

Fontenay-aux-Roses, le 14 janvier 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00007

Objet : Avis sur les nouvelles formules, établies en 2016, de prévision de la ténacité des coudes moulés chauds et froids du CPP des paliers 900 et 1300 MWe

Réf. [1] Saisine ASN - CODEP-DEP-2018-025639 du 31 mai 2018
[2] Lettre ASN - CODEP-DEP-2016-031633 du 20 octobre 2016

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné les nouvelles formules de prévision de la ténacité des coudes moulés chauds et froids du circuit primaire principal (CPP) des réacteurs de 900 et 1300 MWe exploités par EDF.

Certains composants du circuit primaire principal des réacteurs à eau pressurisée (REP), notamment les coudes, certains tubes droits, les piquages inclinés et les volutes de pompes, sont élaborés par moulage. Ils sont constitués d'aciers inoxydables austéno-ferritiques comportant entre 5 % et 25 % de ferrite dans une matrice austénitique.

La justification de l'aptitude au service de ces composants moulés repose en particulier sur des analyses mécaniques du risque de rupture brutale. Ces analyses prennent en compte les défauts de fabrication et la résistance à l'amorçage de fissure du matériau.

Ces matériaux sont sujets à un durcissement par vieillissement thermique de la ferrite à des températures de l'ordre de 300 °C, qui a pour effet de diminuer globalement les propriétés de résilience et de ténacité du matériau. La ténacité des coudes moulés n'étant ni mesurée à la recette, ni déterminée en service, une méthode de prévision de la ténacité du matériau vieilli a été proposée par EDF pour ces composants et a fait l'objet de plusieurs expertises de l'IRSN, présentées au groupe permanent pour les équipements sous pression nucléaires.

Après l'introduction des coefficients de pénalisation des chargements à prendre en compte dans les analyses de risque de rupture brutale définis par l'arrêté du 10 novembre 1999, EDF a proposé des prévisions de la ténacité couvrant la population des données disponibles à un fractile de 16 % près, correspondant à une loi moyenne des données prises en compte minorée d'un écart type.

En 2015, ces formules de prévision ont été examinées par l'IRSN et n'ont pas été jugées satisfaisantes. En fin d'instruction technique, EDF a fait état de la mise au point de nouvelles

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

formules à partir de données enrichies de tous les résultats expérimentaux acquis au fil du temps, tant par expertise de composants déposés qu'à l'occasion de programmes de R&D.

Afin d'évaluer la ténacité minimale des matériaux, l'ASN a demandé dans sa lettre citée en référence [2] à l'exploitant de « *procéder à la validation des formules de prévision de la fragilisation en vérifiant qu'elles donnent une ténacité couvrant 84 % des données disponibles (fractile 16 %). [L'ASN] vous demande de considérer une population constituée de l'ensemble des données individuelles de ténacité mesurées issues de chaque éprouvette et non de valeurs moyennes calculées sur chaque pièce expertisée. La validation devra porter d'une part sur la vérification du fractile 16 % pour les valeurs obtenues pour la prévision de $J_{0,2}$ et d'autre part sur la même vérification pour les valeurs obtenues pour la prévision de J_1 et J_3 ¹».*

Par la saisine en référence [1], l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur :

- la conformité des nouvelles formules de prévision à la demande ci-dessus par l'analyse de la suffisance des données utilisées dans la validation (exhaustivité des produits et des essais, essais non retenus, regroupement des données, valeurs individuelles versus valeurs moyennes) ;
- les éléments qui pourraient fausser les résultats de la phase de validation, malgré la conformité à la demande évoquée ci-avant.

Selon EDF, la compréhension des mécanismes de vieillissement en jeu reste incomplète, de même que celle de leur influence sur les propriétés mesurables telles que la résilience. L'IRSN partage ce constat et considère acceptable le choix d'EDF de construire des formules non pas fondées sur la physique des phénomènes mais visant à interpoler au mieux les données de la base expérimentale. Par conséquent, l'importance des données retenues pour l'élaboration de ces modèles est du premier ordre et leur choix constitue un point majeur.

À ce titre, l'IRSN considère que les éléments apportés par l'exploitant permettent effectivement de s'assurer de la représentativité des données utilisées pour ajuster les paramètres des modèles de prévision vis-à-vis des produits moulés installés sur le parc. En particulier, l'IRSN observe et partage les choix de :

- l'intégration de la ferrite et de sa résilience à l'état initial dans les nouvelles formules de prévision de la résilience à l'état vieilli ;
- l'exclusion des données issues de vieillissements accélérés à des températures nettement supérieures aux températures de fonctionnement (> 400 °C).

Les nouvelles formules ont ainsi été déterminées après avoir étudié différentes possibilités et différents paramètres pour les établir (chimiques, température du traitement thermique...) qui n'ont au final pas été retenus. L'IRSN constate que l'exploitant a visé à établir de nouvelles formules sans a priori en étudiant et identifiant les paramètres à l'influence significative lors de la phase d'ajustement.

Étant donné les incertitudes épistémiques présentes, EDF évoque la possibilité de réajuster les modèles proposés avec l'acquisition de nouveaux résultats ou le développement des connaissances sur les mécanismes de vieillissement en jeu. L'IRSN considère qu'une telle mise à jour est nécessaire, ce qui conduit à émettre l'observation en annexe 2.

¹ $J_{0,2}$, J_1 et J_3 représentent la résistance du matériau à la propagation de fissure. Ils correspondent à l'énergie nécessaire à une propagation limitée d'une fissure (0,2 mm pour $J_{0,2}$, 1 mm pour J_1 , 3 mm pour J_3). $J_{0,2}$ est souvent considérée comme la résistance à l'amorçage.

L'IRSN a analysé la base de données de validation, les résultats des comparaisons entre les mesures et les prévisions des paramètres de ténacité, et enfin la nature des mesures non couvertes par la chaîne de prévision.

L'IRSN partage l'analyse d'EDF des résultats des comparaisons et constate que les proportions de mesures non couvertes par les prévisions sont effectivement inférieures aux fractiles visés, quel que soit le paramètre de ténacité étudié. En particulier, les prévisions au fractile 16 % couvrent bien un ratio supérieur à 84 % des valeurs de $J_{0,2}$, J_1 et J_3 obtenues par éprouvette. **Par conséquent, à l'issue notamment de l'analyse de la suffisance des données utilisées dans leur validation, l'IRSN estime que les nouvelles formules de prévision sont conformes à la demande de l'ASN rappelée ci-dessus.**

Une analyse des données non couvertes par les prévisions selon la chaîne proposée par l'exploitant a permis de noter des points communs en termes de coude, de coulée et de réacteur d'origine de ces données.

Au sujet de la base de validation, l'IRSN observe que les coudes chauds et les essais qui en sont issus constituent la part principale des données de la base. Dans la mesure où les coudes chauds les plus sensibles ont été ou vont être déposés, il est essentiel que les formules de prédiction permettent d'obtenir des valeurs pertinentes pour les coudes froids les plus sensibles qui pourraient être maintenus en place. Or, différents coudes froids à fort taux de chrome ont été déposés récemment et sont disponibles pour des expertises.

L'IRSN rappelle de plus qu'une coulée particulière « 21816 » a été exclue de la base de données sans qu'il n'y ait à ce jour d'élément bien établi permettant d'expliquer le comportement singulier des coudes de cette coulée. Dans ces conditions, l'existence d'autres coulées singulières ne peut être exclue.

Ainsi, pour l'IRSN, la base de validation a vocation à s'étendre au gré de la réalisation de nouvelles expertises qui doivent couvrir les différences de coulées à l'origine des coudes sensibles. **Ceci amène l'IRSN à formuler la recommandation en annexe 1.**

En conclusion, l'IRSN estime que, en l'état des connaissances, les formules de prévision de la ténacité des coudes moulés maintenus en place sont satisfaisantes et que, compte tenu des méconnaissances qui subsistent sur certains aspects, EDF doit poursuivre ses efforts d'amélioration des connaissances et d'intégration des connaissances nouvelles.

Pour le Directeur général et par délégation,

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'Expertise de Sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN/2019-00007 du 14 janvier 2019

Recommandation

Recommandation :

L'IRSN recommande que l'exploitant définisse un programme d'expertise des coudes froids les plus sensibles qui ont été ou seront prochainement déposés et intègre les résultats de ténacité correspondants à la base de validation des formules de prédiction de la ténacité des coudes moulés.

Annexe 2 à l'avis IRSN/2019-00007 du 14 janvier 2019

Observation

Observation :

Étant donné les connaissances incomplètes des mécanismes de vieillissement des aciers austéno-ferritiques des produits moulés, l'IRSN considère que l'exploitant devrait réexaminer régulièrement la pertinence des formules de prévision en intégrant les connaissances et données nouvelles.