

Fontenay-aux-Roses, le 6 octobre 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00316

Objet : Institut Laue-Langevin
Réacteur à haut flux (INB n° 67)
Modification de l'absorbant des barres de sécurité

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-LYO-2017-021988 du 2 juin 2017
2. Lettre ASN CODEP-DRC-2012-048088 du 29 octobre 2012

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la demande d'autorisation de modification de l'absorbant des barres de sécurité formulée par l'Institut Laue-Langevin (ILL), exploitant du réacteur à haut flux (RHF) situé à Grenoble. Cette modification consiste à remplacer l'absorbant des barres de sécurité, aujourd'hui en AIC¹, par un absorbant en hafnium, afin notamment d'augmenter l'anti réactivité lors de la chute de ces barres.

Contexte

Le RHF, qui est dédié à la recherche fondamentale, a pour objectif de produire des faisceaux de neutrons très intenses. D'une puissance thermique de 58,3 MWth, ce réacteur fonctionne avec un seul élément combustible qui est modéré et refroidi par un circuit primaire en eau lourde. Ce dernier est situé au centre d'un bidon réflecteur qui est fixé au fond d'une piscine remplie d'eau légère. Le pilotage du réacteur est assuré par l'intermédiaire d'une barre spécifique (barre de pilotage) qui se déplace dans la cavité centrale de l'élément combustible.

L'analyse de sûreté par conditions de fonctionnement du RHF comporte une étude de rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde dans le cœur du réacteur. Ce transitoire conduit à l'introduction d'eau légère entre les plaques de l'élément combustible du réacteur et donc à une insertion brutale de réactivité². En 2012, l'exploitant a réévalué les conséquences de ce transitoire afin de démontrer que le cœur du réacteur n'est pas, après la chute de quatre des cinq barres de sécurité (BS), dans un état prompt critique.

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 L'AIC est un alliage d'argent, d'indium et de cadmium.

² L'insertion de réactivité s'explique par le fait que l'eau légère introduite modifie les conditions de thermalisation des neutrons et les interactions neutroniques entre plaques combustibles.

À la suite de l'instruction de cette étude par l'IRSN, l'ASN a demandé à l'exploitant par lettre citée en seconde référence :

- de considérer ce transitoire comme une condition de fonctionnement de quatrième catégorie, et non comme une condition de fonctionnement complémentaire comme proposé initialement par l'ILL ;
- de reconsidérer « *le dimensionnement neutronique du système de protection du réacteur de manière à pouvoir assurer, avec un niveau de confiance suffisant, l'absence d'atteinte de l'état prompt critique du cœur en cas de rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde* » ;
- « *à défaut, d'étudier, au plus tard pour le prochain réexamen de sûreté, de manière plus fine au plan thermo-hydraulique, le scénario de rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde, en reconsidérant certaines hypothèses pénalisantes...* ».

Dans ce contexte, l'ILL a transmis une déclaration de modification relative au remplacement progressif des BS. Par ailleurs, l'ILL a indiqué qu'une nouvelle étude du transitoire thermo-hydraulique précité serait transmise dans le dossier de réexamen de sûreté.

Au nombre de cinq, les BS sont disposées autour du cœur, légèrement inclinées par rapport à la verticale. Une BS comprend essentiellement deux parties :

- l'organe de manœuvre qui émerge du bidon réflecteur et qui baigne dans l'eau légère de la piscine. Il est notamment constitué de l'électro-aimant d'accrochage ;
- l'élément absorbant. En partie haute de celui-ci, un manchon permet d'assembler l'élément absorbant à l'organe de manœuvre par l'intermédiaire d'un dispositif d'accrochage à baïonnette. Il est à noter que seule la partie basse de l'absorbant est soumise à un flux de neutron significatif.

L'exploitant envisage de remplacer l'absorbant des BS, aujourd'hui en AIC, par un absorbant en hafnium, et de modifier la conception du manchon d'accrochage, l'organe de manœuvre restant inchangé. L'exploitant retient les principes de conception suivants :

- la masse du nouvel absorbant doit être identique à celle de l'ancien, afin de ne pas modifier, *a priori*, le temps de chute des BS ;
- l'absorbant en hafnium ne sera pas gainé, contrairement à l'actuel absorbant qui est revêtu d'un gainage afin d'éviter la dissolution de l'argent. L'exploitant précise à cet égard que l'hafnium est inerte dans l'eau lourde. L'absence de gainage permet à l'exploitant de modifier la conception du manchon d'accrochage :
 - l'ancien manchon, en inconel 600, était accroché avec l'absorbant en AIC à l'aide d'un système mécanique pour ne pas remettre en cause le gainage,
 - le nouveau manchon, en zircaloy 4, est directement soudé par faisceau d'électrons avec l'hafnium de l'absorbant.

En appui à sa déclaration de modification, l'exploitant a transmis une analyse de sûreté ainsi qu'une mise à jour du rapport de sûreté. Dans ces documents sont décrits l'ancien et le nouvel absorbant afin de permettre à l'exploitant de modifier, dans un premier temps, une seule BS, et ensuite de modifier les quatre autres.

Contour de l'évaluation de l'IRSN

L'instruction de l'IRSN a porté sur :

- le respect des exigences définies afférentes aux barres de sécurité et les essais de qualification associés ;
- la conformité des exigences de fabrication au regard des conditions d'ambiances subies par les BS. En particulier, le traitement des non-conformités ouvertes lors de la fabrication de l'absorbant a été évalué.

Conformément à la lettre citée en première référence, l'IRSN a également examiné la réponse de l'exploitant relative au reclassement du scénario de rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde.

L'évaluation du dimensionnement neutronique du système de protection du réacteur sera quant à elle réalisée dans le cadre de l'instruction de l'étude du scénario de rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde mise à jour que l'exploitant doit transmettre, conformément au courrier cité en seconde référence, au plus tard pour le prochain réexamen de sûreté.

De l'évaluation du dossier transmis par l'exploitant complété par les éléments recueillis au cours de l'instruction technique, l'IRSN retient les points développés ci-après.

Exigences définies et essais de qualification

L'IRSN rappelle que les BS doivent, après avoir chuté, conserver leur intégrité et être maintenues en place afin d'assurer la maîtrise de la réactivité pendant et après un séisme. Par ailleurs, la vitesse maximale d'extraction des BS doit être compatible avec la capacité de l'instrumentation neutronique à contrôler la montée en puissance du réacteur. En outre, des exigences définies relatives au temps de chute et à l'anti réactivité apportée leur sont assignées.

L'exploitant ne présente dans son dossier aucun élément concernant la qualification des BS au SMS (séisme majoré de sécurité). **Ce point fait l'objet de la recommandation n°1 formulée en annexe au présent avis.**

Par ailleurs, l'exploitant ne donne aucune information concernant la capacité de l'instrumentation neutronique à contrôler la montée en puissance du réacteur lors de l'extraction, à vitesse maximale, de cinq BS en hafnium. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°2 formulée en annexe au présent avis.**

Concernant le temps de chute maximal des BS, l'exploitant prévoit de réaliser une série de cinq mesures *in situ* avec la nouvelle BS en hafnium, **ce qui n'appelle pas de remarque.**

S'agissant de l'anti réactivité apportée par les BS, il convient de préciser que certaines barres apportent plus d'anti-réactivité que d'autres³ et que l'anti-réactivité apportée par une barre est également fonction de la position de la barre de pilotage (BP) dans le cœur et de la position des autres BS. L'exploitant a réalisé un ensemble de calculs, avec le code MCNP⁴ et un nouveau modèle du cœur, visant à démontrer que le nouvel absorbant (hafnium) apporte, quelle que soit la situation envisagée, plus d'anti réactivité que l'ancien (AIC) et a évalué l'effet du vieillissement (soit l'évolution de la composition isotopique de l'absorbant) sur l'anti réactivité apportée par les BS.

L'IRSN a examiné la validité du modèle de calcul utilisé, le caractère exhaustif des situations envisagées ainsi que les calculs réalisés.

³ En raison de la disposition des éléments expérimentaux dans le bloc pile, les conditions de réflexion et donc le flux neutronique ne sont pas symétriques. En conséquence, l'anti-réactivité apportée par chaque BS n'est pas identique.

⁴ Monte-Carlo N-Particle transport est une plateforme logicielle de simulation utilisant la méthode de Monte-Carlo pour modéliser des processus de physique nucléaire.

Il ressort de cette évaluation que la démarche adoptée par l'exploitant pour valider le nouveau modèle du cœur du RHF est satisfaisante. Toutefois, l'exploitant n'a pas apporté d'éléments permettant de justifier la capacité du code MCNP, associé à la bibliothèque de données nucléaires utilisée, à modéliser correctement l'hafnium. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 formulée en annexe au présent avis.

L'exploitant a comparé l'efficacité des BS pour un ensemble de configurations. Les résultats des études menées montrent que la modification d'une seule BS apporte un léger gain en anti-réactivité mais statistiquement significatif, et que le remplacement de toutes les BS apporte un gain significatif. De plus, l'exploitant estime que, lors d'un transitoire de réactivité, l'efficacité des BS comportant un absorbant en hafnium est au moins équivalente à celle des BS actuelles (comportant un absorbant en AIC).

En outre, l'exploitant a réalisé des calculs d'évolution isotopique de l'absorbant en hafnium. Il en conclut que l'effet du vieillissement sur l'anti-réactivité apportée par la BS en hafnium est négligeable, ce qui n'appelle pas de remarque.

L'IRSN considère que les calculs présentés par l'exploitant sont, sous réserve que ce dernier justifie la qualification du code MCNP associé à la bibliothèque ENDF/B-VII.0 pour l'hafnium, suffisants pour démontrer que le remplacement des barres de sécurité proposé n'entraîne aucune régression concernant leur apport en anti-réactivité. Aussi, le remplacement de toutes les barres est de nature à réduire le risque de criticité prompte en cas de rupture du collecteur d'entrée d'eau lourde.

Enfin, l'exploitant a prévu d'effectuer, pour le futur absorbant en hafnium et pour l'absorbant actuel en AIC, une mesure *in situ* de l'anti-réactivité par approche sous critique. L'exploitant va ainsi vérifier expérimentalement que le poids neutronique de la nouvelle BS en hafnium est supérieur ou égal, aux incertitudes de mesure près, à celui de la barre actuelle en AIC.

Le programme de qualification *in situ* des nouvelles barres de sécurité proposé par l'exploitant n'appelle pas de remarque.

Exigences de conception et de construction

L'analyse de sûreté de l'exploitant présente une justification du bon comportement du zircaloy et de l'hafnium dans le bloc pile du RHF ainsi qu'une description de la fabrication de l'absorbant.

Les justifications de l'exploitant concernant le comportement du zircaloy et de l'hafnium dans le bloc pile du RHF n'appellent pas de remarque.

Le zircaloy 4 tel qu'approvisionné pour réaliser le manchon d'accrochage est spécifié selon la norme ASTM B351 grade R60804 qui est dédiée aux applications nucléaires. Les résultats du contrôle de la composition chimique du produit fini et des essais normalisés de traction à température ambiante montrent que la composition chimique du manchon et les caractéristiques mécaniques des éprouvettes sont tel que requis par la spécification d'approvisionnement.

Le barreau d'hafnium tel qu'approvisionné pour réaliser l'absorbant est spécifié selon la norme ASTM B737 Grade R3, norme moins exigeante en matière de teneur en impureté que les grades R1⁵ ou R2 qui sont spécifiques à l'industrie nucléaire. Aussi, l'exploitant a analysé la composition chimique du produit fini afin de démontrer que la concentration de certains éléments chimiques est conforme aux exigences du grade R1, sans toutefois analyser la

⁵ La norme ASTM B737 spécifie un ensemble d'exigences pour l'approvisionnement de barreaux en hafnium. Les exigences relatives à la composition chimique de la matière approvisionnée sont fonction du grade retenu. Pour le grade R1, les critères en termes de concentration maximale sont plus exigeants que pour le grade R3 et le nombre d'éléments chimiques spécifiés est plus important.

concentration de tous les éléments chimiques spécifiés dans la norme ASTM B737 grade R1. L'exploitant a évalué l'influence, sur l'anti réactivité apportée, des éléments qui ont fait l'objet d'une analyse chimique. Selon les résultats présentés, une baisse de densité correspondant à la teneur en impureté enveloppe a une influence négligeable sur l'anti réactivité apportée. **En tout état de cause, l'IRSN estime que l'exploitant devra, pour les futurs approvisionnements d'absorbants en hafnium, étendre les analyses chimiques réalisées à l'ensemble des éléments concernés par le grade R1 de la norme ASTM B737. Ce point fait l'objet de la recommandation n°4 formulée en annexe au présent avis.**

S'agissant du soudage du manchon en zircaloy 4 et de l'absorbant en hafnium, l'exploitant a indiqué que la procédure de qualification de mode opératoire est conforme au CODAP⁶ et à la norme EN ISO 15614⁷. En conformité avec cette norme, des coupons de qualification représentatifs de l'absorbant ont subi des contrôles non destructifs (visuel, ressuage et contrôle radiographique) et des essais destructifs. L'exploitant a justifié, au cours de l'instruction, l'utilisation du CODAP, qui n'est pas dédiée aux équipements soumis à irradiation significative, en indiquant que le seuil d'irradiation, défini dans le RCC-MRx, au-dessous duquel l'irradiation du zircaloy 4 peut être négligée, ne sera pas atteint avant dix-huit années de fonctionnement. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

Ce soudage est réalisé par faisceau d'électrons dans une chambre sous vide. La procédure de soudage prévoit un contrôle visuel de la soudure, un examen par ressuage et un examen radiographique. L'IRSN relève que l'absorbant n'a pas fait l'objet d'une passivation après soudure. De plus, les matériaux approvisionnés n'ont pas fait l'objet d'essais visant à démontrer leur tenue à la corrosion. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°5 formulée en annexe au présent avis.**

L'exploitant a évalué la contrainte maximale dans la soudure de liaison hafnium-zircaloy afin de démontrer que celle-ci est inférieure à la contrainte obtenue lors des essais de traction. Selon les calculs réalisés par l'exploitant, la contrainte maximale dans la soudure de liaison est environ douze fois moins importante que la contrainte de traction. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

À l'issue de la fabrication de l'absorbant, trois fiches de non-conformité ont été ouvertes par l'exploitant. L'IRSN considère que leur traitement est satisfaisant.

Analyse par conditions de fonctionnement

Conformément à la demande de l'ASN, l'exploitant a classé la rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde comme condition de fonctionnement de quatrième catégorie. Comme indiqué précédemment, l'ILL a précisé qu'une nouvelle étude du scénario précité sera transmise dans le cadre du réexamen de sûreté de l'installation. Toutefois, l'IRSN relève que les exigences définies afférentes aux EIP ne sont de manière générale pas mentionnées dans le référentiel de sûreté mis à jour, de même que les exigences de conception et de construction, ce qui ne répond pas au titre 2 de l'arrêté du 7 février 2012.

Conclusion

En conclusion de son évaluation, l'IRSN estime que, du point de vue de la sûreté, la modification de l'absorbant des barres de sécurité est de nature à réduire le risque de criticité prompte en cas de rupture du collecteur d'entrée d'eau lourde. Elle est néanmoins assujettie à la prise en compte des recommandations formulées en annexe au présent avis. En particulier, l'IRSN considère que l'exploitant devra démontrer, en préalable à la mise en œuvre de

⁶ Le CODAP (Code de Construction des Appareils à Pression non soumis à la flamme) propose des règles de conception, calcul, construction et inspection pour les appareils à pression.

⁷ Cette norme définit les conditions d'exécution des épreuves de qualification de mode opératoire de soudage ainsi que les limites de validité d'un mode opératoire de soudage qualifié.

la modification, que les barres de sécurité comportant un absorbant en hafnium restent intègres et en place dans le bloc pile en cas de séisme de niveau SMS.

Enfin, l'évaluation du dimensionnement neutronique du système de protection du réacteur, et ainsi du caractère suffisant de l'anti réactivité apportée par les BS, sera réalisée dans le cadre de l'instruction de l'étude du scénario de rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde mise à jour, que l'exploitant doit transmettre au plus tard pour le prochain réexamen de sûreté.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'Avis IRSN/2017-00316 du 6 octobre 2017

Recommandations

Recommandation n° 1 :

L'IRSN recommande que l'exploitant démontre, en préalable à la mise en place des barres de sécurité comportant un absorbant en hafnium, que leur intégrité et leur maintien en place dans le bloc pile sont assurés en cas de séisme de niveau SMS.

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande que l'exploitant s'assure, avant le remplacement de l'ensemble des barres de sécurité, que l'instrumentation neutronique permet de contrôler la montée en puissance du réacteur lors de l'extraction des barres de sécurité en hafnium à la vitesse maximale fixée dans le rapport de sûreté.

Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande que l'exploitant justifie, avant le démarrage du cycle avec une barre de sécurité en hafnium, la qualification du code MCNP associé à la bibliothèque ENDF/B-VII.0 pour un absorbant en hafnium avec un milieu représentatif du RHF.

Recommandation n° 4 :

L'IRSN recommande que l'exploitant réalise, pour les futures barres en hafnium, l'ensemble des analyses chimiques requises au titre du grade R1 de la norme ASTM B737 et s'assure que les concentrations en impuretés sont inférieures aux valeurs spécifiées pour ce grade.

Recommandation n° 5 :

L'IRSN recommande que l'exploitant assure un suivi périodique de l'état de la corrosion de l'absorbant des barres de sécurité.