

Fontenay-aux-Roses, le 1er mars 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2022-00047

---

**Objet :** Réacteurs électronucléaires 900 MWe - EDF - Acceptabilité des assemblages de combustible RFA 900 ZIRLO à l'état VD4.

---

**Réf. :** [1] Saisine ASN - CODEP-DCN-2021-016702 du 4 janvier 2022.  
[2] Avis IRSN n° 2020-00050 du 30 mars 2020.

---

### 1. CONTEXTE

Certains réacteurs de 900 MWe à l'état technique VD3, c'est-à-dire ayant intégré les modifications associées au troisième réexamen de sûreté, sont chargés en assemblages de combustible de fabrication Westinghouse de type RFA-900 ZIRLO, en substitution d'une partie des assemblages de fabrication Framatome de type AFA.

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) présente ci-après son avis quant à l'acceptabilité, sur le plan de la sûreté, de l'utilisation des assemblages de combustible RFA-900 ZIRLO pour les réacteurs de 900 MWe qui ont fait l'objet de leur quatrième réexamen de sûreté (RP4 900), le référentiel associé au RP4 900 ayant intégré un certain nombre d'évolutions par rapport au référentiel précédent.

Dans ce cadre, l'IRSN a expertisé les éléments transmis par EDF concernant la conception mécanique, thermomécanique, neutronique et thermohydraulique de ces assemblages, et notamment l'applicabilité de la corrélation de flux critique FC2002r au combustible RFA-900 ZIRLO.

Par ailleurs, EDF a transmis en juin 2021 les études de sûreté associées à la mise en œuvre du combustible RFA-900 ZIRLO sur les réacteurs 900 MWe à l'état RP4. L'acceptabilité de ce dossier, qui fait l'objet d'une expertise spécifique, est également un préalable au chargement de ces assemblages à l'état RP4.

### 2. CONCEPTION DE L'ASSEMBLAGE RFA-900 ZIRLO

La conception mécanique vise à s'assurer de la tenue mécanique en situation normale et en situation accidentelle des différents composants de l'assemblage. À cet égard, l'expertise relative à l'assemblage de fabrication Framatome de type AFA réalisée dans le cadre du RP4 900 pour la gestion Parité MOX a conduit l'IRSN à identifier que les effets notables du passage au référentiel RP4 portaient essentiellement sur la justification de la tenue

mécanique des grilles en situation accidentelle, notamment en cas de séisme ou d'accident de perte de réfrigérant primaire.

D'une part, EDF a démontré que les grilles des assemblages RFA-900 ZIRLO sont plus robustes, vis-à-vis de la déformation, que les grilles des assemblages de type AFA. D'autre part, EDF a pris plusieurs engagements, rappelés dans l'avis en référence [2], portant sur un programme de travail ambitieux étalé sur plusieurs années et sur l'étude de mesures compensatoires ou de modifications matérielles de nature à limiter les sollicitations mécaniques des assemblages en conditions accidentelles. **Dans la mesure où ces engagements présentent un caractère générique, l'IRSN ne formule pas d'autre remarque à ce stade sur la justification du comportement mécanique des assemblages RFA-900 ZIRLO dans le référentiel RP4.**

La conception thermomécanique des crayons de l'assemblage RFA-900 ZIRLO vise à évaluer, en fonctionnement normal, la pression interne dans les crayons de combustible, la corrosion externe des gaines et la température maximale du combustible. Elle permet de vérifier que la déformation circonférentielle de la gaine en fonctionnement normal et incidentel est limitée. À l'issue de l'expertise des études d'accidents réalisée dans le cadre du RP4 900 pour la gestion Parité MOX, EDF s'est engagé à apporter des éléments complémentaires pour justifier le caractère enveloppe des historiques de puissance vis-à-vis de la variabilité des recharges et pour vérifier le respect des critères en déformation circonférentielle de gaine. **Ces éléments complémentaires à caractère générique concernant à la fois les crayons des assemblages de types AFA et RFA-900 ZIRLO, l'IRSN n'a pas d'autre remarque à ce stade sur la justification du comportement thermomécanique des crayons des assemblages RFA-900 ZIRLO dans le référentiel RP4.**

La conception neutronique consiste à caractériser l'évolution, en fonction de l'irradiation, de la réactivité de l'assemblage, du bilan isotopique, de la distribution radiale de puissance, et à s'assurer de l'efficacité des grappes de contrôle et du bore. L'IRSN a estimé qu'il n'y avait pas matière à mener une expertise de la conception neutronique dans le cadre du RP4 900 pour la gestion Parité MOX, dans la mesure où aucune évolution du référentiel RP4 ne met en cause cette conception. **L'IRSN n'a donc pas de remarque sur la justification du comportement neutronique des assemblages RFA-900 ZIRLO dans le référentiel RP4.**

La conception thermohydraulique consiste à évaluer, dans les études du rapport de sûreté, le risque d'entrée en crise d'ébullition<sup>1</sup>. Cette évaluation s'appuie sur l'estimation du rapport de flux thermique critique<sup>2</sup> (RFTC) via une corrélation de flux critique<sup>3</sup> et un critère associé rendant compte de la capacité de la corrélation à prédire des mesures de flux critique. Le passage au référentiel RP4 concerne la mise en œuvre d'une nouvelle corrélation de flux critique. En effet, EDF utilise désormais la corrélation FC2002r au lieu de la corrélation WRB-1 pour laquelle plusieurs anomalies ont été déclarées. À l'issue de l'expertise des études d'accidents réalisée dans le cadre du RP4 900 pour la gestion Parité MOX, **l'IRSN a estimé acceptable la démonstration de l'applicabilité de la corrélation de flux critique FC2002r aux assemblages de type AFA de fabrication Framatome. L'expertise relative aux assemblages de combustible RFA-900 ZIRLO n'avait toutefois pas été finalisée.** L'expertise de ce point précis fait l'objet du paragraphe suivant.

---

<sup>1</sup> La crise d'ébullition se caractérise par la formation d'un film de vapeur sur les parois des crayons de combustible qui dégrade l'échange de chaleur entre la gaine des crayons et le caloporteur, conduisant à un échauffement excessif du combustible et à une dégradation de la gaine (première barrière de confinement).

<sup>2</sup> Le RFTC est le rapport entre le flux critique, c'est-à-dire le flux thermique qui conduirait à l'apparition de la crise d'ébullition, évalué par une corrélation, et le flux local.

<sup>3</sup> La corrélation de flux critique permet, en fonction des conditions thermohydrauliques locales (pression, température, vitesse massique du réfrigérant) de déterminer numériquement la valeur du flux critique.

### 3. APPLICABILITÉ DE LA CORRÉLATION DE FLUX CRITIQUE FC2002R

Le dossier de justification de l'applicabilité de la corrélation de flux critique FC2002r aux assemblages de combustible de fabrication Westinghouse RFA-900 ZIRLO diffère de celui dédié aux assemblages de combustible de type AFA expertisé dans le cadre des études d'accidents du RP4 900 pour la gestion Parité MOX sur les points suivants :

- les essais de flux critique valorisés dans le dossier ont été réalisés sur une nouvelle installation expérimentale, la « boucle ODEN<sup>4</sup> » ;
- l'analyse de ces essais a été menée avec l'outil de calcul de thermohydraulique cœur d'EDF alors que le dossier de justification de l'applicabilité de la corrélation de flux critique FC2002r aux assemblages de type AFA et les études de sûreté s'appuient sur l'outil de calcul de thermohydraulique cœur de Framatome.

#### 3.1. QUALIFICATION DE LA BOUCLE ODEN

La qualification de la nouvelle boucle ODEN pour réaliser des essais de flux critique repose sur la reprise à l'identique d'une série d'essais réalisée sur l'installation expérimentale de référence, appelée « boucle HTRF<sup>5</sup> ». Les comparaisons sont réalisées sur la mesure de puissance délivrée à l'installation à l'instant de la détection de la crise d'ébullition. Selon EDF, la cohérence des mesures réalisées sur les deux boucles permet de conclure quant à la qualification de la boucle ODEN.

L'IRSN note que le domaine thermohydraulique couvert par la comparaison entre les deux boucles est restreint par rapport aux applications visées, notamment dans le domaine des basses pressions et des basses vitesses. Cependant, l'IRSN a vérifié que cette réserve ne met pas en cause les conclusions de l'analyse menée par EDF et présentées au §3.3.

#### 3.2. UTILISATION DE L'OUTIL DE CALCUL DE THERMOHYDRAULIQUE CŒUR D'EDF

EDF a calculé les paramètres statistiques<sup>6</sup> avec son outil de calcul scientifique (OCS) de thermohydraulique cœur pour la base expérimentale AFA et a montré qu'ils sont équivalents à ceux prédits à l'aide de l'OCS de Framatome. Ainsi, EDF estime que son OCS de thermohydraulique cœur peut être utilisé pour l'analyse des essais de flux critique.

**L'IRSN considère acceptable l'utilisation de l'OCS de thermohydraulique cœur retenu pour l'analyse des essais de flux critique valorisés par EDF.**

#### 3.3. APPLICABILITÉ DE LA CORRÉLATION FC2002R AUX COMBUSTIBLES RFA-900 ZIRLO MUNIS DE GRILLES RFA2

L'applicabilité d'une corrélation de flux critique repose sur la bonne représentativité des configurations d'essais vis-à-vis de l'assemblage combustible qui sera chargé dans le cœur. Les assemblages RFA-900 ZIRLO qui équipent les cœurs de réacteurs de 900 MWe sont de fabrication Westinghouse, munis de grilles RFA2 et de longueur chauffante 12 pieds (3,66 m).

<sup>4</sup> Cette installation expérimentale, opérée par Westinghouse, est située en Suède.

<sup>5</sup> Il s'agit de l'installation expérimentale américaine de l'université de Columbia.

<sup>6</sup> Moyenne et écart-type sur les écarts entre le calcul et la mesure pour chaque série d'essais.

EDF a exploité quatre séries d'essais de flux critique, réalisées sur la boucle ODEN, sur des simulateurs d'assemblages munis de grilles RFA2 et de longueur chauffante 14 pieds (4,27 m). Les séries d'essais couvrent différentes formes axiales de flux (uniforme et non-uniforme), différentes conditions thermohydrauliques et tiennent compte ou non de la présence d'un tube-guide<sup>7</sup>.

EDF a démontré que les conditions thermohydrauliques rencontrées dans les études de sûreté du référentiel RP4 pour la gestion Parité MOX sont couvertes par les essais de flux critique qu'il valorise.

L'analyse de ces quatre séries d'essais de flux critique montre que le niveau de conservatisme de la corrélation de flux critique FC2002r est satisfaisant pour son application aux assemblages RFA de longueur 14 pieds. Or cette analyse n'est pas directement applicable aux combustibles de longueur chauffante 12 pieds qui doivent être chargés sur les réacteurs de 900 MWe à l'état RP4.

L'IRSN estime que le niveau de conservatisme évalué pour les combustibles de longueur 14 pieds est suffisant pour que la corrélation de flux critique soit applicable aux combustibles de longueur 12 pieds. **Ce niveau de conservatisme nécessite toutefois d'être conforté par des essais de flux critique représentatifs du combustible RFA de longueur 12 pieds. À l'issue de l'expertise, l'exploitant a pris un engagement en ce sens. Les résultats des essais seront transmis au plus tard le 31 mars 2025. L'IRSN estime satisfaisant cet engagement qui est rappelé en annexe.**

## 4. CONCLUSION

À l'issue de l'expertise des éléments présentés par EDF et compte tenu de son engagement de réaliser des essais de flux critique représentatifs des assemblages de longueur chauffante 12 pieds, l'IRSN estime acceptable, sur le plan de la sûreté, l'utilisation des assemblages de combustible RFA-900 ZIRLO pour les réacteurs de 900 MWe à la suite de leur quatrième visite décennale, au regard de leur conception mécanique, thermomécanique, neutronique et thermohydraulique.

L'IRSN rappelle toutefois qu'EDF a transmis en juin 2021 les études de sûreté associées à la mise en œuvre du combustible RFA-900 ZIRLO sur les réacteurs 900 MWe à l'état RP4 et que l'acceptabilité de ce dossier, qui fait l'objet d'une expertise spécifique, est également un préalable au chargement de ces assemblages à l'état RP4.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

---

<sup>7</sup> Le tube-guide est un crayon non-chauffant de diamètre plus important que les crayons de combustible : la section de passage autour du tube-guide est donc réduite ce qui tend à augmenter pour les crayons voisins le risque de crise d'ébullition, mais le flux moyen est plus faible (tube non-chauffant) et conduit à diminuer le risque : les essais avec tube-guide permettent de quantifier la résultante de ces deux effets antagonistes.

## **ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00047 DU 1<sup>ER</sup> MARS 2022**

### **Engagement de l'exploitant**

EDF fera réaliser par Westinghouse une campagne d'essais de flux critique supplémentaire sur la boucle ODEN afin de confirmer l'applicabilité de la corrélation de flux critique FC2002r aux assemblages RFA 900. La maquette sera équipée de grilles de mélange de type RFA2, présentera une longueur chauffante de 12 pieds et une forme de flux non uniforme. Un tube non chauffant, placé au centre de la maquette, simulera la présence d'un tube-guide.

Les résultats obtenus après analyses seront transmis à l'Autorité de Sûreté au plus tard le 31 mars 2025.