



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 24 février 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00043

Objet : EDF – REP – Palier 900 MWe – Coudes moulés en CF8-M – Analyse de la tenue à la rupture brutale des coudes moulés chauds.

Réf. : Saisine ASN – CODEP-DEP-2021-031395 du 30 juillet 2021.

Les circuits primaires principaux (CPP) des réacteurs de 900 MWe du palier CPY comportent des coudes en acier austénoferritique obtenus par moulage. Ces coudes moulés peuvent comporter des retassures¹ qui sont des défauts inhérents au moulage.

Au début des années 1980, il a été découvert que le matériau de nuance CF8-M subissait un vieillissement thermique aux températures du CPP, ce qui affecte certaines de ses propriétés mécaniques, à savoir la résilience et la résistance à la déchirure ductile. En effet, le vieillissement thermique tend à abaisser les propriétés du matériau vis-à-vis de la tenue à la rupture brutale. Les coudes moulés dits « chauds » (de type C) situés en amont du générateur de vapeur (GV) sur la branche chaude du circuit primaire qui véhicule le fluide primaire à une température supérieure à 320 °C sont plus affectés que les autres coudes, puisque le phénomène est thermiquement activé (*cf.* figure ci-après).

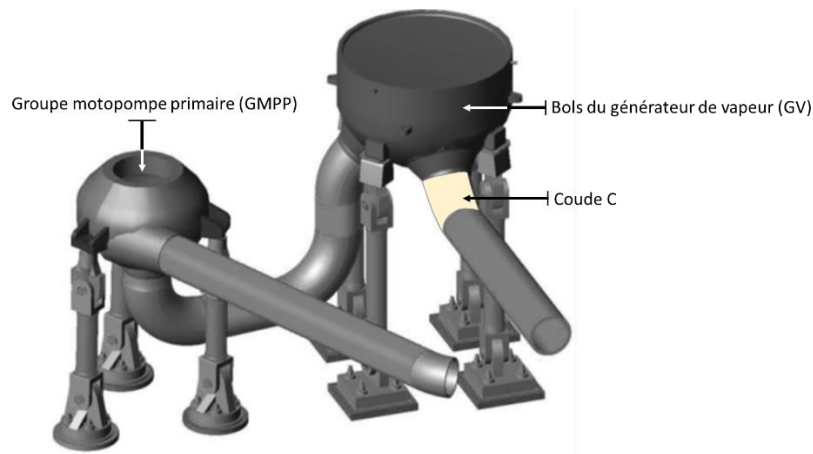
Depuis la découverte de ce mode de vieillissement, EDF a engagé de nombreuses actions telles que le lancement de programmes de R&D pour bien comprendre le phénomène, la relecture des rapports de fin de fabrication des coudes pour y localiser d'éventuels défauts, l'établissement de formules de prédiction de la résistance à la déchirure ductile à l'état vieilli, le suivi en service de certains coudes, etc. Par ailleurs, une quinzaine de coudes C du palier 900 MWe ont d'ores et déjà été remplacés à ce jour.

À la suite de la réunion du GP ESPN² 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 10 mm x 40 mm dans le cadre des justifications du maintien en service des coudes C des réacteurs du palier 900 MWe.

¹ 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.

² Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN).

MEMBRE DE
ETSON



Positionnement des coudes chauds de type C, dits « coudes C », du circuit primaire principal.

Dans le cadre de la mise à jour des dossiers de référence réglementaire, EDF a transmis une étude de justification de la tenue à la rupture brutale des coudes C du palier CPY pour les situations de 2^e catégorie. Cette note porte sur l'ensemble des 69 coudes du palier CPY, montés d'origine et toujours en service. Elle vise à justifier la tenue mécanique de ces coudes jusqu'à la 4^e visite décennale plus 20 ans (VD4 + 20 ans). Parmi ces 69 coudes, EDF s'est engagé à remplacer prochainement 12 coudes, mais la durée de fonctionnement écourtée de ces coudes n'est pas valorisée dans l'étude.

Par la saisine citée en référence, l'ASN demande l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le dossier de justification de la tenue à la rupture brutale des coudes moulés C de nuance CF8-M du CPP. Plus particulièrement, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur :

- l'analyse de la tenue à la rupture brutale des coudes moulés C en situations de 2^e catégorie ;
- l'absence de l'analyse des situations de 3^e et 4^e catégorie.

Par ailleurs, l'ASN demande à l'IRSN de se positionner sur l'acceptabilité du report du remplacement du coude 63C du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire du Blayais en 5^e visite décennale.

➤ **Justification de la tenue à rupture brutale des coudes C en situations de 2^e catégorie**

Pour la justification de la tenue à la rupture brutale en situations de 2^e catégorie, EDF commence par un calcul mécanique selon des méthodes simplifiées du code RSE-M³, en postulant un comportement élastique du matériau et en considérant un modèle de boucle primaire générique. En cas de difficulté de démonstration, EDF affine alors les hypothèses de calcul, voire retient un comportement élastoplastique sur un maillage tridimensionnel fissuré. Pour l'IRSN, cette démarche par étape reprend des hypothèses qui ont déjà été acceptées par le passé ou qui sont justifiées en regard de l'état réel des boucles primaires. **Cette démarche n'appelle donc pas de remarque de la part de l'IRSN.**

En ce qui concerne les valeurs de résistance à la déchirure ductile prévisionnelles retenues dans les études, celles-ci sont conformes aux nouvelles formules de prévision. Toutefois, les dernières valeurs disponibles ne sont pas retenues pour tous les coudes, ce qui conduit à de légères fluctuations des facteurs de marge. Sur ce point, EDF s'est engagé à réaliser une analyse d'impact des évolutions des propriétés mécaniques sur les coudes concernés pour fin juin 2022, en précisant néanmoins qu'il ne s'attend pas à une remise en cause de la conclusion de l'analyse mécanique. **En effet, à l'issue de son analyse, EDF conclut que les critères mécaniques vis-à-vis de la rupture brutale en situations de 2^e catégorie jusqu'en VD4 + 20 ans sont vérifiés pour tous les coudes, à l'exception des coudes 66C et 41C qui seront déposés en 4^e visite décennale (VD4).**

³ RSE-M : règles de surveillance en exploitation des matériels mécaniques des îlots nucléaires des réacteurs à eau sous pression.

➤ **Justification de la tenue des coudes C en situations de 3^e et 4^e catégorie**

Dans le dossier présenté par EDF, les situations de 3^e et 4^e catégorie n'ont pas été réétudiées, car les études antérieures mettaient en évidence des facteurs de marges significatifs, supérieurs à ceux obtenus en situations de 2^e catégorie. De ce fait, EDF a fourni un argumentaire qui conclut que les critères mécaniques restent également vérifiés pour ces catégories. **Pour l'IRSN, l'argumentaire sur la non prise en compte de l'analyse en situations de 3^e et 4^e catégorie est acceptable afin de justifier la tenue à la rupture brutale pour les coudes C, à l'exception du coude 66C pour lequel l'argumentaire ne permet pas de conclure de façon certaine à la présence de marge en situations de 4^e catégorie.**

À noter également une particularité pour quatre coudes C, à savoir est l'existence de sous-épaisseurs qu'il convient de prendre en compte. Sur ce point, EDF s'est engagé à fournir des justifications spécifiques pour juin 2022.

Dans le cas où les compléments à venir en juin 2022 sur l'analyse des coudes C en sous-épaisseur et l'analyse d'impact des évolutions des propriétés mécaniques conduiraient à des résultats satisfaisants, l'IRSN estime que 67 des 69 coudes étudiés du palier CPY sont justifiés jusqu'en VD4 + 20 ans.

En ce qui concerne les deux coudes C pour lesquels les facteurs de marges ne sont pas suffisants en situations de 2^e catégorie, ceux-ci seront déposés au cours de la 4^e visite décennale des réacteurs concernés. EDF estime en effet que la justification de leur maintien en l'état est robuste, d'une part en se basant sur les études mécaniques au référentiel VD3 datant de 2009 qui ne prennent pas en compte les nouvelles formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile, d'autre part en considérant les études mécaniques plus récentes datant de 2018 et 2021 qui s'appuient sur le référentiel VD4 avec les nouvelles formules de prévision pour analyser la tenue des coudes C jusqu'en VD4 + 20 ans.

À l'issue de son expertise, l'IRSN considère que la justification de la tenue mécanique à la rupture brutale des coudes 41C et 66C jusqu'à leur dépose en VD4, sur la base des nouvelles formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile, n'est pas apportée dans le dossier présenté par l'exploitant et que les estimations de facteur de marge, selon les différentes études mécaniques existantes (antérieures et récentes), ne conduisent pas aux mêmes conclusions. En effet, l'IRSN considère qu'EDF doit justifier la tenue à la rupture brutale des coudes 41C et 66C jusqu'à leur remplacement en VD4, pour les situations de 2^e catégorie au référentiel VD3 en utilisant les nouvelles formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile et en postulant un défaut de référence de dimensions 10 mm x 40 mm. Pour le coude 66C, l'IRSN estime nécessaire que les situations de 4^e catégorie soient analysées. Ces éléments amènent l'IRSN à formuler la recommandation en annexe.

En ce qui concerne la justification de la tenue à la rupture brutale des coudes C des réacteurs n° 4 et n° 5 de la centrale nucléaire du Bugey (Palier CPO), celle-ci a été apportée par le passé sur la base d'une comparaison avec les résultats obtenus pour les coudes C du palier CPY. Dans le dossier présenté par EDF, faisant l'objet de la présente expertise, **cet argumentaire a été mis à jour et n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Enfin, le coude 63C du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire du Blayais fait partie des 67 coudes justifiés jusqu'en VD4 + 20 ans pour toutes les catégories de situation. De plus, ce coude ne fait pas partie des coudes les plus affectés par le vieillissement thermique : ses valeurs de résistance à la déchirure ductile estimées en VD4 + 20 ans sont de l'ordre de grandeur de celles de coudes dont la dépose n'est pas envisagée. **À ce titre, un report de la dépose du coude 63C au-delà de la 4^e visite décennale à une échéance ultérieure est acceptable.**

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00043 DU 24 FÉVRIER 2022

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF justifie la tenue à la rupture brutale des coudes 41C et 66C jusqu'à leur remplacement en VD4, pour les situations de 2^e catégorie au référentiel VD3 en utilisant les nouvelles formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile et un défaut de référence de dimensions 10 mm x 40 mm. Pour le coude 66C, la justification devra également être apportée vis-à-vis des situations de 4^e catégorie.