

Fontenay-aux-Roses, le 20 janvier 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2020-00009

Objet ...	Réacteurs électronucléaires - Palier CPY - EDF - Phénomène de remontée de flux neutronique en haut et bas de colonne fissile des assemblages de combustible MOX et anomalies de fabrication du combustible MOX - Mesure compensatoire de positionnement des grappes d'arrêt et des groupes de compensation de puissance à 222 pas.
Réf(s) ...	1. Lettre ASN - CODEP-DCN-2020-001735 du 17 janvier 2020. 2. Avis IRSN/2018-00120 du 27 avril 2018. 3. Lettre ASN - CODEP-DCN-2018-025483 du 12 juillet 2018.
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 mesure compensatoire consistant en une sur-insertion des grappes d'arrêt et des groupes de compensation de puissance (GCP) à 222 pas dans certains réacteurs de 900 MWe d'EDF. Cette modification déclarée par EDF vise à limiter le flux neutronique en partie haute de la colonne fissile du combustible MOX¹ afin de restaurer des marges de sûreté dans le contexte du cumul du phénomène de remontée de flux et des anomalies de fabrication affectant le combustible MOX liées à la présence d'îlots riches en plutonium ne respectant pas les critères des spécifications techniques de fabrication.

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

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).

absorbante, liée notamment à la présence d'une cale en Zircaloy-4 à l'intérieur du crayon, en dessous de la première pastille de combustible.

Le cumul de ces anomalies pourrait mettre en cause la démonstration de l'intégrité du combustible pour certaines conditions de fonctionnement de dimensionnement 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 événement 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 des éléments mentionnés ci-dessus sur les études du rapport de sûreté. En effet, la présence d'un ressort dans le crayon, 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 en 2018 à EDF 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). Pour la remontée de flux en partie haute, EDF a déposé fin décembre 2019 une demande d'autorisation auprès de l'ASN portant sur la mise en œuvre d'une mesure compensatoire consistant en une sur-insertion des grappes d'arrêt et des groupes de compensation de puissance³ à 222 pas en fonctionnement normal. En effet, cette modification vise à réduire la puissance dans la zone de la remontée de flux neutronique en haut du cœur. Au titre de l'application d'une disposition transitoire, cette modification sera déployée à partir de fin janvier 2020 sur tous les réacteurs concernés dans l'attente de la mise en place d'une modification de conception des crayons de combustible MOX.

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 dans son usine 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 événement anormal affectant la fabrication du combustible MOX, en lien avec la présence de PRI non-conformes. Plus récemment, en décembre 2019, EDF a de nouveau informé l'ASN de la détection d'un PRI de taille supérieure à celle observée en mai 2019 et indiqué que des analyses complémentaires⁴ étaient en cours.

³ Les grappes de commande constituées de crayons d'absorbants neutroniques s'insèrent dans certains assemblages de combustible constituant le cœur du réacteur. Elles sont réparties en grappes de régulation et en grappes d'arrêt, pour former le « schéma de grappes » du réacteur. Les grappes de régulation (groupes de compensation de puissance et groupe de régulation de la température) permettent de compenser les variations rapides de réactivité liées au pilotage du réacteur lorsqu'il est en puissance et de contrôler la répartition de la puissance dans le cœur. Les grappes d'arrêt contribuent à la maîtrise de la réactivité lors des états d'arrêt et sont en position haute lorsque le réacteur est en production, pour constituer une réserve d'anti-réactivité. En cas de besoin, l'activation de l'arrêt automatique du réacteur (AAR) provoque rapidement la chute de toutes les grappes par gravité pour arrêter les réactions nucléaires en chaîne et réduire ainsi rapidement la puissance produite dans le cœur du réacteur.

⁴ Les mesures de teneur en plutonium sont prévues fin janvier 2020.

L'IRSN constate que, malgré une amélioration notable du procédé depuis l'évènement de 2013⁵, 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.

Ainsi, par lettre citée en référence [1], l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité de la modification de la position haute des groupes d'arrêt et de compensation de puissance prévue par EDF. En particulier, l'ASN souhaite savoir si :

- la mesure compensatoire en haut de colonne fissile est de nature à réduire le risque de fusion à cœur du combustible MOX en haut de colonne fissile en référentiel VD2⁶, VD3 et VD4 ;
- la mise en œuvre de la mesure compensatoire conduit à des aspects négatifs au plan de la sûreté et, le cas échéant, si les dispositions prises par EDF en regard sont satisfaisantes ;
- les modifications des règles générales d'exploitation en lien avec la demande de modification sont acceptables.

L'expertise de la suffisance 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 quant à elle l'objet d'un avis dédié couvrant les référentiels VD2, VD3 et VD4 et intégrant la présence de PRI non-conformes provenant des aléas de fabrication du combustible MOX rencontrés à l'usine MELOX.

Mesure compensatoire de sur-insertion des grappes d'arrêt et des groupes de compensation de puissance

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. Le risque de fusion est directement dépendant de la puissance linéique atteinte dans le combustible. Or, d'une part, le phénomène de remontée de flux en haut de colonne fissile augmente sensiblement la puissance linéique locale atteinte en haut du cœur dans les assemblages MOX en fonctionnement normal et lors de transitoires de catégorie 2, d'autre part la présence de PRI non-conformes réduit significativement la puissance linéique à fusion⁷.

Afin de réduire le risque de fusion à cœur du combustible MOX en haut de colonne fissile en cas de transitoire incidentel, EDF a donc décidé de mettre en œuvre une mesure compensatoire consistant à modifier la position des grappes d'arrêt et des groupes de compensation de puissance en fonctionnement normal, prescrite dans les spécifications techniques d'exploitation (STE), à 222 pas au lieu de 225 ou 228 pas⁸. Selon EDF, cette légère sur-insertion des grappes :

- permet de réduire le risque de fusion en partie haute de la colonne fissile du combustible MOX ;
- ne présente par ailleurs aucun impact significatif sur la démonstration de sûreté, ni sur la représentativité des essais physiques⁹ réalisés au titre du chapitre X des Règles générales d'exploitation (RGE). Toutefois, une légère sur-insertion des grappes d'arrêt et des groupes

⁵ 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.

⁶ Il s'agit de l'état des réacteurs par rapport à la dernière visite décennale qu'ils ont passé. VD2 signifie qu'ils ont passé leur 2^{ème} visite décennale.

⁷ 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.

⁸ Conformément à sa stratégie de maintenance des grappes de commande, EDF alterne en fonctionnement normal la limite à laquelle les grappes d'arrêt et les groupes de compensation de puissance sont extraits (225 ou 228 pas extraits). Cette limite d'extraction est maintenue tout au long d'un cycle et modifiée après un ou deux cycles. Cette alternance vise à limiter l'usure locale des crayons des grappes au niveau des contacts avec les cartes de guidage. De plus, depuis 2004, les crayons de grappes présentent un revêtement anti-usure sur la zone susceptible de subir du frottement.

⁹ EDF réalise des essais physiques au redémarrage et en cours de cycle qui ont notamment pour objectif de vérifier la conformité du cœur et de calibrer l'instrumentation nucléaire.

de compensation de puissance conduit à diminuer, très faiblement, l'efficacité de l'arrêt automatique du réacteur. Dès lors, pour les prochains redémarrages des réacteurs qui mettront en œuvre cette mesure, EDF appliquera des pénalités lors de l'évaluation de la sûreté de ces recharges de combustible pour les paramètres clés dépendant de l'efficacité de l'arrêt automatique du réacteur¹⁰ et intégrera la modification de la position des grappes d'arrêt et des groupes de compensation de puissance dans les documents d'exploitation. Par ailleurs, pour les cycles en cours, le dossier spécifique d'évaluation de la sûreté de la recharge ainsi que les documents d'exploitation seront mis à jour préalablement à la mise en œuvre de cette mesure selon le planning présenté ci-dessous.

L'IRSN n'a pas de remarque de principe à formuler concernant cette mesure compensatoire ni sur les modifications documentaires associées. En effet, une sur-insertion des grappes d'arrêt et des groupes de compensation de puissance réduit la puissance en haut de colonne fissile, pour tous les assemblages du cœur, qu'ils hébergent une grappe ou non. De plus, les dispositions prises par EDF pour tenir compte de la diminution de l'efficacité de l'arrêt automatique du réacteur sont satisfaisantes puisqu'EDF s'est assuré, d'une part, du conservatisme des pénalités appliquées¹¹ et, d'autre part, qu'en appliquant ces pénalités, les valeurs limites des paramètres clés pour les cycles en cours d'exploitation au 20 novembre 2019 restent vérifiées.

Par ailleurs, au cours de l'expertise, EDF a apporté des éléments justificatifs permettant de démontrer que l'intégrité des grappes et le programme de maintenance de celles-ci n'étaient pas affectés par cette mesure compensatoire. En effet :

- le comportement à l'usure des crayons de grappes au niveau des cartes de guidage est identique pour une insertion à 222, 225 ou 228 pas compte tenu de la présence du revêtement anti-usure au niveau des zones de contact ;
- la suppression de l'alternance entre une position haute (228 pas) et basse (225 pas) conduit à concentrer l'usure au lieu de la répartir sur deux zones. Toutefois, le retour d'expérience actuel montre que les cinétiques d'usure dans ces zones sont très faibles depuis l'introduction du traitement anti-usure ;
- la périodicité des examens non destructifs prescrits par la stratégie de maintenance des grappes de commande, fixée à 4 cycles, permet de s'assurer de l'intégrité des crayons de grappes.

L'IRSN estime donc que la mesure compensatoire n'est pas de nature à mettre en cause l'intégrité des grappes.

Planning de mise en œuvre

Le planning de mise en œuvre de cette mesure prévu par EDF est le suivant :

- à partir du 31 janvier 2020 pour le réacteur tête de série¹², et au plus tard le 29 février 2020 pour les réacteurs atteignant 50 % d'avancement dans le cycle avant cette date ;
- au plus tard à 50 % d'avancement dans le cycle pour les autres réacteurs ;
- dès le redémarrage pour les réacteurs démarrant après le 1^{er} mars 2020.

L'IRSN n'a pas de remarque à formuler concernant le planning de déploiement prévu par EDF. En effet, c'est pendant la fin du cycle d'exploitation des réacteurs concernés que le risque de fusion du combustible en haut de colonne fissile est limitatif dans certains transitoires de catégorie 2. Une mise en œuvre de la mesure compensatoire à partir du milieu du cycle est donc satisfaisante.

¹⁰ Des vérifications sont menées avant tout nouveau cycle pour confirmer la sûreté de la recharge. La démarche consiste à vérifier que, pour chaque nouveau cycle, un certain nombre de paramètres neutroniques dits paramètres clés, respecte les valeurs limites établies dans les études d'accident du rapport de sûreté.

¹¹ En pratique, EDF a considéré un nombre conséquent de cycles théoriques et d'exploitation récents et retenu les impacts maximaux observés pour définir les pénalités à appliquer notamment sur l'efficacité intégrale de l'arrêt automatique du réacteur et la marge d'arrêt.

¹² La Tête de série est le réacteur n° 6 du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Gravelines.

Conclusion

Depuis 2017, EDF a déclaré plusieurs anomalies affectant la fabrication du combustible MOX, notamment en lien avec la présence d'îlots plutonifères non conformes et concernant l'absence de prise en compte du phénomène de remontée de flux neutronique en partie basse et haute de la colonne fissile des crayons de combustible MOX dans la démonstration de sûreté.

Dans ce contexte, EDF a mis en œuvre une mesure compensatoire pour la remontée de flux en partie basse et prévoit de mettre en œuvre une autre mesure compensatoire pour la partie haute de la colonne fissile. Cette mesure consiste à sur-insérer de quelques pas les grappes d'arrêt et les groupes de compensation de puissance en fonctionnement normal pour tous les réacteurs exploités en gestion de combustible PARITÉ MOX.

L'IRSN n'émet pas de réserve quant à la mise en œuvre de cette mesure compensatoire dans la mesure où elle permet de réduire le risque de fusion à cœur du combustible MOX en haut de colonne fissile en cas de transitoires incidentels. Par ailleurs, les modifications des règles générales d'exploitation prévues par EDF et les dispositions prises pour prendre en compte la diminution de l'efficacité de l'arrêt automatique du réacteur sont satisfaisantes.

Toutefois, la suffisance de cette mesure compensatoire, ainsi que l'efficacité de celle prévue par EDF pour la partie basse de la colonne fissile des crayons MOX, feront l'objet d'une analyse ultérieure. À cet égard, l'IRSN souligne qu'une démonstration de sûreté générique couvrant les référentiels VD2, VD3 et VD4 et retenant la présence d'amas plutonifères non-conformes avec des caractéristiques enveloppes tant en volume qu'en teneur est attendue au plus tôt.

Pour le Directeur général et par délégation

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté