

Fontenay-aux-Roses, le 5 août 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis IRSN N°** 2016-00275

**Objet :** EDF - REP - Paliers CP0, CPY et N4 - Ségrégations en carbone des fonds primaires de générateurs de vapeur - Analyse de sûreté et mesures compensatoires

**Réf. :** [1] Saisine ASN/DEP - CODEP-DEP-2016-028830 du 13 juillet 2016.  
[2] Courrier ASN/DEP - CODEP-DEP-2016-019273 du 27 mai 2016.  
[3] Saisine ASN/DEP - CODEP-DEP-2016-02908 du 21 juin 2016.  
[4] Guide ASN n° 21 du 6 janvier 2015.

En réponse à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a analysé l'impact sur la sûreté et la suffisance des mesures compensatoires mises en œuvre par EDF à la suite du constat de la présence de ségrégations majeures positives<sup>1</sup> dans les fonds primaires de générateurs de vapeur (GV) installés sur certains réacteurs des paliers CP0, CPY et N4, ainsi que la pertinence du délai de caractérisation de l'écart retenu par EDF.

À la suite du constat de la présence de ségrégations majeures positives dans certains fonds primaires de GV, l'ASN a demandé à EDF de justifier le maintien en exploitation des équipements potentiellement concernés [2]. En effet, la présence de ces zones ségréguées peut conduire à un abaissement local des propriétés de résistance du matériau constitutif des fonds de GV vis-à-vis du risque de rupture brutale. Plus précisément, en fonction du niveau d'enrichissement de la zone ségréguée, la ténacité du matériau peut être plus ou moins diminuée, ce qui se traduit par une augmentation plus ou moins importante de la température de transition fragile-ductile du matériau, dite  $RT_{NDT}$ .

Des programmes d'essais de caractérisation des zones ségréguées sur des pièces représentatives sont en cours afin d'évaluer l'étendue de la ségrégation dans l'épaisseur des composants concernés, ainsi que la  $RT_{NDT}$  et la ténacité de ces zones ségréguées.

**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

---

<sup>1</sup> Zone enrichie en impureté et en éléments d'alliage. Pour la teneur en carbone, cela se traduit par  $\Delta C/C$  positif ( $\Delta C/C$  étant défini comme le ratio entre la différence entre la teneur locale en carbone mesurée à un endroit de la pièce et la teneur moyenne en carbone rapportée à la teneur moyenne de la pièce). La formation de ségrégation est inhérente au procédé de fabrication de lingot de fort tonnage.

Un risque de rupture brutale des fonds de GV est considéré comme possible si la ténacité minimale de la zone ségréguée est insuffisante pour empêcher l’amorçage de la propagation de petits défauts potentiellement situés en paroi externe des fonds de GV, lorsqu’ils sont soumis à une augmentation rapide de la température (choc thermique chaud).

Un premier dossier de justification de la tenue mécanique des fonds de GV a été transmis par EDF. Ce dossier montre l’existence de marges vis-à-vis du phénomène redouté de rupture brutale, pour tous les transitoires envisagés par EDF et pour tous les GV potentiellement concernés, pour des défauts de 5 mm de hauteur et de 30 mm de longueur débouchant en peau externe et un décalage<sup>2</sup> de  $RT_{NDT}$  dû à la ségrégation de 35 °C. Ces résultats provisoires restent néanmoins à conforter par les résultats des programmes d’essais en cours qui permettront, en particulier, de valider le caractère enveloppe du décalage maximal de  $RT_{NDT}$  retenu dans les analyses mécaniques. L’IRSN se prononcera ainsi ultérieurement sur les dossiers mis à jour.

Dans l’attente de l’ensemble des résultats d’essais et dans une démarche de défense en profondeur, EDF a engagé une étude de pré-caractérisation de l’écart, dont les objectifs principaux sont de définir le délai<sup>3</sup> dans lequel l’écart doit être précisément caractérisé au sens du guide ASN [4], ainsi que les mesures compensatoires permettant d’exclure le risque d’occurrence d’une telle situation, jugée hypothétique. Ces mesures compensatoires ont d’ores-et-déjà été transmises aux exploitants des réacteurs concernés, pour mise en application.

EDF a tout d’abord identifié les transitoires pénalisants susceptibles de conduire à une rupture brutale d’une tubulure de GV. Dans ce cadre, EDF tient compte de la fragilisation induite par la présence d’une zone ségréguée en carbone en considérant un décalage de  $RT_{NDT}$  de 70 °C et en postulant la présence d’un défaut semi-elliptique débouchant, d’une hauteur de 5 mm en peau externe des fonds primaires de GV.

L’IRSN souligne que, au regard des premiers résultats du programme d’essais en zone ségréguée sur les calottes de cuve EPR, la valeur de 70 °C retenue pour le décalage de  $RT_{NDT}$  est conservative. **Par ailleurs, l’IRSN considère que la taille du défaut retenue n’est pas aberrante, mais que son caractère enveloppe reste à démontrer par EDF au regard des résultats des contrôles par ultrasons des fonds de GV concernés et des limites de détection des moyens mis en œuvre.**

Pour ce qui concerne les situations identifiées par EDF comme pénalisantes et leur caractérisation<sup>4</sup>, l’IRSN a estimé, à l’issue de leur examen réalisé dans le cadre de l’analyse du risque de rupture des fonds primaires des GV du réacteur n° 2 de Chinon B [3], **que le caractère enveloppe des transitoires identifiés par EDF n’était pas systématiquement démontré.**

---

<sup>2</sup> Le décalage de  $RT_{NDT}$  s’exprime comme la différence entre la  $RT_{NDT}$  en zone ségréguée et la  $RT_{NDT}$  en zone de recette.

<sup>3</sup> Ce délai est fonction des enjeux de sûreté associés à la présence de ces zones de ségrégation dans les fonds de GV concernés.

<sup>4</sup> La caractérisation d’une situation consiste à définir l’évolution des paramètres thermohydrauliques du transitoire correspondant, en termes de pression, température et vitesse du fluide dans le circuit considéré, en fonction du temps.

EDF a ensuite analysé les conséquences d'une rupture brutale au niveau d'une tubulure d'un fond de GV, pour les transitoires pénalisants identifiés précédemment, malgré la subsistance de marges vis-à-vis du phénomène redouté. En particulier, les conditions thermohydrauliques initiales lors de la rupture d'un fond de GV (champ de température primaire, température du secondaire, fonctionnement des pompes primaires ...) conditionnent directement l'évolution du débit à la brèche. **EDF considère que, dans tous les cas, l'absence de découverture du combustible peut être démontrée.**

EDF néanmoins a identifié des moyens permettant d'augmenter les marges, en particulier en restreignant les domaines de fonctionnement autorisés en exploitation. Des mesures compensatoires ont ainsi été définies par EDF, telle qu'une augmentation de la température minimale autorisée dans le circuit primaire dans les états d'arrêt.

**L'IRSN considère que les mesures compensatoires prévues par EDF pour l'ensemble des réacteurs concernés (paliers CP0, CPY et N4) contribuent à accroître les marges disponibles et n'apportent pas de régression vis-à-vis de la sûreté.** Toutefois, l'IRSN a mis en évidence la nécessité de compléter ces mesures, dans l'attente de la caractérisation complète de l'écart<sup>5</sup> pour l'ensemble des réacteurs concernés. En outre, les analyses de l'IRSN montrent que, dans les situations pénalisantes, l'absence de découverture du combustible, ne peut être systématiquement démontré. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 en annexe.**

L'IRSN précise qu'à ce jour aucune modification matérielle, permettant d'exclure ou de limiter le risque, n'a été identifiée. Dans l'attente de la caractérisation complète de l'écart, la justification par EDF de l'exclusion du risque de rupture brutale d'un fond de GV repose notamment sur la bonne application par les opérateurs des préconisations des règles de conduite normale (RCN) et des mesures compensatoires. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 en annexe.**

EDF s'appuie sur les conclusions de son analyse de sûreté pour déterminer le délai de caractérisation de l'écart, au sens du guide n° 21 de l'ASN [4] relatif à la caractérisation des écarts de conformité. EDF prend en compte le délai maximal autorisé par ce guide (cinq ans) pour procéder à cette caractérisation, compte tenu des marges disponibles et des conséquences radiologiques limitées en cas de rupture d'une tubulure de fond de GV, du fait de l'absence de découverture de combustible.

Sur la base de ses propres analyses, l'IRSN estime que les marges disponibles ne peuvent être appréciées quantitativement à partir des éléments disponibles à ce jour. Par ailleurs, l'IRSN estime que l'hypothèse de non découverture du cœur, en cas de rupture brutale d'une tubulure de fond de GV, ne peut pas être justifiée. Enfin, l'IRSN rappelle que le transitoire de rupture brutale d'une tubulure d'un fond de GV ne fait pas partie des transitoires étudiés dans le Rapport de sûreté (RDS).

---

<sup>5</sup> Au sens du guide n° 21 de l'ASN [4].

L'IRSN estime ainsi que la caractérisation des zones ségréguées et les examens permettant d'identifier la présence d'éventuels défauts en peau externe des fonds de GV doivent être réalisés au plus tôt. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 en annexe.

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

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté,

## Recommandations

### Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF renforce les mesures compensatoires proposées, jusqu'à la caractérisation complète de l'écart pour l'ensemble des réacteurs concernés, afin de garantir l'exclusion du risque de rupture brutale des fonds de générateur de vapeur concernés par une ségrégation en carbone.

### Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF informe les opérateurs de conduite des réacteurs concernés de l'intégralité des mesures compensatoires à appliquer jusqu'à la caractérisation définitive de l'impact des ségrégations de carbone dans les bols de générateur de vapeur. Par ailleurs, EDF devra s'assurer que les préconisations des règles de conduite normale, permettant de minimiser l'amplitude des chocs chauds et valorisées dans le cadre de la caractérisation des situations à prendre en compte, seront bien systématiquement appliquées par les opérateurs.

### Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF, au plus tôt, finalise la caractérisation des zones ségrégées et procède à des examens non destructifs pour la détection d'éventuels défauts en peau externe des fonds de générateur de vapeur concernés.