

Fontenay-aux-Roses, le 30 janvier 2014

Monsieur le président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

**Avis/IRSN N°** 2014-000032

**Objet :** REP - Accident d'insertion de réactivité - Domaine de découplage - Corrosion du Zircaloy-4

**Votre Réf.** Lettre ASN CODEP-DCN-2014-001251 du 17 janvier 2014

Par lettre citée en référence, l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité des réponses apportées par EDF en ce qui concerne les conséquences de la corrosion des crayons gainés en Zircaloy-4 sur le domaine de découplage défini par EDF afin de garantir l'absence de rupture de gaine par interaction mécanique entre la pastille et la gaine (ImPG) du combustible en cas d'accident d'insertion de réactivité faisant suite à une éjection de grappe de commande.

Il convient de rappeler qu'EDF définit désormais le domaine de découplage par les critères suivants :

- *Taux d'épuisement moyen crayon*<sup>1</sup> :  $BU_{\text{crayon}} < 57 \text{ GWj/tU}$ ,
- *Épaisseur maximale de la couche d'oxyde externe*<sup>2</sup> :  $e_{\text{ZrO}_2} \leq 108 \text{ }\mu\text{m}$ ,
- *Variation d'enthalpie*<sup>3</sup> :  $\Delta H < 57 \text{ cal/g}$ ,
- *Largeur de pulse à mi-hauteur*<sup>4</sup> :  $L_{1/2} > 30 \text{ ms}$ ,
- *Température maximale dans la gaine* :  $T_{\text{max.}} \leq 700 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

et qu'il estime que ce domaine est applicable aux crayons à gainage Zircaloy-4 qu'ils soient ou non desquamés<sup>5</sup>.

Cette demande fait suite à l'instruction par l'IRSN du domaine de découplage en 2011 qui avait conduit l'ASN à émettre des réserves à l'application de ce domaine pour les crayons gainés en Zircaloy-4 ainsi qu'à la réunion du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires portant sur le retour d'expérience combustible sur la période 2003-2009. A cette occasion, il avait été constaté que les épaisseurs de corrosion du gainage Zircaloy-4 atteintes en réacteurs étaient supérieures à l'attendu et dépassaient la valeur dite « repère » de 100  $\mu\text{m}$ .

**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> Le taux de combustion correspond à la quantité d'énergie fournie par tonne du combustible au cours de l'irradiation.

<sup>2</sup> Valeur maximale en moyenne azimutale.

<sup>3</sup> Valeur de la variation d'enthalpie moyenne sur la section du crayon au point le plus chaud.

<sup>4</sup> La largeur de pulse à mi-hauteur caractérise le temps d'éjection de la grappe au cours du transitoire de RIA.

<sup>5</sup> La desquamation correspond à la perte localisée d'une partie de la couche d'oxyde se formant à la surface du crayon au cours de l'irradiation.

L'IRSN a plus particulièrement examiné :

- « la possibilité ou l'impossibilité de définir des critères de rupture de crayons desquamés ;
- le fait qu'en-dessous d'une valeur d'épaisseur de corrosion de 80  $\mu\text{m}$  les risques liés au phénomène de desquamation sont négligeables ;
- les objectifs à fixer à EDF pour définir des mesures de restriction d'exploitation visant à limiter les possibilités d'apparition ou la sévérité de l'initiateur d'un accident d'éjection de grappe dès que l'épaisseur de corrosion ne permet plus de négliger le phénomène de desquamation ;
- les principes de sûreté à respecter dans une démonstration de sûreté provisoire ».

Pour ce qui concerne le domaine de découplage garantissant la non-rupture de gaine au cours d'un accident d'éjection de grappe, l'IRSN considère que pour les crayons Zircaloy-4 desquamés en fonctionnement normal, la définition d'un critère de non-rupture en variation d'enthalpie n'est pas possible. En effet, l'IRSN considère qu'il est difficile de prédire, d'une part les conséquences de la desquamation sur les propriétés des matériaux de gaine, d'autre part, les niveaux d'enthalpie à rupture des crayons desquamés du fait d'une forte variabilité dans les essais existants.

Par ailleurs, l'IRSN considère que l'épaisseur de corrosion maximale de 108  $\mu\text{m}$  sur laquelle est fondé le domaine de découplage peut être considérée comme la valeur maximale admissible dans le domaine de découplage pour des crayons non desquamés. Sur ce sujet, EDF a présenté des mesures récentes d'épaisseur de corrosion réalisées sur le palier 1300 MWe en gestion GEMMES qui montrent que 5 % des crayons en fin de vie présentent des épaisseurs d'oxyde maximales supérieures à 108  $\mu\text{m}$ . L'IRSN note qu'EDF justifie par argumentaire le caractère acceptable du dépassement de cette épaisseur de 108  $\mu\text{m}$  pour un nombre limité de crayons. La justification d'EDF repose sur l'évaluation des conséquences de la rupture de crayons au cours d'un transitoire d'éjection de grappe. L'IRSN rappelle qu'en cas de rupture de gaine par ImPG, les fragments de combustible chauds sont susceptibles d'être éjectés dans l'eau du circuit primaire. L'interaction entre ces fragments chauds et l'eau peut générer une onde de pression et vaporiser l'eau autour de la zone d'éjection. Ces phénomènes peuvent endommager à leur tour les crayons voisins et *in-fine* mettre en péril la refroidissabilité du cœur, voire créer des dommages à la deuxième barrière (circuit primaire principal). L'IRSN souligne que cette évaluation fait actuellement l'objet d'une instruction. Sur la base des éléments d'ores et déjà examinés et bien que la méthode utilisée par EDF semble acceptable dans son principe, l'IRSN considère que des hypothèses structurantes de l'approche d'EDF et relatives à la phénoménologie de l'interaction fluide-combustible ne sont pas valides. Ainsi, l'IRSN n'est pas en mesure de se prononcer sur la validité des estimations actuellement fournies par EDF concernant le nombre de crayons rompus qui pourrait conduire à un risque d'endommagement de la seconde barrière. En conclusion, l'IRSN estime que la justification apportée par EDF pour autoriser un dépassement de l'épaisseur d'oxyde maximale retenue dans le domaine de découplage et garantissant la non-rupture de gaine des crayons non-desquamés en cas d'éjection de grappe n'est pas suffisante, ce qui conduit l'IRSN à formuler la recommandation n°1.

Pour ce qui concerne l'épaisseur de corrosion pour laquelle le risque de desquamation est susceptible d'apparaître, l'IRSN rappelle tout d'abord que plus l'épaisseur d'oxyde des crayons est importante, plus la probabilité de desquamation de la couche d'oxyde croît. A cet égard, EDF a présenté une base expérimentale de 13 crayons dans laquelle il estime qu'un seul crayon est représentatif des conditions actuelles d'exploitation vis-à-vis de la desquamation. L'IRSN considère que les arguments qui ont conduit EDF à ne pas considérer 12 des 13 crayons de sa base expérimentale ne sont pas recevables. À cet égard et sur la base des données fournies par EDF, l'IRSN estime qu'en dessous d'une épaisseur de corrosion de 80 µm en valeur moyenne azimutale, le risque de desquamation de la couche d'oxyde en fonctionnement normal est négligeable.

En ce qui concerne les principes de sûreté à respecter dans le cadre d'une démonstration de sûreté, l'IRSN estime que pour les crayons dont l'épaisseur d'oxyde dépasse 80 µm pour lesquels le risque de desquamation ne peut être exclu, la démonstration de l'intégrité de la gaine lors d'un transitoire d'éjection de grappe n'est pas apportée. Faute de pouvoir démontrer l'absence de rupture de gaine pour les crayons Zircaloy-4 desquamés, l'IRSN estime donc qu'EDF doit démontrer que la rupture de gaines en cas d'éjection de grappe n'engendrerait pas de conséquences inacceptables, ce qui fait l'objet de la recommandation n°2.

