



DIRECTION DES ÉQUIPEMENTS  
SOUS PRESSION NUCLÉAIRES

Montrouge, le 19 juillet 2019

N° Réf : CODEP-DEP-2019-025552

**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 du circuit primaire principal des réacteurs de 900 MWe**

**Réf. :**

- [1] Arrêté du 10 novembre 1999 relatif à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux
- [2] CODEP-DEP-2016-031633 du 20 octobre 2016 – Lettre de l'ASN à EDF faisant suite à la séance du GP ESPN du 8 juin 2016 relative à la tenue en service et au vieillissement des coudes moulés
- [3] Avis IRSN/2019-00007 du 14 janvier 2019 - Avis de l'IRSN relatif aux nouvelles formules de prévision de la « ténacité »
- [4] Avis IRSN/2019-00056 du 15 mars 2019 - Avis de l'IRSN relatif aux hypothèses des analyses mécaniques et à l'analyse statistique des retassures
- [5] CODEP-DEP-2019-018853 du 29 avril 2019 - Saisine de l'ASN au groupe permanent d'experts ESPN relatif à la tenue en service des coudes moulés en acier inoxydable austéno-ferritique du CPP des réacteurs de 900 MWe
- [6] D455019005791 du 6 juin 2019 - Courrier des engagements pris par EDF préalablement au GP ESPN du 23 mai 2019
- [7] CODEP-MEA-2019-023649 du 24 mai 2019 - Avis et recommandations du GP ESPN du 23 mai 2019 relatif à la tenue en service des coudes moulés en acier inoxydable austéno-ferritique du CPP des réacteurs de 900 MWe, à l'exception des réacteurs de la centrale de Fessenheim, jusqu'à 20 ans après leur 4ème visite décennale
- [8] CODEP-DEP-2019-017896 du 13 mai 2019 – Rapport au GP ESPN du 23 mai 2019
- [9] 6125-2106-2019-00119-FR indice 1.0 du 13 mars 2019 – Note EDF R&D relative à la définition d'un critère de similitude d'évolution microstructurale entre composants pour le suivi du vieillissement thermique
- [10] D455018009444 indice 1 du 9 avril 2019 – Stratégie de suivi des coudes en acier inoxydable austéno-ferritique moulés du CPP – Palier 900 MWe
- [11] D455618032311 indice A du 20 juin 2018 – Note EDF DIPDE relative à la synthèse des études de faisabilité de remplacement de coudes E

Monsieur le Directeur,

Les coudes moulés sont des composants de tuyauteries installés sur le circuit primaire principal 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 à l'entrée de la cuve).

Les coudes moulés installés sur les réacteurs de 900 MWe ont été fabriqués en acier inoxydable austéno-ferritique (soit en CF8-M, nuance contenant du molybdène soit en CF8 sans molybdène). La phase ferritique subit 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 cette sensibilité au vieillissement. Il en résulte un abaissement de certaines propriétés mécaniques, telles que la résilience et la résistance à la déchirure ductile.

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

Conformément à l'article 12 de l'arrêté en référence [1], vous êtes tenu de « *mettre 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. [L'exploitant] 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, vous devez mettre « *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 :

- d'une base de données de résilience et de résistance à la déchirure ductile, à partir des résultats obtenus par des expertises de coudes déposés et de lingotins et par des prélèvements de matière sur des coudes en service ;
- de formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile à l'état vieilli des coudes moulés fabriqués avec les nuances CF8-M et CF8.

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) et d'un avis du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) de juin 2016.

Entre 2017 et 2019, vous avez transmis à l'ASN des nouveaux dossiers de justification de la tenue à la rupture brutale des coudes moulés en CF8-M des réacteurs de 900 MWe jusqu'à 20 ans au-delà de leur 4<sup>ème</sup> visite décennale.

Ces démonstrations s'appuient sur de nouvelles formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile reposant sur une étape de validation devant répondre à la demande n° 1 formulée dans la lettre de suite de l'ASN en référence [2].

Vous avez également révisé la stratégie de suivi en service de ces composants et transmis les réponses aux demandes formulées dans la lettre en référence [2] en ce qui concerne le remplacement des coudes chauds considérés sensibles sur la base du critère de chrome équivalent et la faisabilité du remplacement de certains coudes, en particulier en dehors d'opérations de remplacement de générateurs de vapeur.

À la suite de l'instruction menée par l'ASN et des avis de l'IRSN en références [3] et [4], qui portent sur l'analyse statistique des retassures et les nouvelles formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile, j'ai sollicité, par la saisine en référence [5], l'avis du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) sur :

- la méthode retenue pour déterminer, en lien avec la base expérimentale, la résistance à la déchirure ductile avec un niveau de conservatisme suffisant ;
- les hypothèses et méthodes utilisées pour l'analyse mécanique de la tenue en service des coudes moulés, en particulier les hypothèses de défaut étudié qui ont fortement évolué par rapport au dossier présenté lors de la séance du GP ESPN du 8 juin 2016 ;
- le caractère suffisant du programme de remplacement prévu par EDF et les dossiers de faisabilité du remplacement ;
- le programme de suivi en service prévu pour ces coudes en matière de propriétés mécaniques et de défauts.

Préalablement à la séance du GP ESPN, vous avez pris des engagements, par courrier en référence [6], qui sont rappelés dans le présent courrier.

Le GP ESPN s'est réuni le 23 mai 2019 et m'a fait part de son avis et de ses recommandations en référence [7]. 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**

### Prévision du comportement du matériau vieilli

Des formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile ont été présentées dans un premier temps lors des séances des sections permanentes nucléaires de la commission centrale des appareils à pression de 1996 et 1997. Ces formules de prévision avaient été développées afin d'estimer la résistance à la déchirure ductile au fractile 5 %. Avec l'entrée en vigueur de l'arrêté en référence [1] et la nécessité de prendre en compte des coefficients de sécurité sur les chargements, vous avez souhaité en 2009 revoir les formules de prévision en proposant des formules de prévision des valeurs de résistance à la déchirure ductile au fractile 16 % au lieu du fractile 5 %, afin de compenser les nouvelles marges introduites par la prise en compte des coefficients de sécurité. Une prévision au fractile 16 % revient à considérer qu'un minimum de 84 % des données disponibles doit être correctement estimé par les formules.

En 2016, je vous ai demandé (cf. demande n° 1 de la lettre en référence [2]) de procéder à la validation des formules de prévision du vieillissement thermique en vérifiant qu'elles donnent une estimation correcte (c'est-à-dire que valeur estimée est supérieure à la valeur mesurée) de la résistance à la déchirure ductile pour plus de 84 % des données disponibles.

Vous avez procédé à la validation des nouvelles formules selon deux approches :

- une validation, que vous qualifiez de « vraie », qui prend en compte les données de  $J_{0,2}$ ,  $J_1$  et  $J_3$  issues de courbes  $(J, \Delta a)$  obtenues par lissage moyen selon une loi puissance (du type  $J = C \cdot \Delta a^n$ ) des valeurs obtenues pour une série d'essais ;
- une validation, que vous qualifiez d'« éprouvette », qui prend en compte les données de  $J_{0,2}$ ,  $J_1$  et  $J_3$  issues de courbes  $(J, \Delta a)$  obtenues, pour chaque valeur issue d'une éprouvette, en considérant une courbe en loi puissance (du type  $J = C \cdot \Delta a^n$ ) passant par cette valeur. Cette méthode permet ainsi, en extrayant des données de chaque éprouvette plutôt que par des moyennes de chaque série d'éprouvettes, d'augmenter significativement le nombre de données et de tenir compte des valeurs minimales. Cette exploitation des valeurs de chaque éprouvette est conforme à la demande n° 1 de la lettre en référence [2].

Les données utilisées pour ces validations proviennent de 16 coudes ayant bénéficié d'essais destructifs de résilience et de résistance à la déchirure ductile.

Je constate que plus de 84 % des données (« vraies » ou « éprouvettes ») sont effectivement correctement estimées par les prévisions de ces nouvelles formules (*i.e.* plus de 84 % des valeurs estimées sont inférieures ou égales aux valeurs mesurées).

Je considère par conséquent que ces formules sont acceptables et que leur validation permet de répondre à la demande n° 1 de la lettre en référence [2].

En cohérence avec l'avis du GP ESPN en référence [7], je considère qu'il est nécessaire d'élargir régulièrement la base de validation compte tenu du fait qu'elle ne repose actuellement que sur des données issues de 16 coudes, alors que d'autres coudes pourraient ultérieurement faire l'objet d'essais destructifs. A cet égard, je note que vous vous êtes engagé, dans la fiche R01 du courrier en référence [6], à compléter cette base de validation avec les futures acquisitions de données (cf. demande n° 1-B ci-dessous), à vérifier la cohérence entre les valeurs estimées par les formules et celles mesurées lors de chaque expertise réalisée aussi bien sur des coudes déposés que sur des barquettes (cf. demande n° 1-C ci-dessous) et à réviser le modèle des formules (cf. demandes n° 1-D et n° 1-E ci-dessous).

L'ensemble de ces objectifs et engagements me conduit à vous formuler les demandes suivantes.

**Demande n° 1-A :** Je vous demande de me transmettre, avant fin 2019, un plan d'actions détaillé en matière de révision des nouvelles formules en tenant compte notamment des demandes n° 1-B à 1-E suivantes auxquelles vous voudrez bien répondre séparément.

**Demande n° 1-B :** Je vous demande de recenser, avant fin 2019, toute la matière à votre disposition (coudes déposés, barquettes, lingotins, produits avec ou sans molybdène) qui n'aurait pas encore été exploitée dans le cadre de la validation des nouvelles formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile et d'indiquer quels seront les essais menés. Vous motiverez le choix de la matière expertisée parmi celle disponible.

**Demande n° 1-C :** Je vous demande de vérifier la cohérence entre les valeurs de résistance à la déchirure ductile estimées par les formules de prévision et celles mesurées lors de toute expertise réalisée sur un coude déposé, un lingotin ou une barquette prélevée sur un coude en service. Vous informerez l'ASN des résultats de cette vérification dans les meilleurs délais et, au maximum, dans les trois mois qui suivent l'obtention de ces résultats.

**Demande n° 1-D :** Je vous demande de vérifier, au minimum tous les deux ans, que plus de 84 % de l'ensemble des données disponibles sont correctement estimées par les formules de prévision. Actuellement, les formules prévoient les résistances à la déchirure ductile avec un taux de couverture de l'ordre de 90 %. Dans le cadre de cette vérification, vous informerez l'ASN d'une éventuelle diminution du taux de couverture et les conclusions que en tirez.

**Demande n° 1-E :** Conformément à votre engagement exprimé dans la fiche R01 du courrier en référence [6], je vous demande de vous assurer, tous les 5 ans, que le modèle de prévision n'est pas remis en cause par les nouvelles acquisitions de données. Vous informerez l'ASN des conclusions de cette vérification au minimum tous les cinq ans à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2025, et engagerez, le cas échéant, les améliorations du modèle de prévision.

### **Connaissance des défauts présents dans les coudes**

Une large partie de l'instruction de votre dossier de démonstration de la tenue à la rupture brutale des coudes moulés des réacteurs du palier 900 MWe a été consacrée à la connaissance des défauts présents dans ces coudes. Il en ressort notamment que votre justification des défauts présents dans les coudes ne permet pas d'écarter, avec un haut niveau de confiance, la présence potentielle de criques de solidification, inhérentes au procédé de moulage, à caractère débouchant ou sous-jacent, et mises en évidence dans le cadre du retour d'expérience des fabrications des années 1980. Je note que vous prenez uniquement en compte la présence de défauts de type « retassures » dans ces coudes.

Je vous rappelle qu'une bonne connaissance des défauts présents est nécessaire afin de garantir que les défauts hypothétiques pris en compte dans les études mécaniques présentent des marges suffisantes au regard des défauts réels.

Votre dossier de justification s'appuie principalement sur les contrôles réalisés en fin de fabrication pour justifier la compacité des coudes. Il apparaît néanmoins difficile d'apporter une connaissance suffisante des défauts réels sur la base de ces contrôles de fin de fabrication étant donné :

- que la performance des essais non destructifs n'a pas été établie à l'époque et que de multiples procédures de radiographie ont été employées ;
- la difficulté de garantir la bonne mise en œuvre de ces essais. La revue des irrégularités détectées à l'usine de Creusot Loire Industries a montré l'étendue des types d'écarts possibles en la matière (écart portant sur le type de sources radiographiques, sur le niveau d'activité de la source radiographique, sur le débit de la source, sur la classe du film, sur la distance entre la source et le détecteur, sur le type d'écrans renforceurs employés, etc.) ;
- que le bilan des ressuyages effectués lors de la fabrication ne permet pas d'exclure la présence d'éventuels défauts sous-jacents à la peau lors de la réalisation des ressuyages et d'éventuels défauts devenus débouchants après une opération de fabrication comme par exemple un toilettage ;
- que les rapports de SPN des années 1980 et 1990 ainsi que des rapports d'expertise de Creusot Loire Industries concluent sur l'existence de criques de solidification dans les coudes pour lesquels il n'a pas été apporté de garantie quant à la capacité des contrôles de fin de fabrication à les détecter.

Par ailleurs les contrôles par radiographie réalisés au titre du suivi en service des coudes sont uniquement mis en œuvre sur certains coudes<sup>1</sup> et pour quelques zones de ces coudes pré-identifiées lors de la relecture des radiogrammes de fin de fabrication. L'absence de contrôle approprié de la totalité du volume des coudes ne permet pas de disposer d'une vue complète de l'état de santé des coudes en service.

Enfin, je note votre engagement mentionné dans la fiche R02 de votre courrier en référence [6] de réaliser, avant fin 2020, un audit interne relatif à la bonne application des recommandations et des prescriptions d'archivage longue durée des films radiographiques sur chaque centrale, tous paliers confondus, et de me transmettre les résultats de l'audit ainsi que le plan d'actions à mettre en œuvre. Je considère que cet audit devra permettre d'examiner les conditions d'archivage (hygrométrie, température) ainsi que les autres risques de dégradation tels que les risques d'inondation et d'incendie.

### **Défauts de référence utilisés dans les calculs mécaniques**

Jusqu'en 2016, vous avez considéré un défaut hypothétique de 10 mm de hauteur et de 40 mm de longueur dans les analyses de nocivité de défauts. Ce défaut de référence avait été considéré comme réaliste lors de la séance de la SPN de 1997.

Je considère que l'utilisation d'un défaut postulé de dimensions 10 mm de hauteur et 40 mm de longueur permet une démarche de justification robuste de la tenue mécanique des coudes.

Dans le cadre de la démonstration de tenue à la rupture dans le domaine ductile que vous m'avez transmise en 2017 puis avez complétée jusqu'en 2019, vous avez proposé deux nouvelles tailles de défaut de référence : 7 mm de hauteur et 40 mm de longueur et 3 mm de hauteur et 20 mm de longueur. Des éléments de justification de la pertinence de ces nouvelles dimensions de défauts de référence ont été apportés mais des compléments sont nécessaires.

---

<sup>1</sup> Les coudes qui présentent les plus grands défauts, identifiés lors la relecture des radiogrammes de fin de fabrication.

Je considère que les éléments communiqués à ce stade, relatifs à la nature des défauts réels et à la détermination de leurs dimensions, notamment la capacité des essais non destructifs à détecter tous les types de défauts susceptibles d'être générés en fabrication (comme les retassures, les criques de solidification, ou encore les défauts de soudage engendrés lors des réparations), n'apportent pas de garanties suffisantes pour permettre l'utilisation d'un défaut de référence de plus petites dimensions que 10 mm de hauteur et 40 mm de longueur. En particulier, les procédés Intratube et MINAC, mis en œuvre lors du suivi en service des coudes, ne sont pas qualifiés au sens de l'article 8 de l'arrêté en référence [1].

J'estime, en tout état de cause, que l'usage d'un défaut de référence de dimensions 10 mm de hauteur et 40 mm de longueur doit être privilégié.

**Demande n° 2-A : Pour les coudes nécessitant le recours à un nouveau défaut de référence de dimensions inférieures à 10 mm de hauteur et 40 mm de longueur, je vous demande de garantir, par un moyen robuste, l'absence de défaut réels qui seraient, notamment après avoir pris en compte les interactions entre défauts, de dimensions supérieures à ce nouveau défaut de référence et en vous appuyant en particulier sur des procédés d'essais non destructifs qualifiés selon l'article 8 de l'arrêté en référence [1].**

Par conséquent, je vous demande de définir, avant fin 2019, un plan d'actions détaillé et de proposer des échéances de réalisation des actions retenues, compatible avec la programmation des 4<sup>èmes</sup> visites décennales des réacteurs concernés et avec la nécessité de recourir à d'éventuelles nouvelles analyses mécaniques avant cette échéance.

**Demande n° 2-B : Je vous demande notamment de définir les objectifs qui seront assignés à la qualification des procédés de contrôles en service que vous vous êtes engagés à mettre en œuvre dans la fiche R06 de votre courrier en référence [6]. Il s'agit notamment de préciser le type de qualification, les types de défauts détectés, leurs dimensions, ou encore la capacité à détecter une évolution des défauts.**

**Demande n° 2-C : Je vous demande également d'indiquer de quelle manière les coudes concernés par le recours à un nouveau défaut de référence de dimensions inférieures à 10 mm de hauteur et 40 mm de longueur bénéficieront d'un suivi en service approprié pour répondre à l'objectif fixé par la demande n° 2-A.**

**Demande n° 2-D : Je vous demande par ailleurs de lister, avant le 31 mars 2020, les réacteurs de 900 MWe pour lesquels vous identifiez des difficultés de démonstration de la tenue à la déchirure ductile de certains coudes moulés jusqu'à leur 5<sup>ème</sup> visite décennale et d'indiquer, avant fin 2020, votre stratégie relative à la poursuite de fonctionnement de ces réacteurs au-delà de la 4<sup>ème</sup> visite décennale.**

Au cours de l'instruction menée, l'ASN a été amenée à constater que certains coudes présentent ou peuvent présenter des défauts de longueur supérieure à 40 mm ou des amas de grandes dimensions.

**Demande n° 3 : Je vous demande de dresser une liste exhaustive des coudes présentant des défauts de longueur supérieure à 40 mm et d'estimer la hauteur de ces défauts afin de garantir le caractère enveloppe des dimensions (hauteur et longueur) du défaut de référence que vous prendrez en compte dans les études mécaniques pour chacun de ces coudes (voir en particulier les tableaux 11 et 12 du rapport en référence [8]).**

## **Tenue à la déchirure ductile des coudes moulés**

Conformément à la demande n° 3 formulée par lettre en référence [2], vous m'avez transmis des études mécaniques par famille de coudes A, B, C, D et E, ce qui répond à cette demande en ce qui concerne les réacteurs de 900 MWe.

Dans l'état actuel de l'instruction effectuée par l'ASN en matière de transitoires thermo-hydrauliques, je considère que la méthodologie et la justification de la tenue à la déchirure ductile des coudes, pour lesquels un défaut de 10 mm de hauteur et de 40 mm de longueur est postulé, sont acceptables.

**Demande n° 4 : En cohérence avec les demandes n° 2-A à 2-D formulées ci-dessus et dans l'hypothèse où vous reprendriez certaines études mécaniques avec un défaut de référence de 10 mm de hauteur et de 40 mm de longueur, je vous demande de mentionner explicitement, dans un dossier de synthèse, les modifications apportées notamment en termes d'hypothèses ou de méthodes de calculs par rapport aux dossiers présentés en vue de la séance du GP ESPN du 23 mai 2019.**

J'estime, du fait de leurs faibles résistances à la déchirure ductile à la fin de la période d'exploitation envisagée par EDF (20 ans après la 4<sup>ème</sup> visite décennale) et du recours à un défaut postulé de 3 mm de hauteur et 20 mm de longueur, que la démonstration de l'aptitude au service de certains coudes n'est pas acquise pour cette période. La demande n° 5 qui suit ne traite pas du cas des coudes de la coulée Creusot Loire Industries n° 21816 qui sont traités plus loin dans le présent courrier.

**Demande n° 5 : Pour les coudes dont la justification de tenue à la déchirure ductile n'est pas acquise compte tenu de l'utilisation de défaut de référence dont les dimensions sont égales à 3 mm de hauteur et 20 mm de longueur, je vous demande de déterminer la durée d'aptitude au service au-delà de la 4<sup>ème</sup> visite décennale des réacteurs concernés<sup>2</sup> établie à partir d'une méthodologie acceptable au regard des demandes précédentes. Cette démonstration devra être apportée au minimum deux ans avant la date de début de l'arrêt du réacteur en vue de sa 4<sup>ème</sup> visite décennale et ce afin de pouvoir envisager, le cas échéant, un remplacement des coudes concernés.**

Au cours de l'instruction, vous avez apporté des éléments qualitatifs succincts pour justifier l'absence de prise en compte des contraintes résiduelles de soudage dans les études mécaniques.

**Demande n° 6 : Je vous demande de compléter ces éléments avant fin 2019.**

Par ailleurs, 28 coudes ont été, à ce stade, identifiés comme étant concernés par des sous-épaisseurs de fabrication.

Je note votre engagement mentionné dans les fiches R09 et R12 de votre courrier en référence [6] de fournir, avant fin 2019, la liste des coudes concernés et, avant fin 2020, les études mécaniques tenant compte de ces sous-épaisseurs.

---

<sup>2</sup> Leurs 4<sup>èmes</sup> visites décennales sont actuellement programmées entre 2022 et 2025.

Enfin, je note votre engagement mentionné dans la fiche R15 de votre courrier en référence [6] de transmettre, avant fin 2020, les analyses de nocivité d'un défaut de référence pour les coudes de remplacement fabriqués en CF8, acier inoxydable austéno-ferritique sans molybdène, des réacteurs de 900 MWe.

### **Tenue à la déchirure ductile des coudes de la coulée Creusot Loire Industrie n° 21816**

Il a été constaté, au cours de l'instruction, le caractère particulier du matériau des coudes issus de la coulée de Creusot Loire Industrie n° 21816. L'ASN constate que les formules de prévision de la résistance à la déchirure ne peuvent pas s'appliquer pour les coudes issus de cette coulée au regard des résultats des essais mécaniques réalisés. En effet les formules surestiment largement la résistance à la déchirure ductile du matériau tout en prévoyant correctement leur résilience.

Je note que vous vous êtes engagé, dans la fiche R11 de votre courrier en référence [6], à compléter les données matériaux de cette coulée pour fiabiliser les valeurs de résistance à la déchirure retenues dans les études mécaniques (cf. demandes n° 7-A et n° 7-B ci-dessous) et à effectuer, avant fin 2020, une nouvelle analyse de nocivité reposant sur ces données consolidées en postulant un défaut de référence acceptable (cf. demande n° 7-C ci-dessous) compte tenu des demandes formulées dans les paragraphes précédents.

**Demande n° 7-A :** Je vous demande de préciser, préalablement à leur réalisation, le programme d'essais mené sur les éprouvettes obtenues par prélèvements de barquettes sur les coudes issus de la coulée Creusot Loire Industrie n° 21816 et de m'informer du planning de leur mise en œuvre.

**Demande n° 7-B :** Je vous demande de transmettre, dès qu'ils seront disponibles, les valeurs obtenues pour chaque éprouvette ainsi que les courbes (J,  $\Delta a$ ).

**Demande n° 7-C :** Je vous demande de démontrer, avant fin 2020, la représentativité des essais menés, en particulier en matière de zones et de coudes prélevés, et d'expliquer de quelle manière vous allez faire usage de ces données pour définir les valeurs de  $J_{0,2}$ ,  $J_1$  et  $J_3$  qui seront employées dans les études mécaniques.

### **Coulées particulières autres que la coulée Creusot Loire Industrie n° 21816**

Je note que vous vous êtes engagé, dans la fiche R14 de votre courrier en référence [6], à effectuer des investigations complémentaires pour vous assurer de l'absence de coulées particulières autres que la coulée Creusot Loire Industrie n° 21816 parmi les coulées multiples fabriquées dans cette même usine.

Pour ces coulées multiples fabriquées par Creusot Loire Industries, vous vous êtes ainsi engagé à réaliser des essais de résistance à la déchirure ductile sur :

- des coudes issus des coulées n° 32638, n° 35517 et n° 32515 ;
- de la matière disponible (lingotins, de préférence, ou directement sur coudes de la coulée, en cas de matière insuffisante) pour les coulées n° 33005, n° 32720, n° 33915, n° 22187 et n° 22503.

Je note que vous avez entrepris un travail visant à identifier les causes de la particularité de la coulée Creusot Loire Industrie n° 21816. Je considère que ce travail est indispensable pour conforter la démarche générique de prévision des caractéristiques de résistance à la déchirure ductile.

**Demande n° 8-A : Je vous demande de me faire part, avant fin 2019, des conclusions des investigations que vous menez dans l'objectif de comprendre les causes de la particularité de la coulée multiple Creusot Loire Industrie n° 21816.**

Parmi les coulées multiples fabriquées par Creusot Loire Industries, je considère que vous devez conforter les éléments disponibles pour garantir l'absence d'autres coulées susceptibles de présenter des particularités en matière de résistance à la déchirure ductile, au minimum pour les coulées multiples suivantes : n° 22244, n° 21684, n° 22409, et n° 33832.

**Demande n° 8-B : Pour les coulées multiples fabriquées par Creusot Loire Industries n° 22244, n° 21684, n° 22409 et n° 33832, je vous demande de conforter les éléments disponibles, avant fin 2019, pour garantir l'absence d'autres coulées susceptibles de présenter des particularités.**

Par ailleurs, j'estime que l'exploitant doit tirer les enseignements de cette situation en introduisant, dans le dispositif de suivi du vieillissement, une part de sondage aléatoire, en particulier pour les coudes issus de coulées ayant conduit à la fabrication d'un ou deux coudes.

**Demande n° 8-C : Je vous demande de proposer un programme d'essais, avant juillet 2020, sur de la matière représentative des coudes en service n'ayant jamais bénéficié d'essais destructifs pour vérifier, par sondage, l'absence de risque de coulées particulières.**

Enfin, vous vous êtes engagé, dans la fiche R14 de votre courrier en référence [6], à transmettre des éléments explicitant en quoi le risque d'avoir une autre coulée particulière est réduit, notamment pour les coulées ayant conduit à la fabrication d'un ou de deux coudes, ou, à défaut, des éléments démontrant que l'impact de ce risque est maîtrisé.

**Demande n° 8-D : A l'issue de l'ensemble de ces investigations visant à identifier d'éventuelles coulées particulières autres que la coulée Creusot Loire Industries n° 21816, je vous demande d'indiquer si ces conclusions sont susceptibles de remettre en cause la pertinence des formules de prévision de la résistance à la déchirure ductile.**

### **Remplacement et faisabilité du remplacement de certains coudes**

Par courrier en référence [2], je vous demandais d'apporter des éléments concernant le remplacement de coudes chauds, la faisabilité d'un remplacement de coudes A, B, C ou D en dehors d'une opération de remplacement de générateurs de vapeur et la faisabilité d'un remplacement d'un coude E, qui est un coude froid situé à proximité de la cuve du réacteur.

Je considère que les éléments que vous avez apportés répondent aux demandes n° 4 à 7 de la lettre en référence [2].

Je note en particulier que vous estimez que l'opération de remplacement d'un coude E « *est jugée comme industriellement non réalisable* » pour des raisons listées dans votre note en référence [11].

### **Stratégie de suivi des coudes en service**

Dans le document en référence [10], vous avez proposé un suivi des propriétés mécaniques de certains coudes suivant des critères de sélection précis. Je considère que cette proposition répond à la demande n° 2 de la lettre en référence [2].

La stratégie de suivi des propriétés mécaniques des coudes installés sur des réacteurs en exploitation s'appuie notamment sur le suivi d'un sous-ensemble de coudes que vous considérez représentatifs des autres coudes et que vous identifiez comme « coudes semblables ». Vous considérez des coudes comme « semblable » sur la base de critères de chrome équivalent EMA et de nickel équivalent EMA (selon la formule portant le même nom et développé par EDF R&D) et justifiez du choix de ces critères sur la base d'exemples de comparaison entre « produits moulés ».

Je note que vous vous êtes engagé, dans la fiche R17 de votre courrier en référence [6], à « *étendre le périmètre de validation* » des critères de définition des « coudes semblables », c'est-à-dire à augmenter le nombre d'exemples de comparaison entre « produits moulés ».

**Demande n° 9 : Afin de garantir la pertinence de la méthode d'identification de coudes semblables, je vous demande de recenser les données relatives aux coudes déposés ou barquettes prélevées sur des coudes en service et de réaliser une comparaison, en appliquant la même méthode que celle mise en œuvre dans la note [9], des coudes que vous aurez identifiés comme étant semblables.**

### **Irrégularités de fabrication à l'usine de Creusot Loire Industrie**

A la suite de la détection d'irrégularités de fabrication à l'usine de Creusot Loire Industries, une revue des dossiers de fabrication visant à identifier, à caractériser et à traiter ces irrégularités a été engagée.

A partir de l'identification des irrégularités pouvant avoir un impact sur les dossiers de justification de la tenue à la rupture brutale, vous avez analysé les risques, par étape de fabrication, permettant de faire le lien entre les différents paramètres de fabrication et les caractéristiques du composant.

Vous vous êtes engagé, dans la fiche R16 du courrier en référence [6], à réaliser, avant fin 2019, une analyse d'impact systématique de ces non-conformités et anomalies vis-à-vis des paramètres étudiés comme données d'entrée des justifications mécaniques et, le cas échéant, à mettre en conformité, avant fin 2020, les études mécaniques.