



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 10 décembre 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2021-00201

Objet : Réacteurs électronucléaires 1300 MWe - CNPE de Saint-Alban
Modifications soumises à autorisation : introduction anticipée de huit grappes fixes absorbantes en hafnium et modification des paramètres du système de protection intégré numérique (SPIN) dans le réacteur n° 2 du CNPE de Saint-Alban – Campagne 26.

Réf. : [1] Saisine ASN - CODEP-DCN-2021-016626 du 2 avril 2021.
[2] Avis IRSN N° 2017-00162 du 15 mai 2017.
[3] Avis IRSN N° 2019-00042 du 1^{er} 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 l'acceptabilité, au plan de la sûreté, des éléments apportés par EDF portant sur l'introduction, à titre d'expérimentation, de huit grappes fixes absorbantes en hafnium dans le réacteur n° 2 du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Saint-Alban pour la campagne 26.

Contexte

Lors de l'exploitation d'un réacteur à eau sous pression, la cuve est irradiée par un flux de neutrons provenant du cœur. Au cours du temps, les interactions entre les neutrons et les atomes de l'acier de la cuve conduisent à modifier ses propriétés mécaniques et à la rendre moins résiliente vis-à-vis des sollicitations thermomécaniques rencontrées en conditions de fonctionnement normal, incidentel ou accidentel. Par conséquent, il est observé une diminution progressive des propriétés mécaniques de la cuve avec l'augmentation de la fluence neutronique reçue¹.

Pour poursuivre l'exploitation des réacteurs du palier 1300 MWe au-delà de 40 ans, EDF a décidé de mettre œuvre une modification visant à réduire le flux neutronique reçu par la cuve afin de limiter son vieillissement (caractérisé par l'augmentation de la fluence neutronique reçue). Il s'agit de l'introduction de grappes fixes absorbantes de conception Westinghouse constituées de 16 barreaux en hafnium² (dites « grappes hafnium »)

¹ La fluence représente la quantité totale de neutrons reçue par unité de surface.

² L'hafnium est un élément dont le noyau présente une forte capacité d'absorption de neutrons, et ce pour la plupart de ses isotopes.

MEMBRE DE
ETSON

dans huit assemblages de combustible positionnés en périphérie du cœur, aux extrémités des axes diagonaux face aux secteurs de la cuve les plus exposés au flux de neutrons (points chauds de la cuve³).

Cette solution matérielle est identique à celle retenue sur le palier 900 MWe. La mise en œuvre de grappes fixes absorbantes sur le palier 900 MWe a connu une phase d'expérimentation (entre 2017 et 2020) sur le réacteur n° 3 du CNPE du Tricastin exploité en gestion PARITÉ-MOX à l'état technique VD3 (objet de l'avis de l'IRSN en référence [2]) avant la phase de généralisation lors des quatrièmes visites décennales des réacteurs du palier 900 MWe (dès 2019 sur le réacteur n° 1 du CNPE du Tricastin) qui a fait l'objet de l'avis de l'IRSN en référence [3]. Afin d'acquiescer des éléments destinés à faciliter le déploiement industriel et de confirmer la performance du produit, EDF souhaite reconduire cette stratégie sur le palier 1300 MWe en procédant à l'introduction anticipée de grappes hafnium à l'occasion de la 26^{ème} campagne d'irradiation du réacteur n° 2 du CNPE de Saint-Alban (campagne SA226) exploité en gestion de combustible GEMMES à l'état technique VD3.

Le dossier de demande d'autorisation d'EDF traite les volets concernant la conception du produit « grappe hafnium », la démonstration de sûreté, la chimie et la radiochimie du circuit primaire, l'aval du cycle (c'est-à-dire l'impact sur la gestion des déchets radioactifs et le retraitement des grappes usagées), le programme de surveillance des grappes et les règles générales d'exploitation (RGE) du réacteur. De plus, un volet spécifique de la démonstration de sûreté concerne la modification de certains paramètres du système de protection intégré numérique (SPIN)⁴ afin de tenir compte de la présence de grappes à proximité de l'instrumentation neutronique externe au cœur (« ex-core »), en particulier des chaînes nucléaires de niveau de puissance (CNP).

L'ASN souhaite en particulier connaître l'avis de l'IRSN sur les questions suivantes, mentionnées dans la saisine en référence [1] :

- « [concernant] *la connaissance du produit « grappe Hafnium » : la conception et le programme de surveillance proposés par EDF sont-ils suffisants pour accepter l'introduction de grappes hafnium à titre expérimental sur Saint-Alban 2 ? Le REX de l'introduction de grappes Hafnium dans les réacteurs du palier 900 MWe a-t-il mis en évidence des éléments nouveaux par rapport au REX international évoqué dans l'avis [portant sur l'expérimentation sur le réacteur n° 3 du CNPE de Tricastin [2]] ?*
- *la démonstration de sûreté en présence de grappes hafnium pour un cycle d'irradiation est-elle assurée (applicabilité du référentiel GEMMES à l'état VD3 en présence de grappes hafnium) ?*
- *le programme d'essais complémentaires proposé par EDF au titre du chapitre X des RGE est-il suffisant ?*
- *l'utilisation de grappes hafnium pose-t-elle des problèmes vis-à-vis de la radioprotection des travailleurs ? de l'aval du cycle ? de la chimie et radiochimie du primaire ?*
- *les modifications des paramètres de la matrice Lambda du SPIN proposées par EDF permettent-elles de traiter l'ensemble des conséquences de la perturbation du signal mesuré par les CNP induite par la mise en œuvre des grappes en hafnium ?*
- *ces modifications remettent-elles en cause la capacité du SPIN à assurer sa fonction dans l'ensemble des scénarios et configurations étudiés dans le rapport de sûreté ? ».*

³ Le flux neutronique qui irradie la cuve n'est pas homogène autour de la cuve. La zone de la cuve la plus exposée par le flux neutronique est appelée « point chaud ». Ce point chaud n'est pas situé au même endroit selon le type de réacteurs en raison des différentes conceptions du cœur et des composants à l'intérieur de la cuve.

⁴ Le SPIN regroupe, pour les réacteurs des paliers 1300 et 1450 MWe, l'ensemble des équipements et algorithmes qui, à partir des informations fournies par l'instrumentation, élaborent des ordres vers les systèmes (ou actionneurs) de protection.

Dans la suite de l'avis, l'IRSN présente les conclusions de son expertise sur les points suivants :

- la conception et le comportement des grappes hafnium ;
- la chimie, la radiochimie et la radioprotection ;
- l'aval du cycle ;
- la démonstration de sûreté ;
- les règles générales d'exploitation.

1. CONCEPTION ET COMPORTEMENT DES GRAPPES HAFNIUM

Les grappes hafnium qui seront introduites sur le palier 1300 MWe sont de conception Westinghouse, similaire à celle des grappes en cours de déploiement dans les réacteurs du palier 900 MWe. Elles sont constituées de 16 crayons longs absorbants et de 8 crayons courts inertes en acier inoxydable.

La démarche de justification de la conception de ces grappes est identique à celle qui a été utilisée pour le dossier idoine du palier 900 MWe et les hypothèses retenues par EDF couvrent la durée d'exploitation en cœur, à savoir environ 20 ans. **À ce titre, la démonstration du respect des exigences et des critères de conception des grappes hafnium n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.** De plus, le retour d'expérience satisfaisant des premières campagnes d'irradiation sur le réacteur n° 3 du CNPE du Tricastin conforte celui de plusieurs années d'exploitation dans des réacteurs américains. Enfin, le programme de surveillance prévu par EDF comporte des examens télévisuels de la structure des grappes ainsi qu'un suivi de la chimie et de la radiochimie du circuit primaire. **L'IRSN considère que ce programme de surveillance est suffisant pour s'assurer du bon comportement de ces grappes en cœur à l'issue de la campagne SA226.**

2. CHIMIE, RADIOCHIMIE ET RADIOPROTECTION

L'introduction des grappes hafnium dans les réacteurs nécessite d'analyser l'impact des produits éventuellement relâchés par la corrosion de l'hafnium sur la chimie et la radiochimie du circuit primaire et de ses circuits auxiliaires. En outre, le risque en termes de radioprotection du personnel doit également être étudié. Ces analyses, menées dans le cadre de la mise en œuvre des grappes hafnium sur le palier 900 MWe, n'avaient pas fait l'objet de réserves particulières de la part de l'IRSN.

Dans le cadre de l'expérimentation prévue sur le palier 1300 MWe, l'impact sur la radioprotection est couvert par les dispositions déjà existantes pour la gestion actuelle des autres grappes. **Sur ce point, l'IRSN n'a pas de remarque.**

Concernant l'impact sur la chimie et la radiochimie, EDF montre que l'hafnium présente une excellente passivité dans le fluide primaire, qui se traduit par la formation d'une faible épaisseur d'oxyde d'hafnium en surface des grappes. En outre, les éléments techniques transmis par EDF démontrent que le risque de desquamation et de relâchement des couches d'oxydes formées en surface des grappes hafnium reste négligeable pendant plusieurs campagnes de fonctionnement. Enfin, le retour d'expérience d'utilisation des grappes hafnium, notamment aux États-Unis dans les réacteurs n° 1 de Beaver Valley et n° 3 d'Indian Point ainsi qu'en France dans le réacteur n° 3 du CNPE de Tricastin, permet de considérer qu'un relâchement notable d'oxyde d'hafnium dans le circuit primaire est improbable au cours de la campagne SA226. **En conséquence, l'IRSN estime que l'étude de l'impact des grappes hafnium sur la radiochimie et le suivi en exploitation de l'activité de l'hafnium envisagé par EDF, conformément aux spécifications radiochimiques, sont acceptables dans le cadre de l'expérimentation prévue.**

3. AVAL DU CYCLE

EDF a réalisé une étude d'impact de la présence des grappes hafnium sur le volume de déchets issus du circuit primaire, notamment les résines échangeuses d'ions et les filtres d'épuration, pour une seule campagne d'irradiation (SA226).

Compte tenu de l'insolubilité de l'hafnium dans le fluide primaire, EDF indique qu'il n'y aura pas d'impact sur les volumes de résines échangeuses d'ions consommées. **Ce point n'appelle pas de remarque de part de l'IRSN.**

Concernant les filtres d'épuration, EDF a étudié l'impact d'un potentiel relâchement d'oxyde d'hafnium sur la consommation de ces filtres et leur acceptabilité⁵ en tant que déchets au centre de stockage de l'Aube. À cet effet, EDF démontre que, à l'issue de la campagne SA226, il n'est pas attendu de relâchement notable d'oxyde d'hafnium, et donc, pas d'impact sur la consommation de filtres ainsi que sur leur inventaire radiologique. **L'IRSN estime cette analyse acceptable.**

À l'issue de la campagne SA226, les grappes en hafnium devront être traitées comme des grappes de commande usées. À cet égard, l'acceptation des grappes hafnium dans l'installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activés n'est pas susceptible d'être mise en cause, compte tenu du faible nombre de crayons concernés, de leur caractéristique, du temps d'irradiation limité et de la stratégie de gestion envisagée. **Par conséquent, l'IRSN estime que l'utilisation de grappes hafnium à l'occasion de la campagne SA226 ne présenterait pas de difficultés particulières pour la filière de gestion des grappes usées.** Toutefois, l'IRSN souligne que, à date, la stratégie de découpe et de conditionnement des grappes hafnium n'est pas clairement définie ; elle sera le cas échéant questionnée dans le cadre de la généralisation de l'utilisation de ces grappes sur le palier 1300 MWe.

4. DÉMONSTRATION DE SÛRETÉ

La présence de grappes hafnium a un effet potentiel sur la répartition de la puissance dans le cœur. En effet, l'hafnium étant un absorbant neutronique, les assemblages en périphérie du cœur qui accueilleront ces grappes auront une puissance neutronique fortement diminuée alors que la puissance au centre du cœur augmentera légèrement.

Toutefois, compte tenu du faible nombre d'assemblages accueillant les grappes hafnium, il n'est pas attendu de cette modification un effet significatif sur la distribution de puissance du cœur.

Concernant l'applicabilité du référentiel de sûreté GEMMES à l'état VD3, EDF a apporté des éléments permettant de justifier, d'une part l'applicabilité des conclusions des études d'accident du rapport de sûreté pour la campagne 26 du CNPE de Saint-Alban, et d'autre part l'applicabilité des limites de fonctionnement figurant dans les spécifications techniques d'exploitation vis-à-vis du risque de rupture de gaine par interaction entre la pastille et la gaine. **L'IRSN estime que cette démonstration est acceptable.**

En outre, la présence des grappes hafnium en périphérie du cœur peut avoir un effet sur les instrumentations neutroniques, externe (*ex-core*) et interne (*in-core*), permettant de surveiller l'évolution de la distribution de puissance et de vérifier certains paramètres de sûreté.

⁵ Par rapport au spectre radiologique.

Concernant l'instrumentation externe au cœur, EDF a apporté une correction standard⁶ dans le contrôle commande pour tenir compte de la baisse de signal au niveau des détecteurs les plus affectés que sont les chaînes nucléaires de niveau de puissance. **L'IRSN estime cette modification acceptable.**

Par ailleurs, sur la base du retour d'expérience issu du palier 900 MWe, l'IRSN estime que la présence des grappes hafnium en périphérie du cœur ne met pas en cause le fonctionnement de l'instrumentation neutronique *in-core*, notamment les chambres RIC⁷.

La présence des grappes hafnium a également conduit EDF à modifier certains paramètres du SPIN, notamment ceux qui dépendent du flux neutronique reçu par les CNP. Pour la campagne SA226, EDF a optimisé les paramètres Lambda⁸ du SPIN afin d'assurer le conservatisme de la valeur historique de l'incertitude associée au déséquilibre axial de puissance pour toutes les configurations de cœur. **Sur ce point, l'IRSN ne formule de remarque sur les résultats présentés par EDF.**

De plus, concernant l'impact des grappes hafnium sur la représentativité⁹ des CNP pour les chaînes de protection, EDF a fait évoluer la valeur de l'incertitude considérée dans le dimensionnement des seuils des chaînes de 5 % Pn à 10 % Pn afin de couvrir l'augmentation de la perte de représentativité pour certaines configurations du cœur avec grappes insérées. Cette évolution ne résulte pas uniquement de l'introduction des grappes hafnium, mais également de l'absence de prise en compte de certaines configurations de cœur pénalisantes dans les études du référentiel de sûreté qui a fait l'objet d'un événement significatif pour la sûreté déclaré par EDF en juin 2021 et qui concerne l'ensemble des réacteurs du palier 1300 MWe. **À ce titre, l'IRSN ne formule pas de remarque sur ce point.**

En conséquence, l'IRSN estime acceptables les modifications de certains paramètres du SPIN prévues par EDF, pour la campagne SA226, afin de tenir compte de l'effet des grappes hafnium sur les signaux mesurés par les chaînes nucléaires de niveau de puissance.

5. RÈGLES GÉNÉRALES D'EXPLOITATION

La présence de grappes hafnium en périphérie du cœur modifie son comportement neutronique, en particulier la distribution de puissance en périphérie.

Dès lors, au cours de la campagne SA226, EDF prévoit notamment de réaliser des essais physiques complémentaires au programme d'essais standard au titre du chapitre X des RGE. **Ce programme d'essais particuliers, cohérent avec celui mis en œuvre lors de la première campagne de l'expérimentation sur le palier 900 MWe, est jugé satisfaisant par l'IRSN.** Toutefois, dans la mesure où ces essais particuliers ne seront pas réalisés pour les campagnes suivantes de Saint-Alban 2 et ce jusqu'à la TTS RP4 1300¹⁰, l'IRSN souligne qu'il conviendra qu'EDF révise le cas échéant sa stratégie à la lumière des résultats d'essais¹¹.

⁶ Il s'agit de la calibration de certains coefficients qui se fait régulièrement pour tous les réacteurs, et la présence des grappes fixes en hafnium ne requiert pas que les procédures associées soient modifiées.

⁷ Ce système d'instrumentation interne du cœur sert à réaliser les cartes de flux du cœur, utilisées pour calibrer la reconstruction de la distribution de puissance par l'instrumentation « ex-core » et vérifier certains paramètres de sûreté.

⁸ Il s'agit des paramètres λ de la matrice « COR », dont l'objet est de pondérer le flux vu par les CNP selon les positions des grappes, afin de rester représentatif de l'ensemble du cœur pour les paramètres surveillés par le SPIN.

⁹ La représentativité désigne la capacité des CNP (situées hors du cœur) à évaluer, par leurs mesures, les paramètres physiques caractéristiques du cœur.

¹⁰ EDF prévoit de réaliser les mêmes essais physiques complémentaires que ceux prévus pour SA226 au cours des premières campagnes de la TTS RP4 1300.

¹¹ Les essais physiques particuliers réalisés dans le cadre de l'expérimentation sur le palier 900 MWe ont été satisfaisants.

6. CONCLUSION

En conclusion, compte tenu des analyses de sûreté d'EDF fournies dans le dossier support à la demande d'autorisation et des éléments transmis au cours de l'expertise, l'IRSN estime :

- suffisants les éléments relatifs à la conception des grappes hafnium et au programme de surveillance prévu ;
- acceptable l'utilisation de grappes hafnium vis-à-vis de la radioprotection des travailleurs, de la chimie, de la radiochimie du circuit primaire et de la filière actuelle de gestion des déchets radioactifs ;
- assurée la démonstration de sûreté en présence de grappes hafnium et applicable le référentiel de la gestion de combustible GEMMES à l'état technique VD3 en présence de grappes hafnium ;
- suffisant le programme d'essais physiques complémentaires prévu par EDF au titre du chapitre X des RGE pour s'assurer du bon comportement du cœur lors de la première campagne d'expérimentation des grappes hafnium ;
- acceptables les modifications des paramètres Lambda du SPIN dans la mesure où elles permettent de tenir compte de l'effet des grappes hafnium sur les signaux mesurés par les chaînes nucléaires de niveau de puissance.

En conséquence, l'IRSN estime que l'introduction de huit grappes fixes absorbantes en hafnium dans le réacteur n° 2 du CNPE de Saint-Alban pour la campagne 26 est acceptable aux plans de la sûreté, de la radioprotection et de la protection de l'environnement.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté