

Fontenay-aux-Roses, le 2 juillet 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2018-00180

Objet : Réacteurs électronucléaires - EDF - Demande d'autorisation d'une modification notable - Modification « Généralisation de l'introduction de recharge *RFA 1300 ZIRLO Optimisé* sur le palier 1300 MWe en gestion GEMMES ».

Réf. [1] Lettre ASN CODEP-DCN-2018-023292 du 8 juin 2018.
[2] Lettre ASN DCN DEP-DCN n°0049/2009 du 20 avril 2009.
[3] Lettre ASN CODEP-DCN-2012-016976 du 5 avril 2012.
[4] Lettre ASN CODEP-DCN-2014-016384 du 28 mai 2014.
[5] Lettre ASN DGSNR DEP-SD2-N° 0532-2006 du 3 octobre 2006.
[6] Avis IRSN/2017-00168 du 22 mai 2017.

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné l'acceptabilité au plan de la sûreté de la demande d'autorisation d'EDF de généraliser l'introduction des assemblages de combustible de conception Westinghouse de type *RFA¹ 1300 ZIRLO Optimisé* dans les réacteurs du palier 1300 MWe exploités en gestion de combustible GEMMES et à l'état troisième visite décennale (VD3). Leur structure² est en alliage de zirconium appelé *ZIRLO*, tandis que le gainage des crayons de combustible, qui constitue la première barrière séparant la matière radioactive de l'environnement, est en alliage appelé *ZIRLO Optimisé*. Cet alliage, qui diffère de l'alliage *ZIRLO* par une proportion moindre d'étain, a été conçu par Westinghouse pour améliorer la tenue à la corrosion de la gaine pour les taux de combustion³ élevés.

La demande d'EDF fait suite à l'irradiation d'assemblages *RFA 1300 ZIRLO Optimisé* dans les réacteurs n° 2 puis n° 1 de la centrale de Belleville, afin d'acquérir un retour d'expérience en

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 8 440 546 018

¹ RFA : Robust Fuel Assembly.

² Les crayons de combustible s'insèrent dans une structure comprenant onze grilles (réseau à pas carré de 17x17 cellules) qui assurent l'espacement des crayons. Les grilles sont solidaires de 24 tubes-guides dans lesquels peuvent coulisser les crayons neutroniquement absorbants des grappes de commande permettant de piloter la réactivité du cœur. L'espacement des crayons de combustible permet la circulation de l'eau dans le cœur et donc l'évacuation hors du cœur de l'énergie produite.

³ Le taux d'épuisement (également appelé taux de combustion) correspond à la quantité d'énergie fournie par tonne de combustible au cours de l'irradiation. La limite réglementaire est fixée à 52 GWj/tU en gestion GEMMES.

France et à une échelle industrielle. L'ASN a en effet précédemment autorisé l'irradiation de recharges⁴ d'assemblages *RFA 1300 ZIRLO Optimisé* dans le réacteur n° 2 de Belleville en 2009 [2], puis dans le réacteur n° 1 de Belleville en 2012 [3] et en 2014 [4]. Ces différentes autorisations ont été données sous réserve de la transmission à certaines échéances, de la part d'EDF, de résultats d'examens effectués sur des assemblages et de résultats d'essais afin de compléter la démonstration associée au comportement du crayon à gainage ZIRLO Optimisé en fonctionnement normal, incidentel et accidentel.

L'ASN souhaite connaître la position de l'IRSN sur l'acceptabilité de la modification en objet, et notamment les réponses aux questions suivantes :

- compte tenu des résultats obtenus sur les réacteurs n° 1 et n° 2 de la centrale de Belleville, la généralisation du matériau de gainage ZIRLO Optimisé à l'ensemble du palier 1300 MWe est-elle acceptable ?
- les études fournies en support à la présente modification permettent-elles de répondre aux réserves et observations du courrier en référence [4] ?

Contexte

Les assemblages de conception Westinghouse, actuellement introduits dans les réacteurs du palier 1300 MWe de manière générique, sont de type *RFA 1300 ZIRLO* suite à l'autorisation donnée en 2006 par l'ASN [5]. Le gainage des crayons de combustible ainsi que la structure de l'assemblage sont en alliage ZIRLO. Le retour d'expérience en exploitation de ces assemblages, présents dans la moitié des réacteurs de 1300 MWe, est satisfaisant. Toutefois, ce gainage possède une résistance limitée vis-à-vis de la corrosion de la gaine. C'est pourquoi, après l'introduction dans quelques réacteurs d'assemblages de combustible constitués de crayons à gainage ZIRLO Optimisé, EDF souhaite maintenant généraliser l'introduction de recharges *RFA 1300 ZIRLO Optimisé* sur le palier 1300 MWe en gestion GEMMES.

Pour répondre aux questions posées par l'ASN, l'IRSN a analysé le retour d'expérience acquis en France et à l'international sur le comportement des assemblages *RFA 1300 ZIRLO Optimisé*, les données relatives aux propriétés du matériau, le rapport de conception mécanique du concepteur Westinghouse, la base de validation du logiciel développé par EDF et utilisé pour l'analyse du comportement thermomécanique des crayons de combustible en ZIRLO Optimisé et, enfin, les données concernant le comportement de ces crayons de combustible en situation accidentelle. L'instruction par l'IRSN de la demande d'autorisation d'EDF a donné lieu à des échanges techniques qui ont permis à EDF de compléter la démonstration de sûreté.

Retour d'expérience relatif à l'irradiation d'assemblages *RFA 1300 ZIRLO Optimisé*

Les éléments de retour d'expérience sont constitués de données acquises dans le cadre d'irradiations réalisées dans des réacteurs américains, dans les deux réacteurs de la centrale de Belleville, mais également à travers l'irradiation d'assemblages expérimentaux dans deux autres réacteurs français (réacteur n° 1 de la centrale de Paluel et réacteur n° 2 de la centrale de Cruas). Ce retour d'expérience est principalement constitué des mesures d'épaisseur de corrosion, de grandissement des assemblages et des crayons, d'espacement inter-crayons et d'examens visuels destinés à évaluer l'usure éventuelle du gainage. S'agissant plus spécifiquement des mesures de grandissement des assemblages *RFA 1300 ZIRLO Optimisé*, EDF a complété le retour d'expérience conformément à la demande de l'ASN en référence [4]. Les mesures réalisées sont maintenant suffisantes pour considérer satisfaisant le comportement thermomécanique et mécanique des assemblages *RFA 1300 ZIRLO Optimisé* en fonctionnement normal.

⁴ Une recharge en gestion GEMMES est constituée de 64 assemblages de combustible.

Démonstration de sûreté en fonctionnement normal et incidentel

Les mesures d'épaisseur d'oxyde ainsi que les observations microstructurales réalisées sur des gaines en ZIRLO Optimisé irradiées confirment la meilleure tenue à la corrosion de ce matériau par rapport au ZIRLO, notamment au-delà d'un taux de combustion de l'ordre de 40 GWj/tU. Ce retour d'expérience est considéré suffisant dans le référentiel VD3 de la gestion GEMMES. Néanmoins, dans le cadre de l'évolution de référentiel associée à l'application des conclusions du réexamen des « critères de tenue du combustible » [6] et du nouveau référentiel APRP, la nécessité éventuelle d'acquérir un retour d'expérience plus important concernant les mesures de teneur en hydrogène sera examinée.

La démonstration du bon comportement thermomécanique des crayons *RFA 1300 ZIRLO Optimisé* en fonctionnement normal (catégorie 1) et en cas de transitoire incidentel (catégorie 2) est réalisée à l'aide d'un logiciel développé par EDF. Le respect des critères techniques d'acceptation, relatifs en particulier à l'épaisseur d'oxyde des gaines, à la pression interne des crayons et à la déformation de la gaine en rampe de puissance de catégorie 2, est notamment vérifié. L'intégrité des crayons de combustible dans ces situations a été démontrée par EDF.

L'analyse de l'IRSN a concerné plus spécifiquement la suffisance, pour le gainage ZIRLO Optimisé, de la validation du logiciel utilisé et sa qualité prédictive. Il ressort d'une comparaison entre des valeurs mesurées expérimentalement et les valeurs calculées correspondantes qu'une grandeur est systématiquement sous-prédite et en dehors de l'écart admissible : il s'agit de la déformation de la gaine en rampes de puissance de catégorie 2. EDF précise que ce biais de modélisation fait actuellement l'objet de développements. Ainsi, le modèle de gonflement gazeux dans la pastille, qui intervient dans la prédiction de la déformation de la gaine en catégorie 2, doit être ajusté. EDF considère cependant que la marge entre la déformation maximale de gaine calculée en gestion de combustible GEMMES et la valeur du critère en déformation de catégorie 2 permet de couvrir, en l'attente, ce biais de modélisation. L'IRSN note le travail de développement engagé par EDF. L'IRSN précise de plus que la valeur du critère présente un niveau de conservatisme élevé. Ce point n'appelle donc pas d'autre remarque de la part de l'IRSN.

L'étude du risque de rupture de gaine par IPG-CSC⁵ en catégorie 2 des crayons UO₂ à gainage ZIRLO Optimisé est réalisée par EDF en différentiel par rapport au crayon de référence de la gestion GEMMES à gainage Zircaloy-4 (Zy-4), pour différents modes de fonctionnement du réacteur. Dans un premier temps, la démonstration repose sur l'analyse des sept essais de rampes de puissance réalisés ces dernières années dans le réacteur OSIRIS du CEA sur des crayons ZIRLO Optimisé préalablement irradiés pendant deux ou trois cycles dans le réacteur n° 1 de la centrale de Paluel. Ces rampes ont été simulées avec le logiciel d'EDF. Le paramètre discriminant retenu pour l'interprétation des résultats de ces rampes est la contrainte tangentielle en peau interne de gaine, de manière analogue au Zy-4. Il ressort de cette interprétation que le premier essai rompu portant sur un crayon en ZIRLO Optimisé en rampe de puissance présente une contrainte tangentielle supérieure à celle du premier crayon en Zy-4 rompu qui définit la limite à respecter. Cette dernière peut donc être appliquée, avec un certain conservatisme, aux crayons UO₂ à gainage ZIRLO Optimisé. EDF a conforté dans un second temps cette analyse différentielle des essais par des calculs réalisés avec son logiciel qui montrent que la puissance linéique de rupture calculée pour les crayons à gainage ZIRLO Optimisé est systématiquement supérieure à la puissance à rupture des crayons Zy-4, sauf pour quelques cas à hauts taux de combustion qui ne présentent pas de risque de rupture par IPG-CSC.

⁵ Interaction entre la pastille et la gaine assistée par la corrosion sous contrainte.

Ainsi, conformément aux attentes de l'IRSN et de l'ASN, EDF a réalisé plusieurs essais de rampes de puissance sur différents crayons. Ces essais permettent d'apprécier le comportement favorable des crayons ZIRLO Optimisé dans la gamme de taux d'épuisement pour laquelle il existe un risque de rupture de gaine par IPG-CSC. L'IRSN note par ailleurs que les résultats expérimentaux sont confortés par l'analyse des calculs d'écart de puissance linéique de rupture entre les deux gainages. L'IRSN considère, en conclusion, que la démonstration d'EDF relative au risque de rupture par IPG-CSC des crayons UO₂ à gainage ZIRLO Optimisé en rampes de puissance est satisfaisante.

Enfin, l'analyse du comportement mécanique réalisée par Westinghouse conclut à un comportement satisfaisant des assemblages. Cette étude est faite en différentiel par rapport à celle du comportement des assemblages RFA 1300 ZIRLO, le changement de gainage des crayons de combustible ayant une influence limitée sur cet aspect de la démonstration de sûreté. En particulier, la vérification de l'existence de jeux non-nuls entre les embouts et la plaque supérieure de cœur d'une part, et entre les crayons de combustible et les embouts d'autre part, à l'issue des trois cycles d'irradiation en gestion de combustible GEMMES, n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. L'IRSN souligne par ailleurs que le retour d'expérience d'exploitation montre que le comportement des assemblages de conception Westinghouse vis-à-vis du risque de déformation latérale⁶ est satisfaisant.

Démonstration de sûreté en fonctionnement accidentel

Dans le cadre de la démonstration de sûreté relative à l'accident d'Ejection de grappe (EDG), l'ASN avait considéré dans sa lettre en référence [4] qu'EDF « *devrait réaliser des essais mécaniques de traction dynamique sur des échantillons de gaines en ZIRLO Optimisé irradiées pendant trois ou quatre cycles à des températures supérieures à 480°C et ce, au moins jusqu'à 700°C* ». EDF a réalisé deux essais à 800°C sur des tronçons de gaines préalablement irradiés dans un cadre expérimental pendant trois cycles dans le réacteur n° 1 de la centrale de Paluel jusqu'à 54 GWj/tU⁷. Ces essais de traction permettent d'établir des propriétés mécaniques du gainage, dans des conditions représentatives des sollicitations vues par la gaine en EDG. L'analyse de ces nouveaux résultats montre que le comportement du ZIRLO Optimisé ne se distingue pas de celui du Zy-4 ou du ZIRLO, ce qui assure l'applicabilité des critères techniques d'acceptation actuellement d'application pour l'EDG en gestion GEMMES à l'état VD3. Les essais demandés par l'ASN [4] ont été réalisés dans les conditions attendues. L'IRSN n'a, par conséquent, plus de remarque sur la démonstration apportée.

Concernant l'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP), la démarche suivie par EDF est de démontrer d'une part, que les critères techniques d'acceptation définis pour le Zy-4 et vérifiés par le ZIRLO sont également applicables au ZIRLO Optimisé, d'autre part que le comportement thermomécanique en gonflement et en rupture du gainage ZIRLO Optimisé est proche de celui du ZIRLO. Cette démonstration s'appuie sur différents résultats d'essais d'oxydation à haute température et de trempe directe ainsi que sur des résultats d'essais de gonflement et de rupture. Ces essais sont complétés par des essais conduits par Westinghouse et qui répondent plus spécifiquement au référentiel de sûreté américain. À l'issue de son analyse de l'ensemble de ces essais, l'IRSN estime que le comportement des gaines en ZIRLO Optimisé lors des différentes phases de l'APRP est effectivement comparable à celui du ZIRLO. L'IRSN considère que le nombre d'essais réalisés et les conditions expérimentales testées sont satisfaisants. En conséquence, les critères techniques d'acceptation relatifs à l'APRP sont bien applicables aux crayons à gainage ZIRLO Optimisé et les conclusions de l'étude d'APRP du rapport de sûreté de la gestion GEMMES à l'état VD3 ne sont pas remises en cause.

⁶ Des déformations latérales importantes peuvent entraîner un ralentissement de la chute des grappes de commande du réacteur, voire empêchent leur chute complète.

⁷ Dans un cadre expérimental, le taux de combustion maximal autorisé peut être dépassé sous réserve de justifications.

Conclusion

En conclusion de son analyse, compte tenu du retour d'expérience satisfaisant et des éléments complémentaires transmis en réponse aux demandes de l'ASN, l'IRSN estime acceptable, au plan de la sûreté, la modification portant sur la généralisation de l'introduction de recharges de combustible de type *RFA 1300 ZIRLO Optimisé* dans les réacteurs du palier 1300 MWe exploités selon les spécifications techniques d'exploitation de la gestion de combustible GEMMES telle que déclarée par l'exploitant.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté