des températures inférieures ou égales à 280 °C.

Néanmoins, l'IRSN constate que l'estimation de la durée de fonctionnement du réacteur de SLB2 jusqu'à sa VD4 + 10 ans s'appuie sur une extrapolation purement mathématique. **L'IRSN considère qu'une incertitude devrait être introduite dans cette extrapolation. Au lieu de prendre en compte une marge industrielle de six mois à compter du 1<sup>er</sup> février 2033, l'IRSN estime nécessaire de considérer cette marge de six mois comme une marge d'incertitude dans l'extrapolation jusqu'à la date du début de la VD4 + 10 ans de SLB2, c'est-à-dire au 1<sup>er</sup> février 2033. De plus, la prise en compte de cette marge d'incertitude permet de couvrir la durée négligée correspondant aux états du réacteur avec  $T_m < 280$  °C, ainsi que les essais à chaud avant la 1<sup>re</sup> divergence du réacteur de SLB2.**

Enfin, l'IRSN considère que l'utilisation de la durée de fonctionnement de 377 000 h spécifique à SLB2 retenue pour la justification de la tenue à la rupture brutale du coude 48E est acceptable. **Cette durée, qui prend en compte certains conservatismes (en termes de vieillissement thermique), est enveloppe de la durée de fonctionnement à VD4 + 10 ans de la tranche SLB2, prévue à ce jour le 1<sup>er</sup> février 2033.**

### **Valorisation du découpage du transitoire 58\_3**

Le transitoire thermique le plus pénalisant en situation de fonctionnement de 3<sup>e</sup> catégorie, vis-à-vis du risque de rupture brutale des coudes moulés de type E est le transitoire 58\_3 de petite brèche primaire de trois pouces. Selon l'étude réalisée par EDF, le découpage de ce transitoire en trois plages temporelles ( $0 < t \leq 500$  s,  $500 \text{ s} < t \leq 4\,000$  s et  $t > 4\,000$  s) permet de réaliser des cumuls des chargements mécaniques et thermiques de manière raisonnable et réaliste.

L'IRSN s'est assuré qu'en prenant en compte le découpage temporel retenu par EDF, le transitoire 58\_3 reste le transitoire le plus pénalisant pour les situations de 3<sup>e</sup> catégorie du coude 48E. De plus, pour l'IRSN, l'application du découpage temporel de ce transitoire en plusieurs plages n'est pas de nature à modifier le transitoire thermique, seule la partie du chargement mécanique induit par ce transitoire a fait l'objet d'une estimation plus fine en définissant des intervalles de temps. **De ce fait, cette démarche n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

### **Justification de la tenue à la rupture brutale du coude 48E de SLB2**

L'analyse du risque de rupture brutale du coude 48E de SLB2 repose sur les calculs mécaniques réalisés en utilisant les méthodes simplifiées décrites dans le code RSE-M<sup>5</sup>. La tenue à la rupture brutale de ce coude a été étudiée pour chaque catégorie de situations (*i.e.* 2<sup>e</sup> catégorie, 3<sup>e</sup> catégorie, 4<sup>e</sup> catégorie et épreuve hydraulique) avec un défaut de référence de dimensions 10 mm × 40 mm, pour les durées de fonctionnement jusqu'à VD4 + 10 ans et VD4 + 20 ans. **La méthode de justification retenue n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Selon les résultats des calculs mécaniques obtenus par EDF, le risque de rupture brutale du coude 48E est écarté en 2<sup>e</sup> catégorie, 4<sup>e</sup> catégorie et épreuve hydraulique jusqu'à VD4 + 20 ans.

---

<sup>5</sup> RSE-M : règles de surveillance en exploitation des matériels mécaniques des îlots nucléaires des réacteurs à eau sous pression.

En 3<sup>e</sup> catégorie, ce risque est écarté jusqu'à VD4 + 10 ans en retenant une durée de fonctionnement de 377 000 heures applicable à la tranche SLB2 à VD4 + 10 ans et en valorisant l'optimisation par découpage du transitoire 58\_3. Les facteurs de marge obtenus sont en effet supérieurs à 1 pour le risque d'amorçage et pour le risque de propagation instable du défaut considéré.

En conclusion, pour l'IRSN, l'application de nouvelles hypothèses relatives au découpage du transitoire 58\_3 et à la durée de fonctionnement spécifique au réacteur de SLB2 est acceptable. Les calculs de justification de la tenue à la rupture brutale en considérant le défaut générique de dimensions de 10 mm x 40 mm ont été réalisés par EDF en utilisant les méthodes codifiées dans le RSE-M selon la pratique habituelle. Aussi, **l'IRSN considère que la tenue à la rupture brutale du coude 48E de SLB2 est justifiée à l'échéance de VD4 + 10 ans (avec une durée de fonctionnement à 377 000 heures), c'est-à-dire au plus tard jusqu'au 1<sup>er</sup> février 2033.**

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté