

Fontenay-aux-Roses, le 20 septembre 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

Avis IRSN n° 2019-00211

Objet : Tenue à la rupture brutale des générateurs de vapeur équipés de fonds primaires issus de lingots de 120 tonnes et fabriqués par le forgeron JCFC

Réf. :  
1. Décision n° CODEP-DCN-2016-048322 du 9 décembre 2016  
2. Lettre ASN CODEP-DEP-2019-028719 du 11 juillet 2019  
3. Avis IRSN n° 2015-00118 du 3 avril 2015  
4. Avis IRSN n° 2016-00369 du 30 novembre 2016

Suite à la détection d'une teneur en carbone en dépassement en partie centrale des calottes de cuve du réacteur EPR de Flamanville, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé à Électricité de France (EDF) d'identifier les composants du parc de réacteurs nucléaires en exploitation potentiellement affectés par la même anomalie et de se prononcer quant aux conséquences d'une telle anomalie sur l'aptitude au service de ces composants. Dans ce cadre, EDF a identifié 46 fonds de générateurs de vapeur (GV) de remplacement fabriqués par Creusot Forge (CF) ou par Japan Casting and Forging Corporation (JCFC) concernés par cette anomalie. Ces 46 fonds de GV sont répartis sur 18 réacteurs de puissance 900 MWe. L'augmentation de la teneur en carbone de l'acier faiblement allié des gros composants forgés se traduit par une augmentation des caractéristiques de traction et peut conduire à une diminution de la ténacité. Cette anomalie peut donc mettre en cause les hypothèses relatives au comportement des matériaux prises en compte à la conception pour l'étude du risque de rupture brutale de ces fonds primaires.

**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

En 2016, une première analyse de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) avait précédé la tenue d'une réunion des experts du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (ESPN). Par décision, citée en référence [1], l'ASN avait alors autorisé EDF à modifier les règles générales d'exploitation des réacteurs concernés afin de mettre en place les mesures compensatoires permettant de justifier le maintien en service des GV concernés. Cette décision a permis la poursuite de l'exploitation des réacteurs affectés par l'anomalie.

Afin d'évaluer plus précisément les propriétés chimiques et mécaniques dans les zones ségréguées des fonds de GV fabriqués par JCFC, EDF et FRAMATOME ont réalisé un programme d'essai sur des composants sacrificiels. L'objectif de ce programme est de confirmer le caractère enveloppe des hypothèses de décalage de température de transition à ductilité nulle ( $RT_{NDT}$ ) prises en compte en 2016, et d'actualiser les analyses visant à démontrer l'absence de risque de rupture brutale. Dans ce cadre, JCFC a fabriqué deux fonds forgés sacrificiels et un lingot sacrificiel.

Par la lettre en référence [2], et préalablement au redémarrage du réacteur n° 1 de Tricastin à la suite de son arrêt pour quatrième visite décennale, l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur la mise à jour du dossier de tenue en service des fonds de GV fabriqués par JCFC à partir de lingots de 120 tonnes et plus particulièrement sur :

- la représentativité des composants sacrificiels, notamment en matière de gammes de fabrication, et de caractéristiques dimensionnelles et chimiques ;
- la pertinence et le caractère suffisant des pièces employées et du programme d'essais ;
- l'interprétation des résultats en matière de caractéristiques mécaniques ;
- l'acceptabilité des décalages de  $RT_{NDT}$  retenus par l'exploitant dans les études mécaniques.

À partir des éléments transmis par EDF et suite à l'expertise technique menée, l'IRSN retient les points suivants.

### **Représentativité des composants sacrificiels**

Les paramètres de fabrication des deux fonds sacrificiels ont été définis afin d'accentuer les phénomènes de ségrégation de carbone. La caractérisation de ces pièces a permis à EDF d'évaluer la répartition du carbone dans le volume des pièces. L'un des deux fonds sacrificiels n'a pas atteint les critères recherchés par EDF en termes de teneur maximale en carbone. Ainsi, la caractérisation mécanique en zone ségrégée a été réalisée sur un seul de ces deux fonds sacrificiels.

Vingt à trente ans séparent la fabrication des fonds en exploitation de celle des fonds sacrificiels. EDF a comparé les paramètres de fabrication des pièces sacrificielles aux paramètres des pièces de série. Le même exercice a été effectué par EDF sur les résultats des essais de recette. EDF conclut que ces données sont homogènes et que les pièces sacrificielles sont représentatives des pièces de série. Cette conclusion ne soulève pas de commentaire de la part de l'IRSN dans la mesure où ces conditions de fabrication peuvent en effet être considérées comme un référentiel homogène et que les pièces sacrificielles sont conformes à ce référentiel. Les quelques différences relevées par l'IRSN dans les conditions de fabrication ne mettent pas en cause la représentativité des fonds sacrificiels.

### **Pertinence et caractère suffisant du programme d'essais**

Les évaluations de la répartition du carbone et des propriétés mécaniques en zone de ségrégation majeure positive ont été effectuées sur des composants sacrificiels suivant des moyens et méthodes analogues aux dossiers précédemment instruits par l'IRSN pour la démonstration d'absence de risque de rupture brutale des composants comportant une non-conformité de teneur en carbone, notamment le dossier des calottes de cuve de l'EPR de Flamanville 3. Par conséquent, l'IRSN estime le programme d'essais pertinent.

Les analyses chimiques réalisées sur les fonds sacrificiels ont montré que la teneur en carbone est maximale en surface externe. Ces résultats concordent avec les résultats de mesures de teneur en carbone réalisées sur les surfaces externes de certains fonds installés sur site EDF fabriqués par le forgeron JCFC. Dans l'épaisseur, le taux de carbone décroît rapidement. À la mi-épaisseur, la teneur en carbone des pièces sacrificielles est conforme aux exigences.

Les propriétés mécaniques de la zone de ségrégation majeure positive ont été évaluées sur une seule pièce sacrificielle. La composition chimique de ce fond sacrificiel a été définie afin de maximiser les phénomènes de ségrégation. Le taux de masselottage<sup>1</sup> pratiqué sur le fond sacrificiel est le plus faible

---

<sup>1</sup> Ratio entre le poids de la masselotte, partie supérieure du lingot destinée à piloter sa solidification, et le poids total du lingot

parmi les composants en service concernés. L'IRSN considère que ces deux paramètres contribuent significativement à augmenter l'intensité et la pénétration de la ségrégation dans l'épaisseur de la pièce forgée. Ainsi, le caractère pénalisant des paramètres de fabrication du fond sacrificiel est acquis. Le programme d'essais réalisé sur le fond sacrificiel comporte des essais de traction, de résilience, de ténacité et la détermination de la  $RT_{NDT}$  en zone ségrégée. Ce programme d'essai est jugé suffisant par l'IRSN. En conclusion, les résultats expérimentaux établis sur le fond sacrificiel peuvent être utilisés pour définir les données d'entrée des analyses mécaniques. Du fait de l'établissement de ces résultats sur une seule pièce sacrificielle, des conservatismes suffisants doivent néanmoins être adoptés afin de transposer ces résultats aux pièces de série équipant des composants en service.

#### **Interprétation des résultats en matière de caractéristiques mécaniques**

Certains résultats des essais de traction en zone ségrégée donnent des valeurs supérieures aux valeurs maximales imposées par le code de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires des REP (RCC-M). Toutefois, les valeurs d'allongement mesurées, l'absence d'opération de soudage sur cette zone enrichie en carbone et l'évolution du référentiel réglementaire mentionné ci-dessus conduisent l'IRSN à ne pas formuler de réserve quant au bon comportement en traction de la zone ségrégée.

Les propriétés de résilience sont conformes aux exigences réglementaires et aux exigences du code RCC-M. Les indicateurs de la température de transition entre les domaines fragile et ductile de l'acier tirés des essais de résilience, de ténacité et de flexion par choc présentent des résultats concordants : le matériau est peu fragilisé par l'augmentation de la teneur en carbone. Ces bonnes propriétés proviennent de la proximité des zones ségrégées aux surfaces de la pièce qui bénéficient d'un refroidissement rapide lors de la trempe. L'effet de trempe important permet d'obtenir des structures métallurgiques qui, bien qu'enrichies en carbone, demeurent tenaces. EDF n'a pas évalué les propriétés de ténacité dans le domaine ductile de la zone ségrégée à proximité des tubulures. Cette absence de résultats n'est pas considérée comme bloquante par l'IRSN compte tenu des dépassements de teneurs en carbone limités dans cette zone. Afin que le dossier d'EDF soit complété, l'IRSN formule néanmoins l'observation en annexe.

#### **Acceptabilité des décalages de $RT_{NDT}$ retenus par l'exploitant dans les études mécaniques**

EDF a mis à jour ses études de risque de rupture brutale des fonds des générateurs de vapeur du réacteur n° 1 de Tricastin. La  $RT_{NDT}$  prise en compte dans ces études est celle mesurée en zone de recette à laquelle un décalage de + 35 °C, lié à la présence de la zone ségrégée, est ajouté. Un décalage forfaitaire de 15 °C, associé aux effets de vieillissement thermique, est également pris en compte. Les situations d'exploitation envisagées, conformes au référentiel associé à la quatrième visite décennale (VD4) des réacteurs de 900 MWe, intègrent les mesures compensatoires mises en œuvre par EDF depuis 2016. Dans l'ensemble des situations considérées, les études d'EDF aboutissent à des facteurs de marge supérieurs à 1. Compte tenu des résultats obtenus dans le cadre du programme sacrificiel, de la méthodologie de calcul employée qui est identique à celle produite en 2016 et analysée dans plusieurs de ses avis précédents (références [3] et [4]), l'IRSN estime l'analyse effectuée par l'exploitant acceptable. En particulier, le décalage de la valeur de recette de la  $RT_{NDT}$  de + 35 °C pris en compte par l'exploitant est une provision jugée suffisante par l'IRSN pour couvrir les incertitudes de mesure et les effets de la transposition des résultats expérimentaux obtenus sur le fond sacrificiel aux fonds en exploitation.

### Conclusion

Compte tenu de la représentativité du fond sacrificiel et des résultats expérimentaux obtenus à partir du celui-ci, l'IRSN considère acceptables les hypothèses retenues par EDF dans le cadre des études de rupture brutale qu'elle a mise à jour. En outre, les conclusions de l'analyse du risque de rupture brutale des fonds fabriqués par JCFC à partir de lingots de 120 tonnes, et équipant en particulier les générateurs de vapeur du réacteur n°1 de la centrale de Tricastin, n'appellent pas de remarque. L'IRSN rappelle toutefois que ces conclusions ont été obtenues moyennant le maintien des mesures compensatoires mises en œuvre depuis 2016 sur les réacteurs concernés.

Pour le Directeur général et par délégation

Olivier Dubois

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

**Observation**

L'IRSN estime qu'EDF devrait compléter son dossier de caractérisation du fond NH 104 avec les résultats de ténacité dans le domaine ductile en zone ségréguée au niveau des tubulures de fond de générateur de vapeur.