

Fontenay-aux-Roses, le 15 mai 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00162

Objet : REP - EDF - Demande d'autorisation de la modification « Mise en œuvre anticipée de grappes hafnium » - Palier CPY - État technique « VD3 » - Modification « Mise en œuvre anticipée de grappes hafnium »

Réf. 1. Lettre ASN - CODEP-DCN-2016-036948 du 8 novembre 2016
2. Avis IRSN - DSR N° 2009-254 du 31 juillet 2009

Conformément à la lettre de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en première référence, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné les éléments transmis par EDF portant sur l'introduction, à titre d'expérimentation, de douze grappes fixes absorbantes en hafnium dans le cœur du réacteur n° 3 de la centrale du Tricastin pour la campagne 35.

Contexte

Lors de l'exploitation d'un réacteur à eau pressurisée, la cuve est irradiée par un flux de neutrons provenant du cœur. Au cours du temps, les collisions entre les neutrons et les atomes de l'acier de la cuve conduisent à modifier ses propriétés mécaniques et à la rendre moins résiliente en cas de choc thermique pouvant survenir au cours des transitoires d'exploitation ou accidentels.

Pour poursuivre l'exploitation des réacteurs du palier 900 MWe au-delà de la quatrième visite décennale (VD4 900), EDF a décidé de mettre en place un moyen supplémentaire de réduction du flux neutronique reçu par la cuve pour limiter son vieillissement. EDF prévoit, à partir de la VD4 900 et dans la continuité des plans de chargement à faible fluence¹, la mise en œuvre d'une solution matérielle qui concerne tous les réacteurs du palier 900 MWe. Il s'agit de l'introduction de grappes absorbantes fixes de conception Westinghouse constituées de 24 barreaux en hafnium, dans les 12 assemblages combustibles positionnés en périphérie du cœur, aux extrémités des axes médians face aux secteurs de la cuve les plus exposés au flux de neutrons.

*

Afin d'acquiescer des éléments destinés à faciliter le déploiement industriel et de confirmer la performance du produit, EDF souhaite procéder à l'introduction anticipée de grappes hafnium à

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 8 440 546 018

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

l'occasion de la 35^{ème} campagne d'irradiation du réacteur n°3 de la centrale du Tricastin exploité en gestion de combustible PARITE MOX et qui est à l'état technique VD3.

Le dossier de déclaration d'EDF inclut notamment des volets concernant le produit grappe hafnium, la démonstration de sûreté, la chimie et la radiochimie du circuit primaire, la radioprotection, l'aval du cycle (c'est-à-dire le retraitement des grappes usagées), le programme de surveillance de la fluence de la cuve et les règles générales d'exploitation du réacteur. La présente analyse de l'IRSN porte, conformément à la demande de modification d'EDF et à la demande de l'ASN [1], sur l'expérimentation pour un cycle.

L'ASN souhaite connaître en particulier l'avis de l'IRSN sur les points suivants [1] :

- « la connaissance du produit « grappe hafnium », l'analyse du REX international et le programme de surveillance proposé par EDF sont-ils suffisants pour accepter l'introduction de grappes hafnium à titre expérimental sur Tricastin 3 ?
- la démonstration de sûreté en présence de grappes hafnium pour un cycle d'irradiation est-elle assurée (applicabilité du référentiel PARITE MOX 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 ?
- la modification déclarée par EDF pour la campagne 35 de la tranche n°3 du CNPE pour un cycle d'irradiation est-elle acceptable ?
- le système de dosimétrie hors cuve prévu pour mesurer la performance des grappes vis-à-vis de la réduction de la fluence permettra-t-il de vérifier l'impact de cette modification ? ».

Conception et comportement des grappes hafnium

Les grappes absorbantes en hafnium sont constituées d'un système de maintien qui repose sur la plaque adaptatrice de l'embout supérieur de l'assemblage combustible et de 24 crayons longs absorbants dont la partie inférieure est en hafnium.

