



DIRECTION DES ÉQUIPEMENTS
SOUS PRESSION NUCLÉAIRES

Dijon, le 2 novembre 2016

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

**Objet : Ségrégation du carbone dans les fonds primaires de générateurs de vapeur
Cas particulier des fonds fabriqués par JCFC à partir de lingots de 120 tonnes
Programme d'essais sur fonds sacrificiels Creusot Forge et JCFC**

Réf. : cf. annexe 0

Monsieur le Directeur,

La présence d'une teneur en carbone atteignant 0,39 % sur les fonds primaires ségrégés fabriqués par JCFC à partir de lingots de 120 tonnes remet en cause un certain nombre d'hypothèses que vous aviez formulées jusqu'alors dans le cadre de la justification de l'aptitude au service des fonds primaires ségrégés.

Par lettre en référence [1], vous m'avez transmis des éléments visant à démontrer le maintien en service des équipements concernés, notamment en réévaluant ces hypothèses.

L'ASN a saisi l'IRSN sur ce dossier. En parallèle de cette saisine et des questions que pourra formuler l'IRSN, je vous prie de trouver en annexes 1 et 2 des questions sur :

- les défauts sous revêtement et les performances des examens non destructifs ;
- la connaissance de l'étendue de la ségrégation.

L'annexe 2 aborde également le programme d'essais sur fonds sacrificiels.

Vous voudrez bien me faire part sous deux mois de vos réponses à la demande 9. Les autres demandes s'inscrivent dans l'instruction du redémarrage des réacteurs concernés.

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

**Le Directeur des équipements
sous pression nucléaires**

Rémy CATTEAU

Annexe 0 à la lettre CODEP-DEP-2016-042959
Références

- [1] Lettre EDF à l'ASN D4008.10.11.16/0458 du 7 octobre 2016 relative au maintien en service des fonds JCFC issus de lingots de 120 tonnes
- [2] Note MDTS2016-0073 à l'indice A du 7 avril 2016 relative aux défauts inacceptables
- [3] Note D309516020341 à l'indice A du 4 août 2016 relative à la corrélation entre les défauts postulés et les END
- [4] Journal des points ouverts JPO-segregations_forges_TRI1_version4
- [5] Note du Ceidre D309516025735 à l'indice A du 7 octobre 2016 relative à l'évaluation du taux de carbone en face interne des fonds de GV de Tricastin 1
- [6] Note du Ceidre D309516025466 à l'indice A du 7 octobre 2016 relative aux propriétés matériaux de la zone ségréguée à 0,39% de carbone
- [7] Note EDF D309516018651 à l'indice A relative sur l'impact potentiel d'un mécanisme de vieillissement - cuve de Flamanville 3
- [8] Lettre d'EDF à l'ASN D4008.10.11.16/0476 du 17 octobre 2016 faisant office de réponse au contradictoire de l'ASN formulée par lettre en référence [9]
- [9] Lettre de l'ASN à EDF CODEP-DEP-2016-040924 du 14 octobre faisant office de contradictoire
- [10] Lettre de l'ASN à EDF CODEP-DEP-2016-019273 du 27 mai 2016
- [11] Document de suivi - Prélèvement de copeaux D02-ARV-01-101-424 à l'indice B
- [12] Décision de l'ASN 2016-DC-0572 du 18 octobre 2016 prescrivant des contrôles et mesures sur le fond primaire de certains générateurs de vapeur
- [13] Note D02-DTIMM-F-16-0175 à l'indice A du 13 octobre 2016 relative aux premiers résultats des essais mécaniques réalisés en zone de masselotte de la virole VB-355-B
- [14] Lettre d'EDF à l'ASN D4008.10.11.16/0428 du 16 septembre 2016 relative au programme d'essais sur des fonds sacrificiels

**Annexe 1 à la lettre CODEP-DEP-2016-042959
relative aux défauts**

La présence d'une teneur en carbone atteignant 0,39 % sur les fonds primaires ségrégés fabriqués par JCFC à partir de lingots de 120 tonnes remet en cause un certain nombre d'hypothèses que vous aviez formulées jusqu'alors.

L'affaiblissement potentiel des propriétés mécaniques des fonds primaires ségrégés, au-delà de la mi-épaisseur côté peau interne, engendre un risque de rupture brutale des fonds sous transitoires de chocs froids. J'ai noté qu'une analyse de sensibilité vous a conduit à déterminer que le défaut non détectable le plus pénalisant, côté peau interne, est un défaut enfoui de 5 mm et de hauteur 10 mm.

Vous m'avez indiqué, par lettre en référence [1], que la fabrication des générateurs de vapeur pouvait engendrer la création de défauts sous revêtement (DSR) au cours du soudage du revêtement en face interne des fonds.

Vous précisez que, pour éviter de tels défauts, des précautions ont été prises en fabrication vis-à-vis de la fissuration à froid et que, d'autre part, dans la partie centrale des fonds, le revêtement a été déposé à l'électrode enrobée, ce qui conduit à des zones affectées thermiquement (ZAT) de faible profondeur (inférieure à 5 mm).

Ces informations ne sont pas documentées dans les annexes que vous avez transmises.

Demande 1 : Je vous demande de m'apporter des éléments sur :

- la nature exacte de ces précautions et la manière dont elles ont été définies et documentées ;
- les précautions qui ont été effectivement prises lors de la fabrication de chacun des fonds primaires objet de la présente lettre ;
- les précautions qui auraient dû être prises, tenant compte de la teneur effective en carbone de l'ordre de 0,26 %, selon les estimations que vous avez fournies ;
- l'ensemble des procédés de soudage qui ont été employés pour la pose du revêtement ;
- les zones précises revêtues en lien avec chacun de ces procédés ;
- les éléments techniques à l'appui de la profondeur de la ZAT générée par le procédé par électrode enrobée ;
- les informations relatives à la profondeur de la ZAT générée par les éventuels autres procédés utilisés.

Demande 2 : Je vous demande également de me transmettre, à l'appui des réponses apportées à ma demande 1 :

- les documents émis ayant permis de définir les précautions à prendre et la nature de celles-ci ;
- les extraits des rapports de fin de fabrication de chacun des fonds, objet de la présente lettre, ainsi que les documents formalisant la relecture de ces rapports ;
- les procédures de soudage employées ;
- la gamme de fabrication définissant les zones revêtues ainsi que les procédés utilisés pour chacune de ces zones.

*

Votre lettre en référence [1] laisse supposer qu'aucun examen non destructif n'a été mis en œuvre au stade de la fabrication pour vérifier l'absence de DSR.

Pour asseoir la démonstration de la tenue des fonds primaires au risque de rupture brutale en situations de chocs chauds, vous avez émis les documents suivants :

- une note en référence [2] qui traite des défauts inacceptables qui auraient pu être générés lors de l'approvisionnement des fonds primaires fabriqués par Creusot Forge ;
- une note en référence [3] qui établit la corrélation entre les défauts postulés dans les notes de calculs mécaniques et les défauts détectés lors des contrôles par essais non destructifs.

Demande 3 : Je vous demande de me confirmer qu'aucun contrôle par essai non destructif n'a été mis en œuvre lors de la fabrication pour détecter la présence de défauts sous revêtement post-soudage.

Demande 4 : Je vous demande de définir les caractéristiques des défauts qui peuvent être générés lors de l'approvisionnement et de la fabrication des fonds, en peau interne, à l'instar de ce qui a été effectué au travers de la note en référence [2]. Pour les défauts sous revêtement, vous effectuerez le lien avec la profondeur de la ZAT mentionnée à la demande 1.

Demande 5 : Je vous demande d'établir la corrélation entre les défauts postulés dans les notes de calculs mécaniques et les défauts attendus en peau interne, en complément de la note en référence [3]. Ces éléments vous ont déjà été demandés le 13 septembre 2016 au travers du journal des points ouverts en référence [4].

*

Au travers du journal des points ouverts en référence [4], je vous ai également demandé la nature de la vérification qui est effectuée pour vous assurer de l'absence de ségrégations à proximité de la liaison bi-métallique des tubulures primaires, étant donné la décarburation en surface.

Vous m'avez répondu qu'une relecture des rapports de fin de fabrication avait permis de s'assurer de l'absence de défauts.

Je note que vous ne pouvez donc pas garantir l'absence de ségrégation au niveau de la liaison bi-métallique et que votre argumentaire repose sur l'absence de défauts fondée sur les essais non destructifs réalisés.

