



DIRECTION DES ÉQUIPEMENTS
SOUS PRESSION NUCLÉAIRES

Montrouge, le 20 octobre 2016

N° Réf : CODEP-DEP-2016-031633

Monsieur le Directeur
Division Production Nucléaire
Site Cap Ampère
1, Place Pleyel
93282 SAINT-DENIS Cedex

Objet : Vieillessement et tenue en service des coudes moulés chauds et froids du circuit primaire principal des réacteurs de 900 et 1300 MWe

Réf : Voir annexe

Monsieur le Directeur,

Les coudes moulés chauds et froids sont des composants de tuyauteries installés sur les circuits primaires principaux des réacteurs à eau sous pression. Ils sont présents en branches chaudes (coudes C) et en branches froides (coudes A, B et D sur les branches en U et coudes E en entrée de cuve).

Les coudes installés sur les réacteurs de 900 MWe et 1300 MWe ont été fabriqués en acier austéno-ferritique comportant une phase austénitique et une phase ferritique. La phase ferritique est susceptible de subir un vieillissement sous l'effet de la température de fonctionnement du circuit primaire principal. Certains éléments d'alliage présents dans le matériau (molybdène, chrome et silicium) favorisent l'apparition de la phase ferritique et par voie de conséquence la sensibilité du coude au vieillissement. Il en résulte un abaissement de certaines propriétés mécaniques, appelé fragilisation.

Par ailleurs, ces coudes comportent des retassures sous formes d'amas ou de filaments ou encore des inclusions ou des soufflures, inhérentes au mode de fabrication par moulage statique, qui pourraient, combinées au vieillissement thermique, augmenter leur risque de rupture brutale.

Conformément à l'article 12 de l'arrêté en référence [1], « *l'exploitant met en œuvre les moyens nécessaires pour connaître l'évolution, en exploitation, des propriétés des matériaux constitutifs des appareils ayant un impact sur le maintien de leur intégrité. Il met en œuvre un suivi particulier pour chaque mode de dégradation des propriétés des matériaux identifié à la conception et susceptible de remettre en cause significativement les valeurs initiales des propriétés des matériaux intervenant dans les démonstrations de résistance de l'appareil.* » Par ailleurs, conformément à l'article 13 du même arrêté, « *l'exploitant met en œuvre les moyens nécessaires pour connaître la nature, l'origine et l'évolution éventuelle des défauts constatés sur les appareils [...] au cours de l'exploitation. Un défaut ne peut être laissé en service que s'il ne présente pas de risque d'instabilité [...] ni de risque d'amorçage à la déchirure [...].* »

Pour répondre à ces objectifs, les programmes de recherche que vous avez mis en œuvre ont permis l'établissement de formules de prévision de la ténacité à l'état vieilli ainsi que d'une base de données fondées sur des résultats obtenus par des expertises de coudes déposés et de lingotins et par des prélèvements de matière sur des coudes en service.

Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs avis de la section permanente nucléaire de la commission centrale des appareils à pression, les derniers datant de 1996 et 1997.

Depuis, vous avez modifié les formules de prévision et avez augmenté significativement les connaissances en matière de comportement des coudes en service tant vis-à-vis des défauts présents que de l'importance de leur fragilisation au regard des chargements thermiques et mécaniques rencontrés en exploitation. En 2009, vous avez transmis à l'ASN deux nouveaux dossiers, en références [2] à [4], présentant ces nouveaux éléments, dont de nouvelles formules de prévision qui constituent une évolution par rapport à celles qui avaient fait consensus en 1996 et 1997.

A la suite de l'avis en référence [5] de l'IRSN, qui s'est prononcé sur les dossiers en références [2] à [4], j'ai demandé au groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires de me faire part de son avis sur :

- les formules de prévision du vieillissement thermique de 2009 et la justification de leur pertinence ;
- le contrôle en service des coudes, notamment son caractère suffisant ;
- les analyses mécaniques réalisées par EDF en vue de démontrer la tenue des coudes, pour toutes les catégories de situation, en présence de défauts avérés ou dont la présence ne peut être exclue ;
- la stratégie de remplacement des coudes.

Le groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires s'est réuni le 8 juin 2016 et m'a fait part de son avis et de ses recommandations en référence [6].

Vous trouverez en annexe mes demandes détaillées qui en résultent.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Le directeur général adjoint

SIGNÉ

Julien COLLET

Annexe 1 à la lettre CODEP-DEP-2016-031633

- [1] Arrêté du 10 novembre 1999 relatif à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression.
- [2] Dossier d'EDF ENRECP080115 A du 24 avril 2009 « produits moulés du CPP : Dossier de synthèse – Tenue en service des coudes chauds du CPP 900 MWe »
- [3] Dossier d'EDF ENRECP080173 A du 6 janvier 2009 « produits moulés du CPP : Dossier de synthèse – Tenue en service des coudes froids du CPP 900 MWe »
- [4] Dossier d'EDF EN ES RE/02 05006 A de juin 2002 « dossier de synthèse sur la tenue en service des coudes chauds des CPP 900-1300 MWe »
- [5] Avis de l'IRSN PSN-EXP/SES/2016-00039 du 22 mars 2016 et fiche technique FT/AV/PSN/2015-00091 du 7 mai 2015
- [6] Avis du GP ESPN du 8 juin 2016 relatif à la tenue en service des coudes moulés en acier austéno-ferritique
- [7] Lettre d'EDF D455016027420 du 4 mai 2016 relative aux positions et actions en vue du GP ESPN du 8 juin 2016
- [8] Lettre d'EDF D4550.32-12/1319 du 5 avril 2012 relative aux produits moulés du CPP – Coudes du palier 1300 MWe
- [9] Fiche EDF Positions / actions D455016024549 indice 0 transmise à l'ASN le 4 mai 2016
- [10] Guide relatif à l'analyse de risques pour les ESPN de niveau N1, cas des générateurs de vapeur de remplacement, AFCEN, PTAN RM.14.309.A
- [11] Directive 2014/68/UE du parlement européen et du conseil du 15 mai 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché des équipements sous pression

Prévision du comportement du matériau vieilli

Des formules de prévision de la ténacité ont été présentées lors de séances des sections permanentes nucléaires de la commission centrale des appareils à pression en 1996 et 1997. Ces formules de prévision constituaient des bornes inférieures des résultats de ténacité disponibles à l'époque. Depuis l'application de l'arrêté en référence [1] et la prise en compte de coefficients de sécurité sur les chargements, vous avez proposé une évolution des formules de prévision en 2009 (dossiers en référence [2] à [4]) pour définir en particulier des valeurs de ténacité au fractile 16 % (moyenne moins un écart-type).

Je considère que ces formules de prévision au fractile 16 % doivent faire l'objet d'une étape de validation afin de vérifier que la prévision est enveloppe des valeurs mesurées sur des produits prélevés sur des coudes déposés ou en service, au fractile 16 % de cette population de données près.

Demande 1 : Je vous demande 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 %). Je 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 .

Par ailleurs, compte tenu de l'évolution significative des propriétés des matériaux ressortant des formules de prévision, je vous rappelle qu'il est indispensable qu'un suivi des propriétés mécaniques des matériaux soit réalisé.

Demande 2 : Je vous demande de me proposer avant mi-2017 un programme de suivi des propriétés mécaniques des coudes en service.

Analyse du risque de rupture ductile des coudes

Les coudes chauds présentent une sensibilité au vieillissement thermique quand leur teneur en chrome équivalent atteint 23,5 %. Cette limite a été portée à 24 % pour les coudes froids. L'ensemble des coudes dont le taux de chrome équivalent dépasse ces seuils sont dits sensibles.

Le risque de rupture ductile des coudes sensibles vieillis chauds des réacteurs de 900 MWe et froids des réacteurs de 900 et 1300 MWe a été réévalué par EDF pour l'ensemble des catégories de situations. Toutefois, vous n'avez pas pris systématiquement en compte les moments mécaniques induits lors des remplacements de générateurs de vapeur. Sans justification complémentaire, je considère que l'absence de prise en compte des moments mécaniques induits lors des remplacements de générateurs de vapeur ne permet pas de garantir un niveau de conservatisme suffisant.

Pour les coudes A, B, D et E que vous prévoyez de laisser en service sur les réacteurs de 900 MWe, je considère que la tenue du coude le plus sensible de chaque famille doit être analysée pour l'ensemble des catégories de situation. Pour cette vérification, il pourra être tenu compte des nouvelles formules proposées en 2016, si elles satisfont les exigences mentionnées dans la demande 1 de la présente annexe. Les moments mécaniques induits par les remplacements de générateurs de vapeur et des valeurs de la limite d'élasticité du matériau appropriées devront également être pris en considération.

Demande 3 : Je vous demande de fournir les dossiers de justification de la tenue mécanique de chaque famille de coudes froids sensibles installés sur les réacteurs :

- de 900 MWe, avant fin 2017, conformément à votre engagement en référence [7] ;
- de 1300 MWe, avant fin 2018.

Stratégie de remplacement des coudes

Le vieillissement thermique des coudes moulés du circuit primaire principal engendre une fragilisation non prévue à la conception de ces composants. Les coudes dits sensibles présentent les ténacités et les résiliences les plus faibles et leurs caractéristiques mécaniques ne sont pas entièrement connues.

Pour les réacteurs de 1300 MWe concernés (Paluel 1, 2 et 3), vous vous êtes engagé, par lettre en référence [7], à remplacer l'ensemble des coudes sensibles avant la quatrième visite décennale de ces réacteurs, par lettre en référence [8], à l'exception du coude 79E du réacteur Paluel 2, le seul situé en entrée de cuve.

Je souligne l'importance de cet engagement et suis en attente de la justification du maintien en service du coude 79E avant fin 2016.

Pour les réacteurs de 900 MWe, douze coudes chauds sont actuellement considérés comme sensibles et en service sur les réacteurs de Gravelines 6 (126C), Saint Laurent B2 (44C et 48C), Chinon B1 (55C), Chinon B3 (141C), Blayais 1 (41C), Blayais 2 (63C), Blayais 3 (66C), Cruas 2 (91C et 92C) et Cruas 3 (87C et 88C).

Vous avez prévu de remplacer les coudes de Gravelines 6, Chinon B3, Cruas 2 et Cruas 3 (référence [9]) lors des prochains remplacements de générateurs de vapeur. Pour les six autres coudes, je considère qu'ils doivent être remplacés au plus tard lors de la quatrième visite décennale de ces réacteurs.

Demande 4 : Pour les six coudes chauds sensibles qui n'ont pas fait l'objet d'un remplacement lors d'un remplacement de générateur de vapeur (44C, 48C, 55C, 41C, 63C, 66C), je vous demande de me transmettre un dossier de faisabilité de leur remplacement, tant d'un point de vue technique que réglementaire, avant mi-2017, ainsi qu'un échéancier de remplacement.

Demande 5 : Pour l'ensemble des autres coudes chauds sensibles du palier 900 MWe (à ce jour, les coudes 126C, 141C, 91C, 92C, 87C et 88C), je vous demande de me transmettre un échéancier de remplacement avant fin 2017.

Pour les coudes froids sensibles des réacteurs de 900 MWe, je considère que la stratégie de remplacement devra être révisée en fonction des résultats des dossiers de justification actualisés.

Demande 6 : Pour les coudes froids sensibles du palier 900 MWe, je vous demande de me transmettre :

- pour fin 2018, un dossier réactualisé de suivi du vieillissement et de suivi des défauts ;
- pour mi-2017, un dossier de faisabilité, tant d'un point de vue technique que réglementaire, du remplacement des coudes installés sur les réacteurs ayant déjà bénéficié d'un remplacement de générateurs de vapeur ;
- pour fin 2018, un échéancier des remplacements nécessaires au vu des dossiers de justification.

Le remplacement de certains coudes va nécessiter l'approvisionnement de coudes neufs. Il est indispensable que les besoins et recommandations que vous exprimez auprès des fabricants en matière de conception et de fabrication tiennent compte du retour d'expérience issu de l'exploitation des coudes en service, selon les principes énoncés dans le guide en référence [10]. Je note que les coudes de remplacement sont désormais fabriqués avec un matériau peu sensible au vieillissement thermique. Une attention particulière doit également être portée sur le choix de méthodes de fabrication assurant la maîtrise des procédés et l'atteinte de la qualité attendue en toute partie du composant. Ce choix doit notamment tenir compte de l'état d'avancement de la technique et de la pratique, au sens de la quatrième remarque préliminaire de l'annexe I de la directive en référence [11]. Je note que différentes technologies ont été utilisées par le passé, en particulier l'utilisation de composants moulés et forgés, et que les composants forgés présentent une meilleure compacité et une meilleure contrôlabilité.

Demande 7 : Je vous demande de me préciser les besoins et les recommandations que vous exprimez auprès des fabricants en matière de conception et de fabrication pour les composants de tuyauteries primaires que vous approvisionnez.