La démonstration du bon comportement mécanique des grappes hafnium apportée par EDF couvre, pour certains aspects, une irradiation pendant une période de 15 ans et n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. L'IRSN note que la démonstration considère que les grappes hafnium sont accueillies dans des assemblages de conception RFA 900 ZIRLO. Le retour d'expérience présenté par Westinghouse, qui couvre une exploitation de plusieurs années dans deux réacteurs américains (Indian Point 3 et Beaver Valley 1), apporte la raisonnable assurance que l'introduction des grappes hafnium en réacteur EDF sera sans incidence sur l'exploitation d'accueil, *a minima* sur la campagne concernée.

Le programme de surveillance d'EDF prévoit de réaliser un suivi en exploitation de la chimie du primaire (pour détecter toute contamination due à un comportement inattendu des grappes), une surveillance de la contamination surfacique des circuits et des examens télévisuels sur plusieurs grappes après irradiation pour constater d'éventuelles anomalies. De plus, une éventuelle desquamation des crayons sera surveillée. L'IRSN estime que ce programme de surveillance est suffisant dans le cadre de l'expérimentation prévue.

Démonstration de sûreté

La présence de grappes hafnium a un effet sur la répartition de la puissance dans le cœur. En effet, le 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.

*

Afin de démontrer la sûreté d'exploitation avec l'irradiation des grappes hafnium en cœur, EDF s'appuie sur la méthodologie actuellement mise en œuvre pour démontrer la sûreté des recharges des différentes gestions de combustible. Celle-ci consiste en une vérification du respect d'un certain nombre de données, notamment neutroniques, dénommées « paramètres clés ». Cette vérification, qui permet de montrer que les conclusions des études du rapport de sûreté restent applicables à chaque nouvelle campagne après arrêt pour rechargement du combustible, est systématiquement réalisée avant chaque campagne d'irradiation sur la base des conditions d'exploitation du réacteur avant son démarrage. EDF s'est tout d'abord assuré qu'il n'était pas nécessaire en cas d'introduction de grappes hafnium de procéder à des vérifications supplémentaires par rapport à ce que la méthodologie en vigueur prescrit en gestion PARITE MOX. L'IRSN estime que les justifications apportées par EDF confirment que les vérifications prescrites sont suffisantes pour démontrer la sûreté de la campagne de Tricastin 335. De plus, les calculs réalisés par EDF montrent le respect des paramètres clés pour le plan de chargement prévisionnel du cœur pour la campagne 35 de Tricastin 3. L'IRSN n'a donc pas de remarque à formuler sur la démonstration de sûreté présentée par EDF.

*

Par ailleurs, le risque de rupture de gaine par interaction entre la pastille et la gaine (IPG) en transitoires de 2^{ème} catégorie est à considérer dès lors que, au cours de l'irradiation, le contact entre la pastille et la gaine du crayon de combustible est établi (jeu fermé). Ce risque impose à EDF de fixer des limites relatives à l'exploitation en termes de durées passées en Fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire (FPPI). Le risque IPG dépend de l'état initial thermomécanique de chaque crayon et du niveau de puissance pendant un éventuel transitoire de 2^{ème} catégorie du domaine de dimensionnement. Ce risque est étroitement lié à la distribution de puissance dans le cœur au cours d'un transitoire incidentel et à l'historique de puissance des crayons de combustible depuis leur introduction dans le cœur. Ce phénomène local dépend de la variabilité des recharges² en combustible mises en œuvre en exploitation, ce qui a amené EDF à définir de nouvelles Spécifications techniques d'exploitation (STE) « IPG » afin de réduire les durées de FPPI autorisées. En ce qui concerne le plan de chargement de Tricastin 335 avec grappes hafnium, EDF a démontré que celui-ci est significativement moins pénalisant que les cycles variables qui conduisent à la définition des nouvelles STE « IPG ». L'IRSN estime que ce résultat est acceptable et que le risque de rupture de gaine par IPG en transitoires de catégorie 2 pour la campagne Tricastin 335 est couvert sous réserve de la mise en œuvre, telle que prévue par EDF, des STE « IPG » relatives à la variabilité des recharges.

*

La présence des grappes hafnium en périphérie du cœur a pour but de réduire les fuites neutroniques. Or, ces fuites, représentatives de la puissance neutronique du cœur, sont mesurées et permettent de surveiller l'évolution de la distribution de puissance dans le cœur par l'instrumentation neutronique externe du cœur (dite « excore ») : les chaînes niveau source (CNS), les chaînes niveau intermédiaire (CNI) et les chaînes niveau puissance (CNP). Les CNS et CNI sont particulièrement concernées car elles sont situées en regard d'assemblages dans lesquels les grappes hafnium seront introduites. EDF a donc évalué la réduction du flux neutronique reçu par l'instrumentation et son impact sur les aspects de la démonstration de sûreté relatifs à son utilisation. En particulier, EDF a démontré :

² Une recharge est qualifiée de variable dès lors que l'inventaire en assemblages de combustible du cœur, le positionnement des assemblages dans le cœur ou la durée de campagne s'écartent notablement des cycles de la gestion prévisionnelle pris en compte dans les études de sûreté.

- la disponibilité des CNS pendant les opérations de renouvellement du combustible ;
- l'efficacité de la surveillance par les CNS comme deuxième ligne de défense pour l'accident de dilution homogène en API/APR³ lorsque l'ensemble des assemblages combustibles est présent dans la cuve ;
- l'efficacité de la protection des CNS (Arrêt automatique du réacteur (AAR) par « haut flux neutronique niveau source ») au cours d'un accident de dilution en état d'arrêt normal ;
- que l'application de la Fiche d'amendement (FA) à la Règle des essais physiques à puissance nulle au redémarrage après rechargement (REPR), qui vise à supprimer la mise à jour de l'alarme « flux élevé à l'arrêt » pour les six premières séquences de rechargement du combustible, est possible avec des grappes hafnium ;
- la suffisance d'abaisser les seuils de verrouillage à l'extraction des grappes (C1) et d'AAR sur les CNI de 34 % au cours des essais physiques à puissance nulle réalisés immédiatement après la divergence du réacteur. Sur ce point, EDF a indiqué au cours de l'instruction qu'une modification de la REPR à puissance nulle sera réalisée pour clarifier la procédure de calibrage spécifique qui sera mise en œuvre ;
- que même si la réponse des CNP est faiblement affectée par les grappes hafnium, le calibrage des CNP tient compte de cet effet avec par ailleurs des contrôles du niveau de puissance des CNP prescrits par la REPR en puissance afin de détecter tous biais de calibrage.

L'IRSN estime que les éléments présentés par EDF sont suffisants.

*

EDF a précisé que l'introduction de grappes hafnium dans le cœur pour la configuration envisagée n'a pas d'impact significatif sur les études d'accident grave et, au cours de l'instruction, a apporté des éléments qualitatifs de justification concernant en particulier :

- la puissance résiduelle et sa répartition dans le cœur ;
- le processus de dégradation du cœur et le risque de rupture de cuve lors d'accidents graves (oxydation des grappes en hafnium, interaction physico-chimiques entre le hafnium et les autres matériaux du cœur...) ;
- l'interaction corium-béton (composition et nature du corium) en cas d'accident grave avec rupture de cuve ;
- le terme source (dans l'enceinte, dans l'environnement) en situation d'accident grave.

Pour l'ensemble de ces points, EDF estime que l'impact des grappes hafnium n'est pas significatif notamment du fait de la faible quantité de hafnium introduite en cœur⁴. L'IRSN estime que l'analyse présentée par EDF est recevable et suffisante pour justifier l'introduction de grappes hafnium.

Règles générales d'exploitation

L'introduction des grappes hafnium modifie la distribution radiale de puissance notamment en périphérie du cœur. En prévision de la généralisation de l'usage de ces grappes, EDF souhaite, au cours de la campagne Tricastin 335, d'une part, vérifier la suffisance du programme standard des essais physiques mis en œuvre au cours du redémarrage après rechargement et en cours de cycle, d'autre part, valider la technique de mesure de l'efficacité des grappes par la méthode de pesée dynamique des groupes (PDG). Pour cela, EDF prévoit notamment de réaliser des essais physiques particuliers ainsi que des modifications des règles des essais déjà prescrits par le chapitre X des Règles générales d'exploitation (RGE). EDF prévoit comme essais supplémentaires à puissance nulle :

³ Arrêt pour intervention/Arrêt pour rechargement.

⁴ De l'ordre d'une tonne par comparaison à la masse totale de zirconium dans le cœur d'environ 20 tonnes et la masse de combustible d'environ 82 tonnes.

- la mesure des efficacités différentielle et intégrale du groupe des grappes de régulation de température R⁵ par dilution de la concentration en bore du circuit primaire ;
- la mesure des efficacités intégrales des groupes de grappes de compensation de puissance (G1, G2, N1 et N2)⁶ et d'arrêt (SA, SB, SC et SD)⁷ par échange avec le groupe R ;
- la mesure de l'efficacité intégrale du sous-groupe R1 du groupe R, dont les grappes sont localisées dans les assemblages à proximité immédiate des grappes hafnium, selon la méthode PDG.

Le résultat de la mesure de l'efficacité d'un groupe par la méthode PDG est dépendant de coefficients théoriques spécifiques à la recharge. Pour cette raison, l'IRSN recommandait dans son avis sur la mise en œuvre de cette méthode [2] que « *avant la généralisation de la mesure PDG sur une nouvelle gestion, au moins une mesure PDG simultanée avec une mesure par DE⁸ [soit] réalisée sur un cycle à l'équilibre, afin de vérifier le bon comportement de la méthode PDG* ». L'introduction des grappes hafnium modifiant la distribution radiale de puissance, en particulier au voisinage des assemblages dans lesquels ces grappes sont insérées qui sont à proximité des grappes du sous-groupe R1, l'IRSN estime que l'efficacité du sous-groupe R1 doit être mesurée par la méthode de dilution (voire par borication). A cet égard, EDF s'engage à amender, avant le prochain arrêt pour rechargement, le programme de principe des essais physiques particuliers et la règle d'essais physiques au redémarrage à puissance nulle en intégrant cette mesure complémentaire. L'IRSN estime que cet engagement, rappelé dans l'observation en annexe, est acceptable et n'a donc plus de remarque concernant le programme d'essais physiques à puissance nulle proposé par EDF.

En ce qui concerne les autres essais supplémentaires et les modifications des règles d'essais prévues par EDF, l'IRSN n'a pas de remarque.

*

EDF indique par ailleurs que les résultats des essais physiques en présence de grappes hafnium (réactivité du cœur, effets de contre-réaction neutroniques, distributions de puissance et efficacité d'un sous-groupe de grappes à proximité des grappes hafnium) permettront de consolider expérimentalement la vérification de la validation de la chaîne de calculs neutroniques utilisée pour la démonstration de sûreté en recharge des cœurs du palier 900 MWe en complément d'une vérification théorique présentée par EDF. Cette dernière repose sur des comparaisons avec un logiciel de référence utilisant la méthode de Monte Carlo pour des calculs à différentes échelles (assemblage, motifs de plusieurs assemblages et cœur) pour des configurations neutroniques représentatives de l'introduction des grappes hafnium en cœur. L'IRSN estime, sur la base du dossier et des compléments apportés au cours de l'instruction, que la vérification de la validation de la chaîne de calcul des recharges est acceptable.

