



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 25 juillet 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00119

**Objet :** Réacteurs électronucléaires du palier CPY en gestion de combustible PMOX - EDF - Anomalies MOX - Réévaluation des caractéristiques enveloppes de l'îlot plutonifère.

**Réf. :** [1] Courrier ASN - CODEP-DCN-2020-042479 du 8 septembre 2020.  
[2] Saisine ASN - CODEP-DCN-2023-025701 du 15 mai 2023.  
[3] Guide ASN n° 28 du 25 juillet 2017.

### 1. CONTEXTE

EDF a déclaré plusieurs anomalies concernant les crayons de combustible MOX<sup>1</sup> chargés dans les réacteurs de 900 MWe exploités en gestion Parité MOX qui concernent :

- la fabrication des pastilles de combustible de par, notamment, la présence d'îlots plutonifères (PRI<sup>2</sup>) de grande taille (depuis 2013) ;
- l'absence de prise en compte du phénomène de remontée de flux neutronique lors du fonctionnement normal du réacteur, aux extrémités basse et haute des crayons (anomalie d'étude déclarée en 2017).

Le cumul de ces anomalies peut mettre en cause la démonstration de l'intégrité de la première barrière pour certains transitoires de catégorie 2<sup>3</sup>. Dans ces situations, il convient de garantir l'absence de fusion du combustible.

Afin de résorber l'anomalie de remontée de flux neutronique aux extrémités des crayons de combustible MOX, EDF prévoit de déployer, à partir de 2024, une nouvelle conception d'assemblage de combustible comprenant un insert en hafnium (absorbant neutronique) en partie haute et une cale en acier avec un opercule en hafnium en partie basse des crayons de combustible MOX.

Pour résorber l'anomalie relative à la présence de PRI, des évolutions du procédé de fabrication des pastilles ont été engagées en 2022. La poudre d'oxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>) utilisée pour la fabrication du combustible MOX sera désormais élaborée par le procédé « voie humide » en lieu et place du procédé « voie sèche », identifié comme responsable de ces PRI.

<sup>1</sup> Oxyde mixte de plutonium et d'uranium.

<sup>2</sup> Plutonium rich island.

<sup>3</sup> Incident de fréquence modérée, dont la fréquence d'apparition annuelle par réacteur est supérieure à 10<sup>-2</sup>.

MEMBRE DE  
**ETSON**

Dans l'attente de ces évolutions, des mesures compensatoires d'exploitation ont été définies pour limiter les remontées de flux neutronique. Par ailleurs, la démonstration de la sûreté des recharges d'assemblages apportée dans les dossiers spécifiques de sûreté, pour chaque cycle irradiant des crayons de combustible MOX, a été complétée par une analyse de bilan de marge au regard du risque de fusion du combustible en transitoire de catégorie 2 en considérant le cumul de ces anomalies. Ce bilan de marge repose notamment sur l'utilisation d'un outil de calcul scientifique (OCS) développé spécifiquement pour l'évaluation des puissances linéiques à fusion des pastilles de combustible MOX en présence de PRI. L'absence de qualification de cet OCS a conduit l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), par le courrier en référence [1], à demander à EDF de retenir un PRI très enveloppe en termes de volume et de teneur en plutonium dans l'attente de compléments d'analyse du retour d'expérience (REX) de fabrication.

Compte tenu du REX récent de la fabrication des pastilles de combustible MOX, EDF prévoit de diminuer le volume du PRI enveloppe à considérer dans la démonstration de sûreté, tout en conservant la teneur en plutonium initialement retenue. En complément, EDF a apporté des éléments de qualification de l'OCS utilisé pour l'évaluation des puissances linéiques à fusion des pastilles de combustible MOX.

Par la saisine en référence [2], l'ASN souhaite ainsi recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur l'acceptabilité, au plan de la sûreté, de la prise en compte des nouvelles caractéristiques enveloppes de PRI à considérer dans la démonstration de la sûreté des recharges d'assemblages comportant du combustible MOX.

Afin de répondre à la demande de l'ASN, l'expertise de l'IRSN a porté sur :

- la qualification de l'OCS utilisé pour l'évaluation des puissances linéiques à fusion des pastilles de combustible MOX en présence d'îlots plutonifères ;
- l'analyse du REX récent de la fabrication des pastilles de combustible MOX.

Les conclusions de cette expertise sont présentées ci-après.

## 2. QUALIFICATION DE L'OCS UTILISE POUR L'EVALUATION DES PUISSANCES LINEIQUES A FUSION DES PASTILLES DE COMBUSTIBLE MOX EN PRESENCE D'ILOTS PLUTONIFERES

Le dossier de qualification fourni par EDF est globalement cohérent avec le guide ASN n° 28 [3] qui présente les préconisations relatives à la qualification des outils de calcul scientifique utilisés pour vérifier le respect des critères de sûreté associés à la première barrière du combustible. Notamment, il comporte une analyse et une hiérarchisation des paramètres influents vis-à-vis de la puissance linéique à fusion ainsi qu'une étape de vérification puis de validation par comparaison entre des résultats expérimentaux et de calculs.

En revanche, l'IRSN note l'absence de prise en compte de certains phénomènes physiques<sup>4</sup> ainsi que l'absence d'une validation intégrale<sup>5</sup> représentative du comportement de pastilles de combustible MOX en présence de PRI, ce qui constitue des lacunes de qualification de l'OCS. Par ailleurs, les incertitudes associées aux résultats de calculs issus de cet OCS n'ont pas été évaluées. **En conclusion, l'IRSN estime que la qualification de l'OCS utilisé pour la détermination des puissances linéiques à fusion des pastilles de combustible MOX en présence de PRI n'est pas complète.**

---

<sup>4</sup> La densification et le gonflement des pastilles se produisant au cours de l'irradiation ne sont pas explicitement modélisés.

<sup>5</sup> La validation intégrale a pour objectif de vérifier l'aptitude globale de l'outil de calcul scientifique à simuler correctement l'ensemble des phénomènes physiques et leurs interactions.

Nonobstant, EDF a valorisé les différents conservatismes de la méthode d'établissement du bilan de marge au regard du risque de fusion du combustible en transitoire de catégorie 2. Ces conservatismes portent sur les hypothèses concernant certaines caractéristiques des PRI et les choix de modélisation des transferts thermiques entre les pastilles et les composants du crayon (gaine, cale, ressort).

À l'issue de son expertise, l'IRSN estime que ces conservatismes peuvent permettre de couvrir les lacunes de qualification de l'OCS. Ainsi, l'IRSN a la raisonnable assurance du caractère conservatif de l'évaluation, par l'OCS, des puissances linéiques à fusion des pastilles de combustible MOX en présence de PRI.

### **3. ANALYSE DU REX RECENT DE LA FABRICATION DES PASTILLES DE COMBUSTIBLE MOX**

Concernant l'analyse du REX, l'IRSN note que les PRI rencontrés au cours des fabrications récentes des pastilles de combustible MOX à la suite des évolutions successives du procédé de fabrication<sup>6</sup> présentent des caractéristiques en termes de volume et de teneur en plutonium plus favorables que celles correspondant au PRI qu'EDF prévoit de retenir dans le cadre de la démonstration de la sûreté des recharges d'assemblages.

### **4. CONCLUSION**

En conclusion, l'IRSN estime acceptables, sur le plan de la sûreté, les nouvelles caractéristiques d'îlots plutonifères à considérer dans les études relatives au risque de fusion des pastilles de combustible, en support à la démonstration de la sûreté des recharges d'assemblages comportant du combustible MOX.

En tout état de cause, l'IRSN note que les assemblages de combustible MOX chargés à partir de 2023 ne devraient plus présenter de PRI non-conformes dans la mesure où la fabrication des pastilles de combustible MOX sera réalisée à partir d'une poudre d'UO<sub>2</sub> élaborée par le procédé « voie humide ».

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

---

<sup>6</sup> Des évolutions du procédé de fabrication ont été mises en œuvre consécutivement à chaque évènement anormal visant à réduire ou supprimer les zones de rétention de poudre au niveau des sabots de presse ou à renforcer les procédures de nettoyage.