En ce qui concerne les objectifs à fixer à EDF pour définir des mesures de restriction d'exploitation, l'IRSN considère que deux objectifs doivent être fixés :

- limiter les conséquences potentielles d'un accident d'éjection de grappe en privilégiant un fonctionnement des réacteurs concernés avec les grappes les plus extraites possible ou en plaçant les assemblages contenant des crayons potentiellement desquamés dans des zones du cœur moins sollicitées en cas d'éjection de grappe.
- limiter les épaisseurs de corrosion atteintes en fonctionnement normal afin de limiter le nombre de crayons potentiellement desquamés en réacteur et donc, en cas d'éjection de grappe, le risque de ruptures de gaines par Interaction mécanique pastille-gaine ;

Le premier objectif doit être visé dès que le risque de desquamation n'est plus négligeable, c'est-à-dire à partir du moment où l'épaisseur de corrosion maximale d'un crayon est susceptible de dépasser 80 µm. De plus, EDF a récemment présenté des résultats de mesure des épaisseurs d'oxyde de crayons Zircaloy-4 réalisées sur le palier 1300 MWe en gestion GEMMES qui montrent que la valeur de 80 µm est atteinte par près de 35 % des crayons en fin de vie. L'IRSN estime que, du fait du nombre très important de crayons potentiellement desquamés en fonctionnement normal, la situation actuelle n'est pas acceptable et que ces mesures de restriction d'exploitation doivent être mises en œuvre rapidement d'où la recommandation n°3.

Par ailleurs, l'ASN a souhaité recueillir les autres observations de l'IRSN sur ce dossier. L'IRSN note que les mesures d'épaisseurs d'oxyde de crayons Zircaloy-4 réalisées sur le palier 1300 MWe remettent en cause le modèle enveloppe de corrosion intégré au logiciel de thermomécanique utilisé par EDF et récemment analysé par l'IRSN et donc la validité des études de conception thermomécanique crayon réalisées avec ce logiciel. Ce constat a amené l'IRSN à formuler la recommandation n°4. De manière plus générale, l'IRSN note que ce modèle était établi sur la base de comparaisons entre des valeurs calculées et des mesures faites sur des réacteurs de types différents, alors que les épaisseurs de corrosion atteintes dépendent en fait du type de réacteur, voire de

paramètres de fonctionnement propres à chaque réacteur. C'est pourquoi le caractère enveloppe du modèle actuel est aujourd'hui remis en cause pour le palier 1300 MWe. En ce qui concerne les précautions à prendre dans l'établissement de ces modèles, l'IRSN émet donc l'observation n°1 en annexe 2.

Pour le directeur général  
et par délégation

**FRANCK BIGOT**

Annexe 1 à l'avis IRSN/2014-00032 du 30 janvier 2014

Recommandations

**Recommandation n° 1**

L'IRSN recommande qu'EDF s'assure que l'épaisseur maximale de corrosion des crayons à gainage Zircaloy-4 évaluée pour les recharges de combustible reste inférieure à 108 µm en valeur moyenne azimutale.

**Recommandation n° 2**

L'IRSN recommande qu'EDF justifie que la présence de crayons potentiellement desquamés ne remet pas en cause la refroidissabilité du cœur et ne risque pas d'engendrer de dommage supplémentaire à la seconde barrière en cas de rupture de ces crayons lors d'un accident d'éjection de grappe.

**Recommandation n° 3**

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre rapidement des dispositions visant à :

- limiter les conséquences potentielles d'un accident d'éjection de grappe dès lors que l'épaisseur de corrosion maximale d'un crayon est susceptible de dépasser 80 µm ;
- limiter le nombre de crayons potentiellement desquamés en réacteur et donc, en cas d'éjection de grappe, le risque de ruptures de gaines par Interaction mécanique pastille-gaine.

**Recommandation n° 4**

L'IRSN recommande qu'EDF révise au plus tôt le modèle enveloppe de corrosion du gainage Zircaloy-4 intégré à son logiciel de thermomécanique utilisé pour les études de conception thermomécaniques afin de prendre en compte le retour d'expérience récent du palier 1300 MWe et évalue l'impact de cette révision sur lesdites études des crayons à gainage Zircaloy-4 chargés sur le parc en exploitation.

Observation

Observation n° 1

L'IRSN considère qu'EDF devrait vérifier systématiquement dans l'établissement des modèles de corrosion enveloppe des gainages de combustible intégrés aux logiciels de thermomécanique qu'il ne considère pas un ensemble de points de mesures constitué de sous-populations ayant un comportement différent vis-à-vis de la corrosion.