Radioprotection en manutention

Le hafnium est un élément chimique qui sera activé lors de l'irradiation. Après chaque cycle en réacteur, il est nécessaire de procéder à la manutention des grappes hafnium que ce soit après l'expérimentation ou le cas échéant pour les réutiliser au cycle suivant dans le cas d'une généralisation. Pour analyser l'impact en termes de radioprotection des opérateurs lors de la manutention des grappes hafnium, EDF a comparé l'activité de crayons hafnium et argent-indium-cadmium (ou AIC, matériaux constituant les grappes mobiles des réacteurs de 900 MWe)

⁵ Groupe de grappes de contrôle régulant automatiquement la température moyenne du circuit primaire.

⁶ Groupes de grappes de contrôle dont la position est asservie au niveau de puissance du réacteur et dont les recouvrements (positions relatives) permettent de contrôler la distribution axiale de puissance.

⁷ Groupes de grappes utilisés uniquement en cas d'arrêt automatique du réacteur (en supplément des groupes de grappes de contrôle).

⁸ Dilution-Echange.

estimée à la suite de leur activation, et a réalisé une analyse du radionucléide le plus pénalisant en termes d'énergie des rayons gammas émis pour chaque crayon. L'analyse montre d'une part, que l'activité totale des crayons hafnium est inférieure à l'activité totale des crayons AIC, d'autre part, que le radionucléide le plus pénalisant pour un crayon hafnium est le ^{182}Ta qui est moins pénalisant que l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ présent dans les grappes AIC, sachant par ailleurs l'activité de l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ est sept fois plus importante dans un crayon AIC que l'activité du ^{182}Ta dans un crayon hafnium. EDF en conclut que la manutention des grappes hafnium réalisée conformément au scénario de manutention des grappes de commande et des grappes bouchons du parc ne présente aucun risque en termes de radioprotection du personnel. L'IRSN n'a pas de remarque à formuler sur l'analyse d'EDF mais estime qu'il aurait fallu compléter l'analyse en estimant les Débits d'équivalent de dose (DED) induits. L'IRSN a réalisé cet exercice et en déduit que, sous réserve que les opérations de manutention des grappes hafnium soient similaires à celles des grappes AIC, l'impact en terme de DED induit par une grappe hafnium est bien inférieur (à minima d'un facteur 8) à celui induit par une grappe AIC.

Aval du cycle

Après l'utilisation des grappes hafnium, celles-ci devront être traitées comme des grappes de commande usées. Compte tenu de leurs caractéristiques (géométrie, irradiation, classification déchets), EDF a analysé la faisabilité de l'adaptation aux grappes hafnium de la filière aval de traitement des Déchets activés d'exploitation (DAE), constitués par les différentes grappes en fin de vie. Cette filière comprend notamment un entreposage sous eau dans les piscines BK des réacteurs de 900 MWe, le transport dans des étuis depuis les réacteurs, la réception et le cisailage à l'Installation de conditionnement et d'entreposage des déchets activés (ICEDA), le conditionnement et l'entreposage en colis béton puis le transport et le stockage des colis béton au Centre Industriel de stockage Géologique (CIGEO). L'analyse d'EDF conclut que la réception, le conditionnement et l'entreposage des grappes hafnium en colis béton sur l'installation ICEDA et leur stockage à CIGEO ne présentent pas, à ce stade, d'infaisabilité technique et que des études complémentaires restent à mener afin d'affiner l'analyse de la filière étudiée.

*

En ce qui concerne la possibilité de conditionner les grappes hafnium en colis béton sur l'installation ICEDA, EDF indique que les spécifications des grappes permettent de respecter tous les critères d'acceptation sur l'installation sauf la limite d'activité pour différents émetteurs alpha, du fait de la présence de traces d'uranium dans le hafnium. Toutefois, la concentration en uranium du lingot de hafnium utilisé pour la fabrication des grappes pour l'expérimentation est largement inférieure à la spécification correspondante des grappes, ce qui permet de respecter le critère en question. Ce point n'appelle plus de remarque de la part de l'IRSN.

*

Par ailleurs, la découpe sur l'installation ICEDA des grappes en vue de leur conditionnement en colis béton pourrait ne pas être compatible avec le référentiel de sûreté de l'installation, du fait du caractère pyrophorique des poussières de hafnium. Sur ce point, EDF a indiqué le cas échéant pouvoir réaliser les opérations de découpe et de préconditionnement sous eau en piscines BK des réacteurs. L'IRSN estime qu'il conviendra qu'EDF précise les modalités de mise en œuvre de ce préconditionnement en piscine BK. L'IRSN n'a pas d'autre remarque à formuler.

Programme de surveillance de la fluence

Le programme de surveillance de la fluence sans et avec irradiation des grappes hafnium en cœur consiste à réaliser un suivi dosimétrique de la cuve pour mesurer la réduction du flux neutronique aux points chauds due à la présence des grappes. La solution matérielle retenue pour réaliser ce suivi est un système de mesure de dosimétrie externe

de conception Westinghouse, utilisé dans le monde sur environ 70 réacteurs, placé en puits de cuve et permettant des mesures à différents azimuts et différentes cotes axiales. Compte tenu du retour d'expérience important et favorable dans le monde sur ce système, l'IRSN estime qu'il devrait permettre d'évaluer la performance des grappes hafnium en termes de réduction de la fluence de la cuve à l'occasion de l'expérimentation.

Conclusion

L'IRSN estime que les éléments présentés par EDF relatifs à la conception, le retour d'expérience et le programme de surveillance prévu des grappes hafnium sont suffisants pour accepter l'introduction, à titre expérimental, de 12 grappes hafnium à l'occasion de la campagne 35 du réacteur n°3 de la centrale du Tricastin. De plus, l'IRSN considère que la présence de ces grappes est acceptable sur le plan de la sûreté et en particulier que le référentiel de la gestion de combustible PARITE MOX à l'état VD3 est applicable en présence de grappes hafnium. En ce qui concerne le programme d'essais physiques complémentaires prévu par EDF, l'IRSN estime qu'EDF doit ajouter un essai consistant à mesurer l'efficacité du sous-groupe de grappes R1 par l'ancienne méthode de dilution (voire par borication). EDF s'y étant engagé, l'IRSN estime que le programme d'essais ainsi complété est satisfaisant. Par ailleurs, l'utilisation de grappes hafnium est acceptable vis-à-vis de la radioprotection des travailleurs, de la chimie et de la radiochimie du circuit primaire. Enfin, le traitement prévu par EDF pour les grappes hafnium usagées après utilisation est acceptable.

*

En conséquence, l'IRSN considère que la modification telle que déclarée par EDF pour la campagne 35 du réacteur n°3 de la centrale du Tricastin est acceptable sous réserve de l'engagement d'EDF rappelé dans l'observation en annexe. Enfin, le système de dosimétrie hors cuve devrait permettre d'évaluer la performance des grappes hafnium en termes de réduction de la fluence de la cuve.

Pour le directeur général, par délégation

Franck BIGOT

Adjoint au Directeur de l'Expertise de Sûreté

Annexe à l'Avis IRSN/2017-00162 du 15 mai 2017

Observation

L'IRSN note qu'EDF s'engage à amender, avant le prochain arrêt pour rechargement du réacteur n° 3 de la centrale du Tricastin, le programme de principe des essais physiques particuliers et la règle d'essais physiques au redémarrage à puissance nulle en intégrant, en supplément de la mesure de l'efficacité neutronique intégrale du sous-groupe de grappes de contrôle R1 du groupe R par la méthode de Pesée Dynamique des Grappes (PDG), une mesure de l'efficacité de ce sous-groupe par dilution ou borication.