

Fontenay-aux-Roses, le 20 mai 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN N° 2016-00161

Objet : EDF - REP 900 MWe et 1300 MWe - Circuit primaire principal
Tenue en service des coudes moulés en acier austéno-ferritique

Réf. : Lettre ASN CODEP-DEP-2016-011684 du 22 mars 2016 : « Avis sur le vieillissement des coudes moulés chauds et froids du CPP des paliers 900 et 1300 MWe et leur tenue en service ».

Par lettre citée en première référence, l'ASN sollicite l'avis et les observations de l'IRSN sur la démonstration présentée par EDF de la tenue en service des coudes moulés en acier austéno-ferritique du circuit primaire principal (CPP). Plus particulièrement, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur les points suivants :

- la pertinence de l'utilisation de la ténacité au fractile 16% ;
- les formules de prévision de comportement des coudes ;
- la gestion de la différenciation entre coudes du fabricant Manoir Industrie (FAM Fonderie Acierie Manoir) et ceux du fabricant Creusot-Loire (CL) ;
- la pertinence du suivi des défauts par Contrôles non destructif (CND) ;
- l'analyse du comportement mécanique en toutes catégories de situations ;
- la stratégie adoptée pour justifier la tenue des coudes froids comparativement à celle utilisée pour les coudes chauds ;
- la prise en compte des opérations de maintenance de type Remplacement des générateurs de vapeur (RGV) ;
- la stratégie de remplacement des coudes chauds et froids.

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 B 440 546 018

Cette analyse sera présentée lors d'une séance du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaire (GP ESPN).

Description des coudes du circuit primaire principal

Le circuit primaire d'une centrale nucléaire à eau pressurisée française est constitué de tuyauteries de grand diamètre en acier inoxydable reliant entre eux la cuve du réacteur, le Générateur de vapeur (GV) et le Groupe Motopompe Primaire (GMPP) située sur chacune des boucles (3 boucles pour les centrales 900 MWe, 4 boucles pour les centrales 1300 MWe). Ces tuyauteries de grand diamètre sont constituées de parties droites et de coudes d'angles différents. Chaque boucle comporte un coude dit « chaud », situé en amont du GV sur la branche chaude qui véhicule le fluide primaire sortant de la cuve à une température supérieure à 320°C jusqu'à l'entrée du GV. Ce coude est référencé « C ». Les autres coudes situés en aval du GV, d'où l'eau primaire ressort à une température de l'ordre de 290°C après avoir échangé une partie de son énergie avec l'eau du circuit secondaire, sont dits « froids » et sont référencés A, B, D et E (cf. schéma en annexe 2). Les coudes A, B, D sont sur la branche en U, et le coude E sur la branche froide. Des piquages droits ou inclinés permettant le raccordement de la ligne d'expansion du pressuriseur, des lignes des circuits d'injection de sécurité (RIS) et de refroidissement à l'arrêt (RRA) sont aussi situés sur les branches froides et chaudes des tuyauteries du circuit primaire.

Les parties droites des tuyauteries primaires ont été obtenues à partir de tubes en acier 316L laminé (tubes roulés et soudés longitudinalement) pour les réacteurs de Fessenheim, et en acier forgé (tubes extrudés) pour l'essentiel des réacteurs 900 MWe du palier CPY. Pour la fin du palier CPY et l'ensemble des centrales 1300 MWe, sauf les réacteurs n° 1 et 2 de la centrale de Paluel sur lesquelles les parties droites sont extrudées, les parties droites ont été réalisées à partir de tubes moulés centrifugés. Pour ce qui concerne les coudes, la technique du moulage statique a été retenue pour l'essentiel des réacteurs. Pour les réacteurs de 900 MWe, seuls les coudes C, D, E de Fessenheim et des réacteurs 2 et 3 de Bugey ne sont pas en acier moulé mais obtenus à partir de ½ coquilles embouties en acier 316L et soudées longitudinalement. Concernant la fabrication des coudes moulés, deux nuances d'acier ont été utilisées : l'acier CF8M (Z3 CND19-10 M) contenant du molybdène, et l'acier CF8 (Z3 CN20-09 M), sans molybdène. Trois fondeurs différents, Usine Emile Henricot (UEH), Aciéries du Manoir (FAM) et Creusot Loire (CL) ont réalisé les coudes moulés des centrales REP françaises des paliers CP0, CPY et d'une partie du palier P4 (réacteurs 1 à 3 de la centrale de Paluel).

Les aciers inoxydables moulés se sont révélés être sujets à un phénomène de vieillissement thermique lorsqu'ils sont utilisés pendant une longue durée à des températures voisines ou supérieures à 300°C. Ce phénomène de vieillissement thermique est d'autant plus rapide que la température est élevée. La présence de molybdène dans l'acier a été identifiée comme un élément favorisant ce vieillissement.

Historique

Le dossier de justification de la tenue en service des coudes moulés du CPP, sujets au vieillissement thermique, a fait l'objet de séances de la Section permanente nucléaire (SPN) les 18 juin 1996 et 2 décembre 1997. À la suite de ces SPN, l'ASN a demandé à l'exploitant de compléter son dossier de justification. Ces compléments ont été apportés par EDF en 2009 dans son dossier concourant à la démonstration de l'absence de risque de rupture des coudes. L'analyse de ce dossier par l'IRSN est développée ci-après.

Prédiction du vieillissement du matériau

Les aciers inoxydables moulés utilisés pour le circuit primaire principal ont une structure métallographique constituée de deux phases : une phase austénitique (phase γ) et une phase ferritique (phase α). Le vieillissement thermique est imputé à des modifications structurales de la phase ferritique α . Le processus est une évolution microstructurale appelée décomposition spinodale qui se traduit notamment par la précipitation dans la ferrite α d'une phase α' (α devient $\alpha+\alpha'$). La phase α' est une phase cubique centrée, riche en Chrome. Ce phénomène de décomposition est considéré comme le mécanisme principal du vieillissement. Le vieillissement thermique apparaît d'autant plus élevé que le taux de chrome équivalent (Cr_{eq}) est élevé ; Cr_{eq} étant égal au cumul des pourcentages de chrome, silicium et molybdène.

Par contre, aucun vieillissement de la phase austénitique n'a été mis en évidence. En particulier, des mesures de microdureté ont montré que la dureté de la phase austénitique n'évoluait pas.

D'un point de vue mécanique, ce vieillissement se traduit par une modification de la courbe de transition mesurée à l'aide d'éprouvettes de résilience : augmentation de la température de transition et diminution du plateau ductile. Un vieillissement important conduit à atteindre un « palier bas » correspondant aux caractéristiques de la matrice austénitique, non affectée par le vieillissement.

Au début des années 1990, les programmes de recherche lancés par EDF ont permis d'aboutir à l'établissement de formules empiriques de prévision de la fragilisation des coudes. Ces formules de prévision ont fait l'objet de premières validations par comparaison aux valeurs mesurées sur différents produits moulés (lingotins des coudes du fabricant Creusot-Loire vieillis en four, pièces expertisées après dépose : coude chaud du réacteur 2 de Ringhals implanté en Suède, clapets moulés du fabricant Manoir, éprouvettes de ténacité prélevées sur des coudes en service).

Suite aux séances de la SPN de 1996 et 1997, l'ASN a demandé à l'exploitant de compléter sa base de données « matériaux » afin de conforter ses formules de prévision de la fragilisation. Depuis, EDF a enrichi sa base de données matériaux avec les résultats obtenus :

- sur les prélèvements de coudes déposés, vieillis ou non ultérieurement en four ;
- sur les prélèvements de coudes en service ;
- dans le cadre des programmes de recherche « plaques Manoir » et « piquages » enclenchés en 1999 en vue d'étudier les différences de comportement observées entre les coudes fabriqués par Manoir et les coudes fabriqués par Creusot-Loire.

À partir de cette base de données élargie, l'IRSN a examiné la pertinence :

- de l'utilisation d'une ténacité au fractile 16 % dans les analyses mécaniques ;
- des formules de prévision de la ténacité des coudes au fractile 16 % ;
- des formules d'interpolation de la ténacité aux températures entre 20 °C et 320 °C ;
- de l'introduction d'un facteur majorant sur la résilience pour les coudes fabriqués par « Manoir ».

Le dossier actualisé transmis par EDF en 2009 prend désormais en compte ces différentes adaptations des formules présentées lors des séances de la SPN de 1996 et 1997. Ce dossier prend également en compte les exigences de l'arrêté « exploitation » du 10 novembre 1999.

Utilisation d'une ténacité au fractile 16 %

Les données de ténacité de l'acier des coudes moulés présentent une dispersion statistique naturelle. Cette dispersion statistique est prise en compte dans l'analyse de la tenue en service en retenant une ténacité définie au fractile 16 %, selon le critère préconisé dans les règles de surveillance en exploitation des matériels mécaniques (RSE-M).

L'IRSN n'a pas identifié dans le dossier transmis par EDF d'éléments de nature à remettre en cause le bien-fondé des évolutions introduites dans le RSE-M relatives à l'utilisation d'une ténacité au fractile 16 % associée à des coefficients de sécurité sur le chargement tel que requis par l'arrêté du 10 novembre 1999.

Formules de prévision de la ténacité à 20°C et à 320°C

Les formules de prévision de la ténacité se doivent de couvrir les valeurs de ténacité du matériau à un fractile 16 %, selon les critères retenus dans la justification de la tenue en service des coudes. Compte tenu en particulier du comportement anisotrope des produits moulés, l'IRSN estime pertinent de retenir tous les résultats de ténacité issus de séries d'essais de manière individuelle. Cette approche est différente de celle retenue par EDF qui considère les résultats de chaque série d'essais en valeur moyenne sur une pièce donnée, ce qui revient à étudier le comportement moyen de la pièce. Cette approche introduit par conséquent un biais.

Dans le cadre de son analyse, l'IRSN a repris l'ensemble des résultats d'expertise transmis par l'exploitant concernant les coudes déposés et les coudes en service pour les comparer à leurs valeurs prévisionnelles définies par EDF. Selon l'approche de l'IRSN, le nombre de cas non couverts par les prévisions de fragilisation apparaît supérieur à celui attendu pour un fractile à 16 %. A défaut d'autres formules ayant fait l'objet d'une instruction, l'IRSN considère que les formules examinées lors des séances de la SPN en 1996 et 1997 doivent à ce stade être utilisées, ces anciennes formules fournissant une ténacité « enveloppe ». En fin d'instruction, EDF a mentionné l'existence de travaux de R&D ayant conduit à une révision complète des formules utilisées jusqu'à présent. Ces nouvelles formules de prévision de la ténacité des coudes ont été transmises à l'IRSN en février 2016 et présentées en mars 2016. L'IRSN n'a pas de remarque particulière quant à l'utilisation de nouvelles formules de prévision à condition qu'EDF démontre leur adéquation pour fournir une ténacité au fractile 16 % selon l'approche IRSN. **Ce point fait l'objet de la recommandation R1 en annexe 1.**

Ténacité aux températures intermédiaires comprises entre 20°C et 320°C

La ténacité aux températures intermédiaires est estimée selon l'approche initiale enveloppe pour les coudes en branche chaude, et une approche moyenne pour les coudes en branche froide. Pour les coudes en branche froide, les formules d'estimation de la ténacité aux températures intermédiaires sont fondées sur l'hypothèse que l'évolution de la ténacité en fonction de la température suit l'évolution de la résilience en fonction de la température. Pour l'IRSN, les essais de ténacité et de résilience étant de nature et de type différents, l'hypothèse d'une évolution similaire entre les résultats doit être validée. En l'absence d'éléments de comparaison des évolutions de la résilience et de la ténacité en fonction de la température, et compte tenu du manque de données de ténacité aux températures intermédiaires, l'IRSN n'estime pas recevable sans justification une reformulation

permettant une augmentation significative (+25 %) de la ténacité. Ceci pourrait conduire à sous-estimer le risque de rupture des coudes sous un choc froid, tel que celui induit en cas d'accident de perte de réfrigérant primaire issu d'une petite brèche. La marge minimale vis-à-vis du risque de rupture en cas d'occurrence de ce transitoire est obtenue quand la température du matériau est de de l'ordre de 100°C.

Les nouvelles formules de prévision de la ténacité transmises par EDF en 2016 sont basées sur des justifications techniques de nature à répondre aux réserves soulevées ci-avant par l'IRSN, toutefois elles n'ont pas été examinées dans le cadre du présent avis.

Facteur majorant pour les coudes chauds « Manoir »

A composition chimique égale, les produits du fabricant Manoir (FAM) présentent, selon EDF, une résilience à chaud initiale plus élevée que les produits du fabricant Creusot-Loire (CL) : leur vieillissement commence plus tard et évolue ensuite plus rapidement. Les formules de prévision établies principalement sur des produits CL apparaissent excessivement conservatives pour EDF, ce qui l'a conduit à retenir l'application d'un coefficient majorant la prévision de la résilience représentatif de « *l'effet bénéfique Manoir* ».

L'IRSN estime que le programme de recherche « plaques FAM » n'a pas permis de confirmer l'hypothèse avancée par EDF pour expliquer le meilleur comportement constaté sur des produits FAM. En effet, la tendance qui se dégage d'une faible population de résultats est à considérer avec précaution et ne permet pas de conclure que les produits FAM présentent systématiquement un meilleur comportement au vieillissement thermique dans le temps que les produits CL de compositions chimiques similaires. D'ailleurs, l'IRSN remarque que deux produits FAM et CL présentent les mêmes niveaux de résilience et atteignent un « palier bas » identique au-delà de 200.000 h de fonctionnement (durée équivalente à celle atteinte en VD3¹). Il ne peut donc pas être exclu que le « palier bas » du vieillissement pour un coude FAM soit atteint pour une même durée de vieillissement que sur un coude CL de sensibilité au vieillissement équivalente. Ceci est d'autant plus probable qu'une fois le palier bas atteint, la phase α étant fragile, l'essentiel de la ténacité est apporté par la phase γ qui ne vieillit pas. De ce point de vue, les ténacités ne devraient plus être fonction de l'austénite et non pas du taux de ferrite et devraient donc être peu dépendantes du fournisseur. Or, ce palier bas peut être atteint en VD4 pour les coudes chauds FAM les plus sensibles, dont la tenue mécanique doit être garantie.

Pour toutes ces raisons, l'IRSN reste réservé vis-à-vis de « *l'effet bénéfique Manoir* » et par conséquent sur l'application de coefficients majorateurs aux résiliences prévisionnelles des coudes FAM.

Sur ce sujet, les formules de prévision proposées par EDF en 2016 ne font plus intervenir de coefficients majorateurs spécifiquement associé à un fabricant.

¹ Troisième visite décennale

Détection, caractérisation et suivi en service des défauts de fabrication

Les coudes moulés en acier austéno-ferritiques du CPP présentent des amas de retassures séparés par des ponts de matières, défauts inhérents au procédé de fabrication. Toutefois, au stade de la fabrication, un contrôle radiographique à 100 % a été réalisé pour juger de la qualité et de l'acceptabilité des coudes, ce qui permet d'exclure la présence de grands défauts inacceptables au sens du code RCC-M². L'enveloppe du plus grand amas de retassures observé présente une dimension de 3 à 4 mm par 40 mm.

Le suivi en service des coudes est effectué par sondage. Ce suivi comprend l'examen par ressuage de six coudes (dont deux remplacés) pour détecter une éventuelle évolution des défauts débouchants en peau externe ainsi que des tirs radiographiques sur quatre coudes (dont deux remplacés) pour observer les défauts enfouis.

Au cours de son analyse, l'IRSN a constaté que les plus grands défauts débouchants présents dans les coudes sensibles n'étaient pas nécessairement ceux suivis. La liste des coudes à suivre repose sur une sélection initiale de 229 coudes parmi 390 coudes installés et non sur la totalité des coudes du parc.

Par ailleurs, cette sélection n'a pas été opérée nécessairement en fonction du pourcentage de Cr_{eq} le plus fort. Finalement, aucun bilan n'existe permettant de statuer sur l'existence ou non de défauts de fabrication débouchants en surface externe de l'ensemble des coudes sensibles. Un tel bilan n'est accessible que par la réalisation d'un examen par ressuage de tous les coudes sensibles non encore examinés du parc. D'après les études de nocivité de défaut, le défaut en peau externe ne présente pas de risque d'amorçage et de propagation. Toutefois, le contrôle d'un certain nombre de coudes judicieusement choisis permettrait de s'assurer de l'absence d'évolution de ces défauts comme prédit par les analyses de nocivité de défaut.

En conséquence, l'IRSN considère nécessaire d'établir la liste des coudes sensibles présentant des défauts débouchants en peau externe. Le programme de contrôles par ressuage et par réplique des coudes qui ne seront pas remplacés à l'horizon de la VD4 devra être revu en retenant, dans cette liste, les coudes les plus sollicités présentant les plus grands défauts.

Sur ces points, EDF s'est engagé d'une part, à compléter les examens par ressuage avant la VD4, pour les 40 coudes sensibles du parc qui n'ont pas fait l'objet de la première campagne d'examen par ressuage, d'autre part, à déterminer les plus grandes indications sur les coudes les plus sollicités nécessitant un suivi par réplique au plus tard en VD4. L'IRSN estime acceptable cet engagement.

Par ailleurs, le programme de surveillance par contrôles radiographiques en vigueur concerne deux coudes en service. Ces coudes ont été sélectionnés en raison de leur taux de chrome équivalent élevé et éventuellement en raison de leur niveau de sollicitation. L'IRSN considère que le volume des contrôles par radiographie est faible. Par ailleurs, sur la base des résultats de contrôles au stade de la fabrication, l'IRSN note que les plus grands défauts ne sont pas surveillés. Suite à ces constats, EDF s'est engagé à compléter son programme de contrôle pour inclure le suivi des plus grands défauts des coudes sensibles au vieillissement thermique, ce qui porte à neuf le nombre de coudes faisant l'objet d'un suivi par radiographie. En complément, EDF a indiqué préparer la réalisation de contrôles par radiographie d'ici la VD4 de douze coudes qui pourraient faire l'objet d'un dossier spécifique de

² Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires des réacteurs à eau sous pression

justification à la rupture brutale. L'IRSN estime que le volume de contrôle serait dans ce cas acceptable.

Enfin, EDF a précisé au cours de l'instruction que les capacités de détection et de caractérisation des retassures par des contrôles radiographiques ont été améliorées mais que la détection d'une évolution de retassure par fissuration n'était pas acquise à ce jour.

Analyse de la tenue mécanique des coudes

Le risque de rupture brutale des coudes vieilliss a été réévalué par l'exploitant pour l'ensemble des catégories de situations³ à retenir à partir de calculs analytiques ou de calculs aux éléments finis, en considérant un défaut plan pénalisant de 10 mm x 40 mm. Des essais d'EDF ont effectivement montré qu'un amas de retassures présente une nocivité plus faible qu'un défaut plan de taille équivalente du fait de son acuité d'entaille plus faible et de la présence de ponts de matière entre les retassures.

La réévaluation du risque de rupture des coudes a concerné :

- les coudes chauds sensibles au vieillissement, soit les coudes présentant un taux de chrome équivalent supérieur ou égal à 23,5 %, du palier 900 MWe ;
- les coudes froids sensibles au vieillissement avec un taux de chrome équivalent supérieur ou égal à 24 %, des paliers 900 MWe et 1300 MWe.

Pour les coudes chauds sensibles du palier 900 MWe, EDF considère, sur la base des hypothèses présentées ci-avant, que le risque de rupture peut être considéré comme exclu tant pour les coudes qui ont été maintenus en place que pour ceux qui seront remplacés d'ici la fin de l'année 2016. Sur la base de ses propres calculs et en considérant une ténacité établie selon les formules examinées lors des séances de la SPN en 1996 et 1997⁴, l'IRSN considère que la démonstration d'absence de rupture du coude 48C présent sur le réacteur de Saint Laurent B2 n'est pas acquise pour 40 ans de fonctionnement.

Pour l'étude des coudes froids A, B, D et E sensibles, EDF retient une démarche « enveloppe » en limitant l'analyse au coude le plus sollicité parmi les coudes A, B, D et E dans chaque catégorie de situation. De ce fait, seuls les coudes A ont fait l'objet d'un dossier de justification complet. Ce choix est cohérent avec les études menées précédemment au cours des années 1990. EDF conclut à l'absence de risque de rupture des coudes froids des paliers 900 et 1300 MWe.

Sur la base des résultats d'EDF et en considérant la ténacité estimée selon les formules de prévision examinées lors des séances de la SPN en 1996 et 1997, l'IRSN considère que la démonstration d'absence de rupture de certains coudes A en 2^e catégorie de situation n'est pas acquise pour 40 ans de fonctionnement.

De même, pour les réacteurs concernés du palier 1300 MWe, les estimations réalisées par l'IRSN ne permettent pas de conclure au respect des critères réglementaires en 3^e catégorie de situation après 40 années d'exploitation. Toutefois, ceci n'appelle pas de remarque particulière du fait de l'objectif

³ Il existe trois catégories de situations pour les matériels en service regroupant les situations de fonctionnement normal, incidentel et accidentel mentionnées dans l'arrêté exploitation.

⁴ A mi-2016, il s'agit des seules formules, ayant fait l'objet d'une instruction, jugées pertinentes par l'IRSN pour définir une ténacité correspondant, dans le pire des cas, à un fractile 16%

d'EDF de remplacer l'ensemble de ces coudes avant cette échéance, à l'exception du coude 79E sur lequel EDF fournira un complément de justification.

Par ailleurs, pour le palier 900 MWe comme pour le palier 1300 MWe, l'IRSN estime que les calculs transmis par EDF peuvent introduire des sous-conservatismes tels que :

- l'absence de prise en compte des moments⁵ introduits lors des remplacements des générateurs de vapeur en 3^e catégorie de situation ;
- l'estimation de la relaxation du moment cumulé de flexion en 4^e catégorie de situation restant à justifier. En effet, la méthode de relaxation des moments issus de RGV établis par EDF n'est pas fondée sur l'analyse de l'impact des chargements d'origine secondaire sur la nocivité de défaut ;

ainsi que des conservatismes tels que par la prise en compte d'une géométrie de coude plus pénalisante ou la non-valorisation d'une meilleure limite d'élasticité que celle retenue dans les calculs. Les résultats présentés sont donc à considérer avec précaution.

En conséquence, pour les coudes A, B, D et E qui seront laissés en place sur le palier 900 MWe, l'IRSN considère que la tenue du coude le plus sensible de chaque famille doit être analysée pour l'ensemble des catégories de situation, ceci afin de valider le maintien en service de ces derniers. Pour cette vérification, pourront être retenus : les nouvelles formules proposées par EDF en 2016, si elles satisfont la recommandation R1, les moments mécaniques induits par les RGV des valeurs de la limite d'élasticité du matériau appropriées et un défaut plan de 10 mm x 40 mm localisé dans la zone la plus contrainte du coude.

EDF a indiqué qu'il procédera à une mise à jour des dossiers de justification de la tenue mécanique tenant compte des ténacités estimées à l'aide des nouvelles formules de prévision de la fragilisation des coudes de 2016.

Stratégie de remplacement des coudes chauds et froids.

Pour le palier 900 MWe, EDF envisage désormais de remplacer les coudes chauds sensibles ($C_{req} > 23,5\%$) lorsqu'un RGV est programmé, ce qui est satisfaisant.

Toutefois, six coudes chauds sensibles, non remplacés lors des RGV, resteraient en place après la VD4 ; le plus sensible de ces coudes étant le coude 48C de Saint Laurent B2 pour lequel le risque de rupture brutale ne peut être considéré comme exclu selon l'analyse de l'IRSN. Les cinq autres coudes sont les coudes 66C de Blayais 3, 41C de Blayais 1, 55C de Chinon B1, 63C de Blayais 2 et 44C de Saint Laurent B2.

Le vieillissement thermique des coudes moulés du CPP constituant une dégradation non prévue à la conception et le suivi en service des coudes ne pouvant assurer la détection de la propagation d'un défaut enfoui, l'IRSN estime que l'ensemble des coudes chauds, qui présentent les ténacités les plus faibles suite à leur vieillissement thermique, doivent être remplacés au plus tard après quarante année de fonctionnement. **Ceci fait l'objet de la recommandation R2 en annexe 1.**

⁵ Lors du raccordement des générateurs de vapeur au reste du circuit primaire, les composants sont déplacés en force pour ajuster leur positionnement les uns par rapport aux autres avant leur soudage.

Pour les coudes froids sensibles du palier 900 MWe, l'IRSN considère que la stratégie de remplacement doit être revue en fonction des résultats des dossiers de justification actualisés. A cet égard, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF présente à brève échéance un dossier de faisabilité du remplacement de coude hors RGV conjointement au dossier de justification de la tenue en service des coudes sensibles du palier 900 MWe.

Sur ces points, EDF a précisé en fin d'instruction que des études de faisabilité ont été engagées en 2015 afin d'anticiper l'éventualité de remplacement hors RGV⁶ de coudes raccordés au GV ou de la branche en U. Dès à présent, EDF a décidé d'engager des approvisionnements complémentaires de coudes de rechange des types A, B, C et D. EDF a également précisé que les coudes pour lesquels les études spécifiques ne justifieraient pas leur maintien en exploitation jusqu'en VD4+20 ans feront l'objet d'une décision de remplacement à une échéance « adaptée », prenant en compte la durée de justification, les délais d'approvisionnement et de préparation des dossiers de remplacement.

L'IRSN considère que les différents éléments nécessaires à la prise de décision des remplacements doivent être disponibles à court terme. **Ce point fait l'objet de la recommandation R3 en annexe 1.**

Pour les coudes sensibles des réacteurs 1 à 3 de Paluel du palier 1300 MWe, l'exploitant a programmé le remplacement de tous les coudes sensibles lors des futurs RGV programmés, à l'exception du coude 79E pour lequel EDF fournira un complément de justification. A ce stade, l'IRSN estime que la stratégie retenue par EDF pour le palier 1300 MWe est acceptable.

Conclusion

EDF a établi une démonstration de la tenue en service des coudes moulés en acier austéno-ferritique du circuit primaire principal jusqu'à 40 ans de fonctionnement ainsi que le programme de contrôle en service et la stratégie de remplacement de ces derniers, concluant à leur adéquation à l'emploi. Ces coudes sont présents sur le palier 900 MWe ainsi que sur les réacteurs 1 à 3 de Paluel.

Concernant la démonstration de la tenue en service de ces coudes, l'IRSN émet des réserves sur la pertinence des formules de prévision du vieillissement proposées par EDF dans sa démonstration, ce qui fait l'objet la recommandation R1.

EDF envisage de reprendre la démonstration des coudes chauds sensibles du palier 900 MWe. Sur ce point, l'IRSN considère que le vieillissement thermique des coudes moulés du CPP constitue une dégradation non prévue à la conception et que le suivi en service des coudes ne peut assurer la détection de la propagation d'un défaut enfoui. En conséquence, l'IRSN considère que l'ensemble des coudes chauds, qui présentent les ténacités les plus faibles suite à leur vieillissement thermique, doivent être remplacés au plus tard après quarante années de fonctionnement, ce qui fait l'objet de la recommandation R2.

Pour les coudes froids sensibles du palier 900 MWe, l'IRSN considère que la stratégie de remplacement doit être revue en fonction des résultats des dossiers de justification actualisés, ce qui fait l'objet de la recommandation R3.

⁶ Remplacement de générateur de vapeur

Ces conclusions concernent principalement le palier 900 MWe dans la mesure où l'exploitant envisage de changer la totalité des coudes sensibles sur les réacteurs 1 à 3 de Paluel lors de prochains remplacements de générateurs de vapeur, à l'exception du coude 79E.

Enfin, EDF s'est engagé à renforcer de manière satisfaisante son programme de contrôle en service des coudes sensibles qui seront maintenus en place au-delà de 40 ans de fonctionnement.

Pour le Directeur général de l'IRSN, par délégation,

Franck BIGOT

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Recommandations

Prédiction du vieillissement

R1 : Dans l'objectif de valider les formules de prévision de la fragilisation donnant une ténacité couvrant 84 % des données disponibles (fractile 16 %), l'IRSN recommande de retenir une population constituée de l'ensemble des données de ténacité et non de valeurs moyennes calculées sur chaque pièce expertisée.

Stratégie de remplacement des coudes chauds et froids

R2 : L'IRSN recommande qu'EDF remplace tous les coudes C sensibles du palier 900 MWe au plus tard après quarante années de fonctionnement.

R3 : L'IRSN recommande qu'EDF transmette les dossiers de justification de la tenue mécanique des coudes sensibles en service au plus tard en 2018, accompagnés d'un échéancier de remplacement ainsi qu'un dossier de faisabilité technique de ces opérations.

Localisation des coudes moulés du circuit primaire principal