Demande 6 : Dans le cas où vous confirmez que la ségrégation du carbone peut atteindre la liaison bi-métallique, je vous demande de démontrer :

- l'absence de défauts au niveau de la liaison bi-métallique ;
- la performance des essais non destructifs mis en œuvre ;
- les précautions qui ont été prises lors du soudage.

Demande 7 : Je vous demande également de me transmettre, à l'appui des réponses apportées à ma demande 6 :

- les procédures de contrôles par essais non destructifs employés au niveau de la liaison bi-métallique, lors de la fabrication ;
- les procédures de contrôles par essais non destructifs employés au niveau de la liaison bi-métallique, en service ;

- les résultats de ces contrôles ;
- les extraits des rapports de fin de fabrication de chacun des fonds ainsi que les documents formalisant la relecture de ces rapports ;
- les procédures de soudage employées ;
- les caractéristiques des défauts qui peuvent être générés lors de l'approvisionnement et de la fabrication des fonds, au niveau de la liaison bi-métallique, à l'instar de ce qui a été effectué au travers de la note en référence [2] ;
- la corrélation entre les défauts postulés dans les notes de calculs mécaniques et les défauts attendus au niveau de la liaison bimétallique, en complément de la note en référence [3] ;
- votre avis sur la nécessité de compléter les calculs mécaniques en situations de chocs chauds tenant compte des éléments précédents.

*

En peau interne, les défauts peuvent être notamment générés lors des opérations de soudage, en particulier étant donné la teneur en carbone élevée.

Demande 8 : Je vous demande de confirmer que la pose du revêtement constitue la seule opération de soudage ayant été effectuée sur les fonds primaires fabriqués par JCFC à partir de lingots de 120 tonnes, en peau interne.

*

Enfin, un des trois piliers des analyses de tenue à la rupture brutale réside dans la robustesse de la démonstration d'absence de défauts dans les composants.

Actuellement, vous avez démontré que, en zone centrale, les contrôles par essais non destructifs réalisés en fabrication et les examens effectués à la demande de l'ASN en service permettent de détecter des défauts de 5 mm x 30 mm côté peau externe, en zone centrale. En zone de transition de tubulures, vous vous appuyez uniquement sur les contrôles non destructifs réalisés en fabrication et sur leur capacité à détecter des défauts de taille 10 mm x 60 mm.

Demande 9 : Afin de renforcer cette partie de la démonstration, je vous demande d'examiner l'opportunité de développer des essais non destructifs plus performants, ou à défaut, de consolider la performance des contrôles qui ont déjà été mis en œuvre, dans l'objectif de garantir la détection de défauts dans tout le volume, que ce soit en zone centrale, en zone de tubulure, en peau interne ou en peau externe.

Annexe 2 à la lettre CODEP-DEP-2016-042959
relative à la connaissance du matériau et au programme d'essais sur des fonds sacrificiels

La ségrégation des éléments chimiques est fortement marquée par la ségrégation du carbone. Toutefois, elle s'accompagne d'une ségrégation du phosphore qui joue également un rôle en matière de vieillissement thermique, en particulier en présence d'une zone affectée thermiquement.

Cette influence du phosphore est illustrée dans le paragraphe ZG6123 du code RCC-M puisque le décalage de RT_{NDT} dû au vieillissement thermique peut atteindre jusqu'à 40°C en fonction des critères sélectionnés (ZAT, teneur en phosphore de 80 ppm, température de 350°C).

Dans les notes de calculs mécaniques, vous avez pris en compte un décalage forfaitaire de 15° C dû au vieillissement après déformation, considérant que, d'une part, le vieillissement thermique et le vieillissement après déformation ne se cumulent pas, au sens du code RSE-M et que, d'autre part, le décalage forfaitaire de 15° C est enveloppe du décalage qui serait dû au vieillissement thermique.

Cette affirmation ne tient pas compte de la ségrégation marquée du carbone et du phosphore dans les fonds JCFC issus de lingots de 120 tonnes.

Dans la note en référence [6], on peut constater que la teneur en phosphore est de l'ordre de 0,004 % à la coulée, pour une teneur en carbone de 0,18 %, pour les fonds de Tricastin 1.

Vous avez estimé que, pour une teneur maximale en carbone de 0,4%, la teneur en phosphore est de 0,011 %, ce qui correspond à 110 ppm. La mesure par copeaux donne une valeur inférieure à la limite de détection de 0,01 %.

Demande 10 : Je vous demande de m'indiquer :

- la concentration maximale attendue en phosphore en peau interne et en peau externe, en zone centrale et en zone de tubulure ;
- la concentration maximale attendue des autres éléments chimiques qui ségrègent et qui ont un effet sur la fragilisation ;
- l'impact attendu sur la fragilisation du matériau et le vieillissement thermique, notamment en termes de décalage de RT_{NDT} en peau interne et en peau externe ;
- si le matériau des fonds primaires sera couvert par le programme d'essais lancé dans le cadre des calottes de la cuve de Flamanville 3 dans la mesure où les teneurs en phosphore sont de l'ordre de 0,005 % (note en référence [7]) ;
- le cas échéant, votre avis sur la nécessité d'engager un tel programme pour les fonds fabriqués par JCFC.

*

Par la note en référence [6] et la lettre en référence [8], vous me faites part de la mise en œuvre de prélèvements par copeaux réalisés sur des fonds JCFC issus de lingots de 90 tonnes en réponse à ma demande formulée par lettre en référence [9].

Ces prélèvements par copeaux ont été effectués sur Tricastin 1, pour des besoins de compréhension des caractéristiques des matériaux et sur Civaux 2, Dampierre 3 et Bugey 4, en vue de répondre à la demande susmentionnée.

Je vous rappelle que, par lettre en référence [10], je vous demandais de me transmettre les modes opératoires mis en œuvre avant la réalisation des mesures de carbone et des essais non destructifs effectués sur les fonds primaires. J'ai noté qu'aucun mode opératoire, à l'exception du document de suivi en référence [11], n'a été rédigé à cette occasion. Vous avez toutefois considéré, a posteriori dans certains cas, que l'intervention relevait d'une activité importante pour la protection, ce qui n'est pas conforme à l'arrêté en référence [12]. L'absence de définition des exigences en amont des interventions rend fragile la pertinence et la représentativité des mesures qui ont été effectuées ainsi que la confiance qu'on peut attribuer à ces mesures.

Demande 11 : Je vous demande de m'indiquer les dispositions prises lors des prélèvements par copeaux qui ont permis de garantir la suppression des zones décarburées et d'obtenir les valeurs maximales de carbone. Sans l'établissement de ces éléments, les résultats ne pourront être considérés comme représentatifs et ne pourront pas être portés au crédit de la démonstration attendue.

*

Des demandes formulées par l'ASN, notamment par lettre en référence [10], visaient à disposer d'une mesure fiable de la teneur en carbone des fonds en service, tenant compte de l'incertitude due à la technique employée. Suite à ces demandes de l'ASN, vous avez décidé de mettre en œuvre des mesures par spectrométrie à émission optique sur les réacteurs équipés de fonds fabriqués par Creusot Forge et JCFC.

Par ailleurs, la décision de l'ASN, en référence [12], vise notamment à s'assurer que la valeur de la teneur en carbone maximale obtenue jusqu'alors sur Tricastin 1 est bien enveloppe des autres cas des fonds primaires fabriqués par JCFC à partir de lingots de 120 tonnes.

Au cours d'une inspection réalisée sur le site du Bugey le 17 octobre 2016, il a été constaté, en matière de calibration et de résultats de mesures à partir des données brutes, que :

- au-delà d'une valeur de 0,4%, la mesure ne pouvait être établie ;
- la calibration de l'appareil de spectrométrie était effectuée sur la plage 0,1%-0,4% ;
- cette calibration est plus fine pour la plage 0,2%-0,3% ;
- un examen par sondage des données brutes, réalisé hors inspection, soulève une interrogation sur certains points de mesure. Par exemple, la mesure du carbone au point référencé TH11.3 a nécessité de reprendre la mesure à quatre reprises. A la lecture des données brutes, il est constaté que les résultats des mesures n°1 et 3, qui révélaient des valeurs du carbone supérieures à 0,4 %, ont été rejetées, sans raison apparente.

En matière d'organisation, l'inspection a révélé que le rôle des différents intervenants était insuffisamment défini, documenté ou encore respecté :

- le rôle de l'assistant technique, qui est de valider la préparation de surface, les calibrations, et les résultats des mesures et de nettoyer les sondes, n'est évoqué dans aucun document. Il n'a signé aucun document pour démontrer qu'il avait assumé pleinement son rôle ;

- il a été défini que la réalisation des mesures par spectrométrie nécessite la présence de quatre opérateurs : un opérateur au pupitre de commande, un opérateur qui manipule le pistolet, un assistant technique et un surveillant du CEIDRE. Les inspecteurs ont noté que l'un des opérateurs appartenait au groupe SPIE. Le CNPE a assuré que les agents SPIE étaient des agents en formation et étaient présents en tant qu'observateur. Les inspecteurs n'ont pas été en mesure de vérifier le statut des agents de la société SPIE, à savoir s'ils étaient effectivement en formation ou s'ils disposaient de l'habilitation requise pour intervenir sur cette opération. En fonction de la réponse à cette question, il peut être conclu que l'équipe était en nombre insuffisant pour réaliser l'opération conformément à ce qui était requis.

L'ensemble de ces constats m'amène à m'interroger sur la qualité des mesures réalisées sur les fonds Creusot Forge et JCFC ainsi que sur la représentativité des valeurs obtenues et, in fine, sur la remise en cause des mesures effectuées.

Demande 12 : Je vous demande de justifier que les mesures de carbone qui ont déjà été réalisées sur les fonds concernés (Creusot Forge et JCFC) par spectrométrie à émission optique ne doivent pas être remises en cause.

*

Par lettre en référence [14], vous me transmettez des premiers éléments relatifs au programme d'essais sur des fonds sacrificiels. Lors de la réunion du 29 septembre dernier, nous avons échangé sur la démarche globale de démonstration que vous comptez adopter dans la mesure où ces éléments sont insuffisamment détaillés à ce stade dans la lettre en référence [14] et ses annexes. Vous m'avez indiqué que cette démarche serait identique à celle mise en œuvre pour le programme des calottes de cuve de l'EPR de Flamanville.

Je vous rappelle l'importance de m'informer au plus vite de la démarche détaillée que vous avez retenue.

En termes de représentativité métallurgique des composants sélectionnés, je m'interroge sur les points suivants :

- programme Creusot Forge : vous prévoyez d'employer deux fonds RP3 pour représenter les trois fonds de Chinon B2 alors qu'il est prévu la coulée d'un unique fond, dont la garantie de reproductibilité du programme technique de fabrication n'est pas acquise, pour représenter les 17 autres fonds Creusot forge ;
- programme JCFC : vous prévoyez d'employer deux fonds issus de lingots JCFC de 90 tonnes pour représenter les 8 fonds fabriqués à partir du même lingot. Toutefois, la comparaison des valeurs obtenues en tubulure entre les fonds de Saint-Laurent B1 et le fond NP255 remet en cause la représentativité de ce dernier. Par ailleurs, vous envisagez de couler un flan chez JCFC en vue de représenter les 18 autres fonds, issus de lingots de 120 tonnes, alors même que vous ne pouvez garantir que JCFC sera en capacité de couler un flan présentant les mêmes caractéristiques en termes de structure métallurgique et de niveau de carbone que ceux en service. En outre, vous n'apportez aucun élément permettant de garantir la pertinence de l'utilisation de l'outil FORGE pour simuler la répartition du carbone en surface et dans l'épaisseur de la pièce finale, en l'absence de moyens d'emboutissage et d'extrusion chez JCFC.

Néanmoins, afin de ne pas retarder le programme d'essais, je vous informe que je n'ai pas d'objection à la mise en œuvre des actions visant à fabriquer de nouvelles pièces dans le cadre de ce programme

d'essais sur des fonds sacrificiels, en particulier pour couvrir les fonds de Creusot Forge fabriqués à partir de lingots de 150 tonnes et les fonds de JCFC issus de lingots de 120 tonnes. Je me réserve toutefois la possibilité de formuler des demandes ultérieurement sur ce programme dans le cadre de l'instruction qui sera menée.

Je souhaite toutefois que vous m'informiez des mesures chimiques et des essais mécaniques prévus avant leur mise en œuvre.