

Fontenay-aux-Roses, le 15 mars 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00056

Objet : Avis sur la tenue à la rupture brutale des coudes moulés froids du CPP des paliers 900 et 1300 MWe

Réf. [1] Saisine ASN - CODEP-DEP-2018-030736 du 25 juin 2018
[2] Lettre ASN - CODEP-DEP-2016-031633 du 20 octobre 2016

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur certains aspects de la démonstration présentée par EDF de tenue en service des coudes moulés en acier austéno-ferritique du circuit primaire principal (CPP) des réacteurs de 900 et 1300 MWe. Plus particulièrement, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur :

- l'analyse statistique des retassures¹ ;
- les lois de comportement en traction employées et les limites d'élasticité retenues dans les analyses génériques de risque de rupture brutale par type de coudes ;
- le caractère judicieux et suffisant du maillage² et des coupes³ utilisés dans les analyses génériques de risque de rupture brutale par type de coudes.

La démonstration par EDF de la tenue en service des coudes moulés chauds et froids des réacteurs des paliers 900 MWe et 1300 MWe a fait l'objet de travaux importants depuis les années 1980. Cette démonstration repose notamment sur la compréhension de la problématique du vieillissement thermique affectant certains coudes et sur la connaissance des défauts inhérents au procédé de fabrication par moulage statique. Les dossiers de synthèse d'EDF, visant à apporter la démonstration de l'absence de risque de rupture des coudes, ont été mis à jour en 2009 pour les coudes chauds et froids et ont fait l'objet d'une analyse de l'IRSN présentée lors de la réunion du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) du 8 juin 2016. Suite à cette réunion, l'ASN a émis des demandes par la lettre en référence [2]. Afin de justifier le maintien en service des coudes, EDF a transmis une analyse statistique des retassures qui est utilisée pour réduire la taille du défaut de référence pris en compte dans les analyses de tenue à la rupture brutale, ainsi que des dossiers

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre 8 440 546 018

¹ Manque de métal observé en fonderie.

² Discrétisation spatiale d'un milieu continu pour construire un modèle de calcul.

³ Sections de la structure modélisée dans lesquelles sont calculés les paramètres nécessaires pour l'analyse.

de justification générique de tenue à la rupture brutale par famille de coudes froids, conformément à la demande n° 3 de la lettre de l'ASN.

Concernant le premier point de la saisine, l'IRSN a constaté que l'échantillon constitué par EDF pour l'analyse statistique n'était pas représentatif. Son étendue ne permet pas de couvrir la population de coudes en service et il ne contient pas, à ce jour de coudes de type A et B⁴, coudes comportant a priori le plus grand nombre de défauts de compacité. Ceci remet en cause la pertinence de l'analyse statistique qu'EDF exploite afin de revoir à la baisse les dimensions du défaut de référence des analyses mécaniques par rapport au défaut de référence retenu antérieurement.

Dans son analyse statistique, EDF utilise une loi de probabilité de Weibull pour modéliser la distribution des hauteurs intégrées et des longueurs des retassures. L'IRSN considère satisfaisante l'approche d'EDF qui aboutit à retenir cette loi. En revanche, concernant la relation entre la hauteur et la longueur des retassures, l'IRSN considère que l'utilisation de seulement cinq valeurs n'est pas suffisante pour définir la frontière, assortie d'un intervalle de confiance, entre le domaine des retassures potentiellement présentes dans les coudes moulés en service et le domaine des retassures qui ont été exclues au stade de la fabrication. Pour l'IRSN, la transposition géométrique du critère du code ASTM (American society for testing material) d'acceptation des retassures en fabrication, en termes de longueur et de hauteur intégrée enveloppes, reste à établir, en considérant un nombre de données statistiquement significatif, issues d'un échantillon représentatif. En outre, cette démarche nécessite d'analyser les performances des contrôles non destructifs réalisés en fabrication, et l'influence de ces performances sur le résultat, en complément de l'approche purement statistique actuellement présentée par EDF.

L'IRSN exprime également des réserves sur les capacités de détection par radiographie des défauts de faible volume dans les coudes moulés, en particulier pour des retassures fermées, ou inclinées. Ces réserves pourraient en outre conduire à mettre en évidence un manque de conservatisme dans l'évaluation de la hauteur des retassures, en particulier dans le cas de retassures filamenteuses de faible volume.

EDF conclut de son analyse statistique que la probabilité qu'il existe une retassure d'une hauteur supérieure à 5 mm et d'une longueur supérieure à 40 mm sur un coude moulé du parc en exploitation est nulle. Par ailleurs, EDF obtient à partir de l'analyse des contrôles de suivi en service une hauteur enveloppe des retassures de 7 mm, en tenant compte des incertitudes associées au procédé de contrôle radiographique. Néanmoins, les rapports d'expertise communiqués par EDF mettent en évidence que des défauts plus grands qu'un défaut de 7 mm par 40 mm ont été caractérisés par le passé ce qui, pour l'IRSN, est potentiellement en contradiction avec les conclusions de l'analyse statistique d'EDF selon laquelle la présence de tels défauts serait hautement improbable.

A l'issue de son expertise, l'IRSN estime que, compte tenu du manque de représentativité de l'échantillon considéré et de l'impossibilité de valider la conclusion de l'analyse statistique d'EDF à partir du retour d'expérience, le niveau de confiance qui peut être accordé à l'estimation d'EDF des hauteurs intégrées et des longueurs des défauts potentiellement présents dans les coudes moulés en service est insuffisant. Pour l'IRSN, cette étude statistique ne permet donc pas de justifier la révision à la baisse des dimensions du défaut de référence utilisé dans les analyses génériques du risque de rupture brutale. **Ceci amène l'IRSN à formuler la recommandation en annexe 1.**

Concernant le deuxième point de la saisine, EDF a engagé des calculs de risque de rupture brutale par famille de coude froid (A, B, D⁵ et E⁶) et a choisi de séparer chaque famille en deux populations selon la valeur de la limite

⁴ Coudes à 90° situés sur les « branches en U » des circuits primaires principaux, entre les générateurs de vapeur et les pompes primaires.

⁵ Coudes situés à la sortie des générateurs de vapeur.

d'élasticité du coude à l'état neuf. Il s'agit d'éviter de réaliser des calculs pour un coude fictif, enveloppe de la famille, et qui comporterait à la fois une faible limite d'élasticité et une faible ténacité à l'état vieilli. L'IRSN a vérifié que l'exploitant a bien pris en compte les limites d'élasticité de recette de chaque coude pour tous les types de coude. Ainsi, cette séparation en deux familles apparaît acceptable. L'IRSN a constaté également que les valeurs de ténacité à l'état vieilli utilisées correspondaient aux valeurs les plus faibles de chaque population. Elles ont été obtenues à partir de formules de prédiction que l'IRSN considère acceptables.

Concernant les lois de traction utilisées, la méthodologie employée étant identique à celle du dossier précédent, l'IRSN n'a pas de remarque supplémentaire. Au terme de son analyse, l'IRSN conclut que les lois de comportement en traction employées et les limites d'élasticité retenues dans les analyses génériques sont acceptables.

Concernant le troisième point de la saisine, l'IRSN n'a pas de remarques relatives aux maillages et aux coupes utilisés dans les différents calculs élastiques. Les maillages utilisés sont analogues à ceux utilisés précédemment avec des améliorations au niveau de la description de la structure modélisée pour prendre en compte les délardages⁷ et le profil après usinage des coudes de type A. En ce qui concerne la définition des coupes, les sections considérées pour les analyses simplifiées sont plus nombreuses que dans les analyses effectuées précédemment, ce qui est satisfaisant. Concernant les calculs élastoplastiques, l'IRSN n'a pas de remarques sur les maillages utilisés. Le raffinement des maillages utilisés au voisinage des défauts modélisés est analogue à ceux des études antérieures produites par EDF. L'IRSN confirme donc que les maillages et les coupes retenus par EDF sont judicieux et suffisants.

Enfin, un certain nombre de calculs ont été menés par EDF avec un défaut de 7×40 mm. Seule la valeur antérieure de 10×40 mm étant, selon l'IRSN, justifiée, les conclusions relatives au risque de rupture brutale tirées des résultats correspondants ne peuvent pas être validées. L'IRSN estime que les études concernées doivent être reprises conformément à la recommandation en annexe 1.

Pour le Directeur général et par délégation,

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

⁶ Coudes situés à l'entrée de la cuve, au bout des branches froides des boucles du circuit primaire principal.

⁷ Usinage effectué afin de faciliter le soudage.

Annexe 1 à l'avis IRSN/2019-00056 du 15 mars 2019

Recommandation

Recommandation :

L'IRSN recommande qu'EDF maintienne un défaut générique plan de 10 mm de hauteur et de 40 mm de longueur dans les hypothèses des analyses génériques du risque de rupture brutale nécessaires à la démonstration de l'aptitude au service des coudes moulés du circuit primaire principal des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe et reprenne en conséquence les études correspondantes.