



Fontenay aux roses, le 13 mars 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2024-00036

**Objet :** Réacteurs électronucléaires CPY PMOX à l'état VD4 – EDF – Demande d'autorisation de modification notable du RDS – Extension de la variabilité des recharges

**Réf. :** [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2024-012150 du 28 février 2024.  
[2] Avis IRSN N° 2022-00080 du 22 avril 2022.  
[3] Lettre ASN - CODEP-DCN-2022-019345 du 27 avril 2022.  
[4] Lettre ASN - CODEP-DCN-2022-041556 du 24 août 2022.  
[5] Avis IRSN N° 2019-00026 du 15 février 2019.  
[6] Lettre ASN - CODEP-DCN-2019-012204 du 25 mars 2019.

Conformément à la demande formulée par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné les éléments transmis par EDF en support à la demande d'autorisation de modification du rapport de sûreté (RDS) des réacteurs de 900 MWe exploités en gestion de combustible PARITÉ MOX<sup>1</sup> (notée PMOX par la suite) et à l'état technique correspondant à leur quatrième visite décennale (VD4).

Cette modification consiste à étendre la variabilité des recharges<sup>2</sup> de cette gestion à des plans de rechargement non explicitement couverts par le référentiel en vigueur et à prendre en compte le retour d'expérience sur les vérifications en recharge.

### 1. CONTEXTE

Des problèmes d'approvisionnement en assemblages de combustible MOX ont conduit EDF à mettre en œuvre depuis le début de l'année 2020, pour plusieurs réacteurs de 900 MWe à l'état technique VD4 exploités en gestion de combustible PMOX, un enchaînement de deux recharges successives sans assemblage de combustible MOX neuf, ce qui a fait l'objet de l'avis de l'IRSN en référence [2], puis de l'autorisation de l'ASN [3].

<sup>1</sup> Mélange d'oxydes constitué de dioxyde de plutonium et de dioxyde d'uranium appauvri.

<sup>2</sup> On appelle « recharge » les assemblages neufs introduits dans le cœur lors de l'opération de renouvellement du combustible. En gestion PMOX, une recharge standard est constituée de 40 assemblages neufs (28 assemblages constitués de dioxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>) et 12 assemblages MOX). Le cœur entier contient un total de 157 assemblages.

Par la suite, le déploiement d'une recharge sans combustible MOX (40 assemblages UO<sub>2</sub>) sur des réacteurs ayant reçu, au cycle précédent, une recharge neuve réduite de quatre assemblages par rapport à la recharge nominale (24 assemblages UO<sub>2</sub> et 12 assemblages MOX), a été autorisé par l'ASN [4].

Pour pallier les aléas d'approvisionnement en combustible MOX et pour moduler les longueurs des cycles, EDF a déposé une demande d'extension de la variabilité autorisée pour l'état technique VD4. Cette extension inclut neuf cycles supplémentaires avec un inventaire variable : un enchaînement de deux, de trois ou de quatre recharges consécutives sans combustible MOX neuf<sup>3</sup>, un enchaînement d'une ou de deux recharges consécutives de 36 assemblages UO<sub>2</sub> (sans MOX)<sup>4</sup>, une variabilité de plus ou moins huit assemblages de combustible UO<sub>2</sub> par rapport à la recharge neuve nominale<sup>5</sup> et un enchaînement d'une ou de deux recharges consécutives de 32 assemblages UO<sub>2</sub> et huit assemblages MOX<sup>6</sup>.

La prise en compte de l'impact de la variabilité des cycles sur la démonstration de sûreté comporte deux volets :

- le premier volet concerne le dossier général d'évaluation de la sûreté des recharges (DGES). Ce chapitre du RDS décrit l'ensemble des vérifications menées avant chaque nouveau cycle pour garantir l'applicabilité des conclusions des études génériques du RDS. La démonstration de sûreté en recharge repose sur le respect, pour certains paramètres neutroniques, dits paramètres-clés, de valeurs limites issues des études génériques ;
- le deuxième volet concerne le risque de rupture de gaine par interaction entre la pastille et la gaine (IPG). Ce risque est à considérer dès lors que le contact entre la pastille et la gaine d'un crayon de combustible est établi (jeu fermé). S'il n'y a pas de risque de rupture de gaine en régime permanent, celui-ci apparaît dès lors que le crayon de combustible subit de fortes augmentations de puissance, la gaine étant alors sollicitée en traction. L'intégrité de la première barrière (gaine des crayons de combustible) doit être démontrée en fonctionnement normal et en fonctionnement incidentel. Les études IPG du RDS sont réalisées par EDF sur la base du cycle prolongé à l'équilibre<sup>7</sup> de la gestion prévisionnelle (appelé cycle de référence) avec la méthodologie IPG rénovée. Elles fixent notamment les limites relatives à l'exploitation du réacteur en termes de durées passées en fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire (FPPI). Le FPPI est, en effet, un mode de fonctionnement défavorable par rapport au risque de rupture de gaine par IPG.

Par ailleurs, le retour d'expérience sur la période allant de 2018 à 2022 sur les vérifications de la sûreté des recharges menées par EDF avant toute nouvelle campagne a mis en exergue des difficultés à respecter certaines valeurs limites prescrites dans le DGES. Ces difficultés ont conduit EDF à introduire, pour la vérification en recharge à l'état VD4, certaines évolutions mineures.

En conséquence, l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN « *sur l'acceptabilité sur le plan de la sûreté de la modification en regard du référentiel applicable aux réacteurs exploités en gestion de combustible PARITÉ MOX et à l'état technique VD4* ».

---

<sup>3</sup> Les recharges sans assemblage neuf de combustible MOX seront notées par la suite « 0MOX ». L'enchaînement consécutif de n de ces recharges sera lui noté « n×0MOX ».

<sup>4</sup> Les recharges sans assemblage neuf de combustible MOX et réduites de quatre assemblages UO<sub>2</sub> seront notées « 36UO<sub>2</sub> ». L'enchaînement consécutif de deux de ces recharges sera lui noté « 2×36UO<sub>2</sub> ».

<sup>5</sup> Les recharges composées de plus ou moins huit assemblages UO<sub>2</sub> seront notées par la suite « +/-8UO<sub>2</sub> ».

<sup>6</sup> Les recharges composées de 32 assemblages UO<sub>2</sub> et de 8 assemblages MOX seront notées par la suite « 32UO<sub>2</sub>/8MOX ». L'enchaînement consécutif de deux de ces recharges sera lui noté « 2×32UO<sub>2</sub>/8MOX ».

<sup>7</sup> Un cycle est à l'équilibre lorsque le positionnement des assemblages sur deux cycles successifs et la longueur du cycle ne varient plus.

## 2. APPLICABILITÉ DU RÉFÉRENTIEL DE SÛRETÉ PMOX VD4

EDF considère, pour son analyse de sûreté, neuf plans de chargement théoriques représentatifs de l'extension de variabilité : 2x0MOX, 3x0MOX, 4x0MOX, 36UO<sub>2</sub>, 2x36UO<sub>2</sub>, -8UO<sub>2</sub>, +8UO<sub>2</sub>, 32UO<sub>2</sub>/8MOX et 2x32UO<sub>2</sub>/8MOX.

La démarche retenue, que ce soit pour le volet « DGES » ou le volet « risque IPG », est identique à celle mise en œuvre dans le dossier « variabilité » aux états techniques VD2 et VD3, qui a fait l'objet de l'avis de l'IRSN en référence [5] et d'une autorisation de l'ASN [6].

Concernant le volet « DGES », l'analyse des plans de chargement théoriques a conduit EDF à identifier deux paramètres-clés supplémentaires à vérifier avant chaque nouveau cycle : la décroissance du facteur d'élévation d'enthalpie maximal<sup>8</sup> en fonction de l'épuisement pour les crayons de combustible MOX, et le temps de vie des neutrons prompts<sup>9</sup> en début de vie. **Ces évolutions n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Au cours de l'expertise, EDF a apporté des éléments pour justifier l'absence de nécessité de vérifier en recharge l'efficacité différentielle maximale du bore<sup>10</sup>. En effet, bien que la marge par rapport à la valeur limite de ce paramètre diminue sensiblement lorsque le nombre d'assemblages MOX présents dans le cœur décroît, EDF a montré que, pour l'unique accident concerné par ce paramètre, à savoir l'accident de dilution en puissance, la marge au critère de sûreté relatif à l'absence de fusion du combustible est suffisante pour justifier son exclusion de la vérification en recharge. **En conséquence, l'IRSN estime acceptable la justification de l'exclusion de la vérification de ce paramètre en recharge et ne formule donc plus de remarque quant à l'exhaustivité de la vérification en recharge.** Cependant, vis-à-vis du critère de sûreté relatif à l'absence d'entrée en crise d'ébullition pour cet accident de dilution, l'IRSN a noté qu'EDF valorise la valeur minimale, et non maximale, de l'efficacité différentielle du bore, ce qui ne semble pas pénalisant vis-à-vis de l'apport de réactivité par la dilution du circuit primaire. **À cet égard, bien que ce point ne soit pas spécifique au présent dossier, il appartient à EDF de justifier, pour l'étude de dilution en puissance, le sens de pénalisation du paramètre « efficacité différentielle du bore » au regard du risque d'entrée en crise d'ébullition.**

Par ailleurs, les calculs réalisés par EDF mettent en évidence un dépassement des valeurs limites prescrites dans le DGES du référentiel PMOX VD4 pour les paramètres-clés suivants : les valeurs maximales de la fraction effective de neutrons retardés en début de vie à l'équilibre xénon et en fin de vie, la valeur maximale du temps de vie des neutrons prompts en début de vie, la valeur maximale du coefficient de densité du modérateur<sup>11</sup> et la valeur du poids de la grappe éjectée<sup>12</sup> en cas d'éjection de grappe en puissance. Ces dépassements n'étant pas couverts par la démonstration de sûreté générique de cette gestion, EDF aménage la vérification de la sûreté en recharge en relaxant les valeurs limites des paramètres-clés concernés, tout en restreignant les valeurs limites d'autres paramètres-clés. **L'IRSN estime acceptable la relaxation des valeurs limites de certains paramètres-clés pour les nouveaux plans de chargement des réacteurs de 900 MWe à l'état technique VD4 dans la mesure où la démonstration de sûreté générique reste assurée.**

Concernant le volet « risque IPG », EDF a appliqué la démarche d'étude « IPG variabilité » en vigueur afin d'évaluer, pour tous les crayons du cœur, le risque de rupture en situations de fonctionnement normal et incidentel. Les études menées visent notamment à évaluer le « biais variabilité » qui correspond à l'écart maximal

<sup>8</sup> Le facteur d'élévation d'enthalpie associé à un crayon est défini comme le rapport entre l'élévation d'enthalpie de l'eau autour du crayon et l'élévation moyenne d'enthalpie dans le cœur.

<sup>9</sup> Lors de la fission d'un noyau lourd (uranium ou plutonium par exemple), des neutrons sont émis, permettant ainsi le maintien de la réaction en chaîne dans le réacteur. On distingue les neutrons dits prompts, qui sont émis au moment de la fission, des neutrons dits retardés, qui sont émis, eux, entre plusieurs secondes et plusieurs minutes après la fission.

<sup>10</sup> L'efficacité différentielle du bore quantifie la sensibilité de la réactivité à une variation de la concentration en bore.

<sup>11</sup> Le coefficient de densité modérateur est un paramètre neutronique représentatif de la variation de réactivité du cœur en fonction de la densité du modérateur.

<sup>12</sup> On parle de poids de la grappe au sens de l'antiréactivité qui serait apportée par celle-ci en cas d'éjection hors du cœur.

de marge en puissance linéique obtenu entre les cycles variables étudiés et le cycle de référence des études IPG. Ces études montrent que les nouveaux plans de chargement considérés ne mettent pas en cause le « biais variabilité » estimé pour les réacteurs de 900 MWe à l'état technique VD4. Les limites relatives aux durées maximales de FPPI, définies dans les spécifications techniques d'exploitation, sont donc applicables. **L'IRSN ne formule pas de remarques à ce sujet.**

Enfin, la prise en compte du retour d'expérience sur la période 2018 à 2022 des évaluations de la sûreté des recharges des réacteurs de 900 MWe en référentiel PMOX VD4 a conduit EDF à faire évoluer la vérification en recharge. Les évolutions retenues, qui ne sont pas liées à l'extension de variabilité, n'ont pas d'impact sur les marges d'études concernées. **Elles n'appellent donc pas de remarques de la part de L'IRSN.**

### **3. CONCLUSION**

À l'issue de son analyse des éléments présentés par EDF dans son dossier et des compléments apportés au cours de l'expertise, l'IRSN estime acceptables, sur le plan de la sûreté, les évolutions de la vérification en recharge et du domaine de variabilité pour les réacteurs de 900 MWe exploités en gestion de combustible PMOX et à l'état technique VD4.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté