

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2019-00255

Objet ...	Réacteurs électronucléaires - Palier CPY - EDF - Anomalies de fabrication du combustible MOX - Démonstration de sûreté en vue du démarrage du réacteur n° 1 de la centrale de Tricastin en référentiel VD4 900.
Réf(s) ...	1. Lettre ASN - CODEP-DCN-2019-020651 du 13 novembre 2019. 2. Avis IRSN/2018-00120 du 27 avril 2018. 3. Lettre ASN - CODEP-DCN-2018-025483 du 12 juillet 2018. 4. Lettre ASN - CODEP-DCN-2016-007286 du 20 avril 2016. 5. Avis IRSN/2019-00002 du 11 janvier 2019. 6. Lettre ASN - CODEP-DCN-2019-043896 du 25 octobre 2019.
Nbre de page(s)..	5

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 démonstration apportée par EDF relative à la prise en compte d'une nouvelle anomalie de fabrication affectant les crayons de combustible MOX¹ de conception FRAMATOME pour le cas du réacteur n° 1 du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) du Tricastin qui vient de réaliser son arrêt pour quatrième visite décennale.

Contexte

EDF a déclaré plusieurs anomalies concernant le combustible MOX utilisé dans les réacteurs CPY de 900 MWe exploités en gestion de combustible « PARITÉ MOX ». Ces anomalies concernent :

- la non-conformité de fabrication de pastilles de combustible MOX en lien avec une dérive de la teneur moyenne en plutonium observée entre les crayons issus d'un même lot de pastilles ;
- la non-conformité de fabrication de pastilles de combustible MOX en lien avec la présence d'îlots plutonifères (PRI²) de « grande taille », pouvant atteindre un diamètre effectif maximal dépassant le critère des spécifications techniques de fabrication ;
- l'absence de prise en compte du phénomène de remontée de flux neutronique se produisant pendant le fonctionnement normal du réacteur, en bas du cœur. Cette remontée de flux générant un surcroît de puissance sur les premiers millimètres de la première pastille est due à la présence en bas du cœur d'une zone neutroniquement réfléchissante et faiblement absorbante, liée notamment à la présence d'une cale en Zircaloy-4 dans le crayon en dessous de la première pastille.

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 Mélange d'oxydes constitué de dioxyde de plutonium (PuO₂) et de dioxyde d'uranium appauvri (UO₂).

² Pu rich island (îlot riche en plutonium).

Le cumul de ces anomalies pourrait mettre en cause la démonstration de l'intégrité du combustible pour certains transitoires de deuxième catégorie (transitoires incidentels). Dans ces situations, la vérification du respect de l'exigence d'intégrité du combustible repose notamment sur l'absence d'atteinte de la puissance linéique à partir de laquelle la fusion de la pastille peut intervenir.

EDF a donc déclaré en mars 2017 un évènement significatif pour la sûreté relatif au cumul du phénomène de remontée de flux neutronique en bas de colonne fissile et de la présence d'îlots plutonifères de « grande taille » pour les réacteurs CPY de 900 MWe exploités en gestion de combustible PARITÉ MOX.

Dans son avis en référence [2], l'IRSN s'est prononcé sur la démonstration de sûreté apportée par EDF prenant en compte ces anomalies de fabrication et considérant le phénomène de remontée de flux neutronique. L'IRSN a souligné d'une part que la démonstration d'EDF nécessitait des compléments et des justifications supplémentaires et, d'autre part, que cette démonstration ne traitait qu'une partie des conséquences sur les études du rapport de sûreté. En effet, la présence d'un ressort au-dessus de la colonne fissile des crayons MOX conduit également à un phénomène de remontée de flux neutronique en partie haute de la colonne fissile, phénomène non étudié par l'exploitant. EDF s'est engagé à compléter sa démonstration pour prendre en compte l'ensemble des phénomènes de remontée de flux neutronique aux extrémités de la colonne fissile des crayons de combustible MOX et leurs conséquences.

Cette expertise réalisée par l'IRSN a conduit l'ASN, par la lettre en référence [3], à demander la mise en œuvre au plus tôt de mesures compensatoires en exploitation visant à réduire les risques de fusion à cœur du combustible MOX en haut et bas de colonne fissile en cas de transitoires incidentels pour tous les réacteurs exploités en gestion de combustible PARITÉ MOX. En conséquence, EDF a prévu, comme mesure compensatoire pour la remontée de flux en partie basse, une modification des chaînes de protection, déployée depuis avril 2019 sur tous ces réacteurs dans l'attente de la mise en place d'une modification de conception des crayons de combustible MOX (engagée par EDF). Par ailleurs, les anomalies de fabrication des pastilles de combustible MOX ont conduit ORANO à mettre successivement en place des actions correctives sur le procédé de fabrication de ce combustible à son usine de MELOX pour réduire, voire supprimer, l'occurrence d'amas plutonifères et garantir le respect des spécifications techniques de fabrication. De plus, des contrôles renforcés ont été introduits dans le processus de contrôle qualité du produit.

Toutefois, en mai 2019, EDF a déclaré un nouvel évènement anormal affectant la fabrication du combustible MOX, en lien avec la présence de PRI non-conformes. **L'IRSN constate que, malgré une amélioration notable du procédé depuis l'évènement de 2013³, les actions correctives mises en place ne sont pas suffisantes pour garantir le respect du critère de taille des amas de plutonium des spécifications techniques de fabrication du combustible MOX.**

L'IRSN note qu'EDF étudie actuellement la mise en œuvre d'actions complémentaires visant à améliorer de nouveau le procédé de fabrication du combustible MOX.

Dans le cadre du réexamen périodique de sûreté associé aux quatrième visites décennales (VD4) des réacteurs de 900 MWe du palier CPY exploités en gestion de combustible PARITÉ MOX, EDF a notamment réexaminé l'ensemble des études d'accidents⁴. À cette occasion, et conformément aux demandes de l'ASN effectuées dans le cadre des orientations associées aux VD4 900 [4], EDF a pris en compte des phénomènes physiques avérés mais non considérés jusqu'alors dans les études, et qui sont susceptibles de réduire les marges de sûreté. C'est notamment le cas de la déformation latérale des assemblages de combustible attendue en fonctionnement normal qui conduit à plusieurs effets, notamment à une augmentation de la puissance neutronique en périphérie de certains assemblages.

³ Les différents contrôles réalisés par échantillonnage lors de la fabrication du combustible MOX depuis l'évènement de 2013 permettent en effet d'observer une diminution significative de la taille des amas de plutonium. En tout état de cause, depuis l'évènement de 2017 et jusqu'à l'évènement de 2019, aucune pastille non conforme n'a été détectée. EDF estime donc que l'évènement anormal de 2019 pourrait résulter de modifications du procédé de nettoyage de certains composants de la chaîne de fabrication mises en œuvre en mars 2019.

⁴ Ces études ont fait l'objet d'une expertise de l'IRSN dont les conclusions sont présentées en référence [5].

Le réacteur n°1 du CNPE du Tricastin, exploité en gestion de combustible PARITE MOX, est le premier réacteur de 900 MWe qui effectue sa VD4. Sa divergence est actuellement prévue fin novembre 2019. Son cœur est susceptible de contenir des assemblages de combustible affectés par l'anomalie de fabrication déclarée en mai 2019.

Dans ce contexte, par courrier cité en référence [6], l'ASN a demandé à EDF « *d'analyser les conséquences de l'anomalie de fabrication [de 2019] en prenant en compte les déformations latérales des assemblages de combustible sur le risque de fusion du combustible* », cette analyse constituant pour l'ASN un « *préalable au redémarrage du réacteur* » n°1 du CNPE du Tricastin.

Ainsi, par lettre citée en référence [1], l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur l'analyse d'EDF concernant :

- la pertinence et la suffisance des transitoires étudiés par EDF pour justifier l'absence d'effets du cumul de l'anomalie de fabrication et de la déformation latérale des assemblages en partie courante ;
- la cohérence des hypothèses retenues pour ces transitoires avec le référentiel VD4 900 en application sur le réacteur n°1 de la centrale de Tricastin ;
- la validité des résultats de l'analyse d'EDF et notamment la modélisation des amas de plutonium retenue pour s'assurer du respect des critères de sûreté pour des transitoires de catégorie 2.

Les extrémités basse et haute des assemblages de combustible étant fixes, elles ne sont pas affectées par la déformation latérale des assemblages. L'expertise de l'efficacité des mesures compensatoires qu'EDF s'est engagé à mettre en œuvre, visant à dégager des marges vis-à-vis du risque de fusion du combustible en bas et en haut de la colonne fissile fera l'objet d'un avis dédié couvrant les référentiels VD3 et VD4.

Démarche d'analyse du risque de fusion du combustible MOX

En transitoires incidentels (catégorie 2), l'intégrité des crayons de combustible doit être assurée, ce qui passe par une démonstration de l'absence de fusion du combustible au sein des pastilles. Or, le risque de fusion est amplifié par la présence de PRI. À cet égard, EDF a réalisé une analyse en deux étapes consistant :

- à déterminer la puissance linéique à fusion⁵ en considérant les caractéristiques des PRI détectés en mai 2019. Ce calcul est réalisé avec un logiciel de thermique du combustible ;
- puis à vérifier que la puissance linéique atteinte en transitoires incidentels au point chaud du cœur ne dépasse pas la puissance linéique à fusion déterminée précédemment. La puissance linéique atteinte est évaluée à l'aide d'un logiciel de neutronique.

L'IRSN n'a pas de remarque de principe à formuler concernant cette démarche d'analyse.

Caractérisation des îlots plutonifères

L'évènement anormal important déclaré par EDF en mai 2019 est consécutif au contrôle qualité effectué sur chaque lot de pastilles de combustible MOX fabriqué à l'usine MELOX d'ORANO. Il concerne la découverte dans une pastille de plusieurs îlots riches en plutonium de forme allongée pouvant présenter une taille supérieure au critère des spécifications techniques de fabrication portant sur les dimensions des PRI.

Des reconstitutions conduites selon deux méthodes distinctes, ont permis de déterminer les caractéristiques de forme et de volume de chaque îlot contenu dans la pastille non-conforme⁶. Les caractéristiques dimensionnelles obtenues avec les deux méthodes sont cohérentes.

Compte tenu des résultats similaires obtenus par les deux méthodes, l'IRSN a la raisonnable assurance que les caractéristiques des PRI de la pastille examinée ont été correctement

⁵ Il s'agit de la puissance linéique de la pastille à partir de laquelle la température maximale atteinte dans la pastille dépasse la température de fusion du combustible.

⁶ Un PRI est caractérisé par une forme, un volume et une teneur en plutonium. La forme et le volume sont estimés par reconstitution à partir d'images obtenues par des coupes de la pastille. La teneur est obtenue par une analyse spécifique de matériau classiquement effectuée en laboratoire.

estimées. De plus, EDF retient, dans son analyse de sûreté, une teneur en plutonium enveloppe, ce qui est jugé satisfaisant par l'IRSN.

Évaluation de la puissance linéique à fusion

Le logiciel d'évaluation thermique utilisé par EDF permet notamment d'évaluer les conséquences de la présence de PRI sur la température atteinte dans le combustible en milieu de colonne fissile. La présence des PRI diminue la puissance linéique à fusion du combustible.

Pour son analyse, EDF a utilisé la version la plus récente de ce logiciel bien qu'elle ne dispose pas, actuellement, d'un dossier complet d'assurance qualité, et ce contrairement à la version précédente⁷. **La démonstration de sûreté devant s'appuyer sur des outils de calculs validés, l'IRSN estime que l'utilisation de cette version du logiciel n'est pas satisfaisante dans le principe.**

Toutefois, au cours de l'expertise, EDF a présenté des comparaisons de résultats de calcul entre cette version du logiciel de thermique et d'autres logiciels de thermique validés. De ces comparaisons menées pour des calculs en partie courante de crayon, il ressort que :

- pour une pastille de combustible homogène (sans PRI), les résultats sont similaires à ceux obtenus à l'aide du logiciel de référence utilisé pour l'évaluation thermomécanique des crayons de combustible dans les études de conception ;
- pour une pastille présentant un PRI, les résultats obtenus avec la version utilisée s'avèrent légèrement plus pénalisants que ceux obtenus avec la version précédente validée.

Ces premiers éléments de validation sont rassurants quant à la capacité prédictive de la version du logiciel de thermique utilisée. De plus, EDF s'est engagé à fournir le dossier de validation de cette version du logiciel à échéance de fin 2020.

Évaluation des puissances linéiques atteintes en transitoires incidentels

EDF a analysé les transitoires de catégorie 2 les plus limitatifs en termes de puissances linéiques maximales atteintes provenant des études VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITÉ MOX qui prennent en compte l'effet neutronique de la déformation latérale des assemblages. Les transitoires considérés sont ceux dits de « capacité de puissance de catégorie 2⁸ », ainsi que l'ouverture intempestive d'une soupape secondaire et la chute intempestive d'une ou plusieurs grappes de commande.

L'IRSN n'a pas de remarque en ce qui concerne la pertinence et la suffisance des transitoires étudiés dans la mesure où ils sont bien ceux qui présentent les marges minimales au critère de fusion du combustible dans le référentiel VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITÉ MOX.

Par ailleurs, l'analyse menée par EDF considère :

- les caractéristiques réalistes des PRI (nombre, volumes, formes et teneurs en plutonium) de la pastille analysée ne respectant pas les spécifications techniques de fabrication ;
- les hypothèses de référence des études des conditions de fonctionnement de dimensionnement du référentiel VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITÉ MOX ;
- les caractéristiques neutroniques spécifiques du plan de chargement des assemblages de combustible de la campagne 37 du réacteur n°1 (TRI137) du CNPE du Tricastin ;

⁷ La dernière version est une version enrichie du logiciel dans la mesure où elle permet de définir des géométries particulières et dispose de bases de données supplémentaires. Ce besoin d'évolution du logiciel est imposé par la géométrie singulière de l'extrémité haute du crayon de combustible MOX (un ressort de maintien accommode les dilatations thermiques du combustible) qui doit être étudiée pour estimer l'effet de la remontée de flux neutronique. Dans un souci de cohérence, EDF a choisi d'utiliser la même version sur toute la hauteur du crayon.

⁸ Les études de capacité de puissance de catégorie 2 permettent de vérifier le bon dimensionnement des chaînes de protection du cœur notamment contre le risque de fusion du combustible pour les transitoires pénalisants de retrait incontrôlé d'un groupe en puissance, d'augmentation excessive de charge et de dilution homogène d'acide borique.

- l'abaissement des points de consigne de la chaîne de protection du cœur contre les surpuissances résultant de la mise en œuvre, depuis avril 2019, d'une mesure compensatoire, conformément à la lettre de l'ASN citée en référence [3].

L'étude d'EDF conclut au respect du critère d'absence de fusion du combustible pour les transitoires de catégorie 2 les plus limitatifs en référentiel VD4.

L'IRSN estime que les hypothèses retenues sont conformes au référentiel d'études VD4 900 prenant en compte la déformation des assemblages.

Compte tenu du manque de validation du logiciel d'évaluation thermique utilisé pour déterminer la puissance linéique à fusion et des caractéristiques réalistes des PRI retenues (basées sur l'analyse d'une seule pastille non-conforme), EDF a complété son analyse en cours d'expertise en considérant un PRI de volume supérieur⁹. Les puissances linéiques maximales atteintes pour le cycle TRI137 présentées par EDF sont inférieures au critère de fusion du combustible abaissé pour tenir compte du volume supérieur du PRI considéré, même si les marges sont alors significativement réduites. **L'IRSN estime que cette étude de sensibilité à la taille du PRI (caractéristiques pénalisantes retenues) permet de consolider le bilan de marge obtenu sur la base de l'expertise d'une seule pastille non-conforme.**

En conséquence, l'IRSN considère qu'EDF a apporté la démonstration du respect du critère d'absence de fusion du combustible en transitoires de catégorie 2 pour la campagne 37 du réacteur n° 1 du CNPE du Tricastin.

En tout état de cause, compte tenu de certaines hypothèses spécifiques à la campagne 37 du réacteur n° 1 du CNPE du Tricastin retenues dans la présente analyse, l'IRSN souligne qu'EDF devra présenter des analyses similaires pour les autres réacteurs qui seront exploités en référentiel VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITÉ MOX.

Conclusion

EDF a déclaré en 2019 un nouvel évènement anormal affectant la fabrication du combustible MOX, en lien avec la présence d'îlots plutonifères non conformes, malgré les actions correctives précédemment mises en place à l'usine de fabrication MELOX d'ORANO.

Bien que la version du logiciel de thermique utilisée pour évaluer la puissance linéique à fusion ne dispose pas d'un dossier d'assurance qualité complète et ne soit pas validée à ce jour, l'IRSN estime que les résultats des analyses menées par EDF ainsi que les études de sensibilité réalisées (notamment vis-à-vis de la taille de l'îlot enrichi en Pu) apportent la démonstration du respect du critère d'absence de fusion du combustible pour les transitoires de catégorie 2.

En conclusion, l'IRSN n'émet pas de réserve quant à la démonstration de sûreté apportée sur ce point par EDF en vue du redémarrage du réacteur n° 1 du CNPE du Tricastin pour son cycle 37 dans le référentiel VD4 900.

Pour le Directeur général et par délégation

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

⁹ En pratique, il s'agit d'un PRI de forme et de volume très enveloppes de ceux observés dans le cadre de la caractérisation des PRI de l'évènement de 2019.