

Fontenay-aux-Roses, le 4 août 2016

Monsieur le président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2016-00268

Objet : Réacteurs électronucléaires - EDF - Nouvelle démonstration de sûreté - Gainage Zircaloy-4

Réf. [1] Lettre ASN CODEP-DCN-2016-030047 du 21 juillet 2016

[2] Lettre ASN CODEP-DCN-2014-004499 du 19 février 2014

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur l'acceptabilité de la démonstration de sûreté fournie par Electricité de France (EDF) prenant en compte la desquamation¹ en fonctionnement normal des gaines des crayons de combustible en Zircaloy-4 (Zy-4) en cas d'accident d'éjection de grappe² (EDG).

En effet, par la lettre citée en référence [2], l'ASN a rappelé que l'absence de desquamation des gaines Zy-4 est l'une des garanties de la tenue du combustible sollicité par l'interaction mécanique entre la pastille et la gaine en cas de transitoire d'EDG. Dans ce même courrier, l'ASN a indiqué qu'il n'était pas possible d'exclure la desquamation en fonctionnement normal des gaines Zy-4 compte tenu des conditions de fonctionnement actuelles des réacteurs et des taux de combustion autorisés dans les différentes gestions de combustible du parc électronucléaire français. Dès lors, l'ASN a considéré que « *la démonstration de sûreté lors d'un RIA³, telle que présentée dans les rapports de sûreté des différents réacteurs en fonctionnement utilisant du combustible avec gainage Zircaloy-4, est remise en cause* » et a demandé à EDF une nouvelle démonstration de sûreté en cas de transitoire d'EDG prenant en compte le risque de desquamation des gaines Zy-4. Par ailleurs, un plan de suppression des assemblages de combustible à gainage Zy-4⁴ et de remplacement par des assemblages contenant des crayons à gainage amélioré vis-à-vis de la corrosion est actuellement en cours de

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

¹ La desquamation des gaines consiste en l'écaillage de la couche d'oxyde qui se forme sur la surface externe des crayons lors de leur fonctionnement normal en réacteur. Ce phénomène conduit à une moindre résistance mécanique des gaines en cas de sollicitation accidentelle, notamment en cas d'EDG.

² En cas de rupture du mécanisme de grappe de commande, l'éjection d'une grappe résulte de la différence de pression qui existe entre le circuit primaire (à 155 bar) et l'enceinte de confinement (à la pression atmosphérique). Cette éjection violente entraîne un emballement local de la réaction nucléaire pendant quelques dizaines de millisecondes, dénommé pulse de puissance, provoquant une augmentation rapide de la température du combustible. Les contre-réactions neutroniques limitent alors le transitoire de puissance avant l'arrêt automatique du réacteur.

³ RIA : Reactivity initiated accident - Terminologie également utilisée pour caractériser un transitoire d'EDG.

⁴ Par raccourci le terme « assemblage de combustible Zy-4 » est utilisé pour désigner les assemblages contenant des crayons à gainage Zy-4.

déploiement par EDF sur son parc en exploitation. En l'attente de l'élaboration de la nouvelle démonstration de sûreté et du remplacement complet des assemblages de combustible Zy-4, l'ASN a considéré que le fonctionnement des réacteurs comportant des assemblages de combustible Zy-4 ne pouvait se poursuivre sans la prise en compte de mesures compensatoires⁵. Ces mesures sont actuellement en vigueur sur les réacteurs concernés. Ces réacteurs sont exploités soit en gestion de combustible GEMMES pour le palier 1300 MWe soit en gestion de combustible CYCLADES ou GARANCE pour le palier 900 MWe.

Le dossier constituant la nouvelle démonstration de sûreté apportée par EDF s'articule autour des cinq étapes suivantes, relatives à :

1. la comptabilisation des crayons Zy-4 dépassant 80 μm d'épaisseur d'oxyde qui sont, par hypothèse, supposés desquamés et susceptibles de rompre lors d'un transitoire d'EDG. La démarche de l'exploitant s'appuie sur le post-traitement de calculs d'historiques de puissance réels de crayons irradiés en réacteur français. Pour chacune des campagnes d'irradiation considérées et pour chaque crayon Zy-4 du cœur, l'épaisseur d'oxyde est calculée et reportée en fonction du taux de combustion moyen de l'assemblage. Par découplage, EDF retient comme valeur de coupure un taux de combustion moyen de l'assemblage inférieur à celui correspondant à l'atteinte de l'épaisseur d'oxyde de 80 μm des crayons irradiés pour les gestions de combustible GEMMES, CYCLADES et GARANCE ;
2. la définition de valeurs repères garantissant l'absence de dispersion de combustible solide dans le réfrigérant primaire en cas de ruptures de crayons Zy-4 desquamés lors d'un transitoire d'EDG. Pour ce faire, EDF a interprété la base de résultats d'essais expérimentaux semi-intégraux de type insertion de réactivité réalisés dans des réacteurs de recherche et a déduit des valeurs de variation d'enthalpie dans le combustible après rupture de gaine⁶ qui dépendent de la cinétique des transitoires d'EDG ;
3. l'étude des transitoires d'EDG pour les réacteurs concernés par la présence d'assemblages de combustible Zy-4 desquamé. L'objectif de cette étude est de déterminer la variation d'enthalpie maximale dans le combustible atteinte en cas de transitoire d'EDG pour les assemblages dont les crayons Zy-4 présentent une épaisseur d'oxyde supérieure à 80 μm et en tenant compte des mesures compensatoires en vigueur ;
4. la réévaluation des conséquences radiologiques en considérant la rupture des crayons Zy-4 supposés desquamés en transitoire d'EDG. Cette étude se fonde sur une méthodologie de calcul comparable à celle retenue dans les Rapports de sûreté (RDS) actuels. Cependant, pour ce qui concerne le taux de rupture de gaine à retenir, la nouvelle évaluation d'EDF tient compte d'une part des crayons supposés desquamés autour de la grappe éjectée lors de l'accident, d'autre part, des crayons du cœur susceptibles d'entrer en crise d'ébullition pendant ce même transitoire. EDF présente les résultats de calcul en considérant soit la rupture de 100 % des crayons Zy-4 supposés desquamés au-delà de 80 μm d'épaisseur d'oxyde, soit la rupture de 50 % de ces crayons ;

⁵ Mesures compensatoires relatives aux assemblages de combustible Zy-4 : mesures visant à compenser la présence d'assemblages de combustible Zy-4 vis-à-vis de la sûreté du réacteur en cas d'EDG. En particulier, des restrictions de certains modes de fonctionnement des réacteurs concernés ont été appliquées afin de limiter l'insertion des grappes de commande et donc l'insertion de réactivité en cas de transitoire d'EDG.

⁶ La variation d'enthalpie dans le combustible après rupture de gaine est obtenue en retranchant l'enthalpie à rupture à l'enthalpie maximale dans le combustible atteinte au cours du transitoire d'EDG.

5. la vérification de la tenue mécanique de la cuve soumise à des ondes de surpression générées par les ruptures de crayons Zy-4 supposés desquamés en cas de transitoire d'EDG. A cette fin, EDF détermine la surpression, appliquée en un point de la paroi interne de la virole cylindrique de la cuve, résultant de la génération et de la propagation d'ondes de surpression générées par les ruptures de crayons Zy-4 supposés desquamés en cas de transitoire d'EDG. La prise en compte du chargement induit par cette situation est réalisée par l'ajout de cette surpression à celle de l'état initial du transitoire (pression nominale de fonctionnement). La tenue de la cuve à ce chargement en situation accidentelle de quatrième catégorie est ensuite justifiée en vérifiant les exigences liées à l'instabilité plastique et à la rupture brutale.

Ce dossier a fait l'objet d'une instruction technique au cours de laquelle EDF a apporté un certain nombre d'éléments complémentaires supports à la démonstration de sûreté, en particulier pour ce qui concerne l'évaluation des conséquences radiologiques pour la gestion de combustible CYCLADES.

Conformément à la saisine de l'ASN en référence [1], l'analyse de l'IRSN développée ci-dessous porte sur l'acceptabilité aux plans de la sûreté de la démonstration apportée par EDF pour les réacteurs concernés par la présence d'assemblages de combustible Zy-4. En particulier, l'ASN souhaite connaître l'avis de l'IRSN sur les points suivants :

- *« les éléments apportés par EDF prennent-ils correctement en compte le risque de desquamation des gaines de crayons de combustible en Zircaloy-4 ?*
- *ces éléments permettent-ils de démontrer qu'en cas d'accident d'éjection de grappe (EDG), la structure géométrique du cœur n'est pas détériorée, de sorte que son refroidissement puisse être convenablement assuré ?*
- *ces éléments permettent-ils de démontrer qu'en cas d'EDG, la réévaluation des conséquences radiologiques est acceptable ?*
- *ces éléments permettent-ils de démontrer qu'en cas d'EDG, la deuxième barrière ne subit pas de dommage supplémentaire ? ».*

Tout d'abord, l'IRSN estime que les hypothèses retenues par EDF permettent de comptabiliser de manière satisfaisante les crayons Zy-4 présentant un risque de desquamation et ainsi de prendre en compte correctement ce risque dans la démonstration de sûreté en cas de transitoire d'EDG. En particulier, l'IRSN estime acceptables les hypothèses et la démarche de calcul d'EDF permettant de dénombrer et localiser dans le cœur les crayons Zy-4 dont l'épaisseur d'oxyde est supérieure à 80 µm. Ainsi, l'exploitant a défini de façon enveloppe et pénalisée les valeurs de coupure en taux de combustion moyen de l'assemblage correspondant à l'atteinte de cette épaisseur d'oxyde.

Pour ce qui concerne le risque de dispersion de combustible solide dans le réfrigérant primaire en cas de ruptures de crayons Zy-4 desquamés, l'IRSN estime que compte tenu des discussions à l'international qui sont en cours sur le référentiel de sûreté en cas de transitoire d'EDG et de l'état actuel des connaissances, il reste difficile à ce jour de statuer sur la pertinence des paramètres à retenir pour définir des critères garantissant l'absence de ce risque. Toutefois, pour l'IRSN, les valeurs repères ont été évaluées par EDF de manière prudente. Par ailleurs, pour les trois gestions de combustible GEMMES, CYCLADES et GARANCE, l'IRSN n'a pas d'objection à la démarche d'EDF de calcul des transitoires d'EDG pour les tranches présentant des assemblages de combustible Zy-4

desquamé. En tenant compte des mesures compensatoires actuellement en vigueur sur les tranches comportant des assemblages de combustible Zy-4, les valeurs de variation d'enthalpie calculées par EDF sont basses et associées à des valeurs très élevées de largeur de pulse. En tout état de cause, l'IRSN considère donc que la démonstration établie par EDF pour justifier l'absence de dispersion de combustible en cas de transitoire d'EDG pour les crayons Zy-4 desquamés présente un niveau de conservatisme significatif. Ainsi, l'IRSN estime que le refroidissement du cœur reste assuré lors de cet accident.

Vis-à-vis des réévaluations des conséquences radiologiques réalisées par EDF tenant compte de la rupture potentielle des crayons Zy-4 supposés desquamés dès lors que leur épaisseur d'oxyde atteint 80 μm , l'IRSN estime que :

- l'hypothèse de la rupture, autour de la grappe éjectée en cas de transitoire d'EDG, de 100 % des crayons Zy-4 supposés desquamés doit être retenue, ce qui assure le caractère enveloppe des réévaluations des conséquences radiologiques réalisées dans ce dossier. En effet, en l'absence de résultats et de statistiques sur l'état du gainage Zy-4 desquamé et sur sa résistance mécanique réelle, il est difficile à ce jour de justifier et quantifier une valeur précise de pourcentage de crayons Zy-4 desquamés qui pourraient conserver leur intégrité en cas de transitoire d'EDG ;
- la démarche de réévaluation des conséquences radiologiques en cas de transitoire d'EDG retenue par l'exploitant dans ce dossier est acceptable. Notamment, le nombre de rupture retenu par EDF ne résulte pas de la valeur forfaitaire de 10 % des gaines du cœur, hypothèse actuelle des RDS VD3, mais de la somme des crayons susceptibles d'entrer en crise d'ébullition lors du transitoire et des crayons oxydés au-delà de 80 μm ;
- pour les gestions de combustible GARANCE et GEMMES, les conséquences radiologiques présentées dans les RDS à l'état VD3 ne sont pas dépassées ;
- pour la gestion de combustible CYCLADES, l'augmentation des doses, de l'ordre de 12 à 18 % par rapport aux conséquences radiologiques présentées dans le RDS du palier 900 MWe-CPO à l'état VD3, est faible et reste largement en deçà des valeurs repères correspondant aux niveaux d'intervention définis dans l'arrêté du 20 novembre 2009.

Concernant la tenue mécanique de la cuve, l'IRSN retient que :

- les résultats de calcul d'EDF sont obtenus moyennant un certain nombre de conservatismes sur les données d'entrée et les hypothèses de calcul ;
- le niveau de surpression dans le cœur résultant de la rupture des crayons supposés desquamés évalué par EDF reste faible compte tenu notamment de l'absence de dispersion de combustible solide ;
- les conséquences de la rupture des crayons Zy-4 supposés desquamés en cas de transitoire d'EDG sur la tenue mécanique de la cuve sont couvertes par les études relatives aux épreuves hydrauliques réglementaires du circuit primaire des réacteurs jusqu'à leur quatrième visite décennale.

Ainsi, pour les réacteurs exploités en gestions de combustible GEMMES, CYCLADES et GARANCE et en prenant en compte les mesures compensatoires associées à la présence d'assemblages de combustible Zy-4 en cœur, l'IRSN estime que la tenue mécanique de la cuve en cas d'ondes de surpression générées par les ruptures de crayons Zy-4 supposés desquamés n'est pas mise en cause.

En conclusion, l'IRSN estime acceptable la démonstration de la sûreté, apportée par EDF et tenant compte des mesures compensatoires en vigueur pour les réacteurs concernés par la présence d'assemblages de combustible comportant des crayons à gainage Zy-4, liée aux risques relatifs à la desquamation en fonctionnement normal de ces derniers en cas d'accident d'EDG.

Pour le Directeur général de l'IRSN, par ordre
Franck BIGOT
Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté