

Fontenay-aux-Roses, le 25 octobre 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2018-00285

Objet : Institut Laue-Langevin
Réacteur à haut flux (INB n° 67)
Mise en service de barres de sécurité avec un nouvel absorbant en hafnium

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-LYO-2018-044331 du 3 septembre 2018
2. Lettre ASN CODEP-LYO-2017-041337 du 10 octobre 2017

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 les compléments apportés par l'Institut Laue-Langevin (ILL), exploitant du réacteur à haut flux (RHF) situé à Grenoble, à sa demande initiale d'autorisation de modification de l'absorbant des barres de sécurité, la nature de la modification étant inchangée.

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.

1. Contexte

Le RHF, réacteur 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.

En 2012, l'ILL a réévalué les conséquences de l'insertion de réactivité qui résulterait² de la rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde dans le cœur du réacteur, afin de démontrer que le cœur n'est pas, après la chute de quatre des cinq barres de sécurité (BS), dans un état prompt critique. L'expertise par l'IRSN de cette analyse a conduit l'ASN à exprimer

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.

des réserves sur cette démonstration, demandant en particulier à 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* ». L'ILL a ainsi prévu de modifier l'absorbant des barres de sécurité afin d'améliorer leur efficacité en termes d'absorption neutronique.

Dans ce contexte, l'ILL a transmis en 2017 une demande d'autorisation de modification relative au remplacement progressif des BS (remplacement d'une première barre prototype en préalable de la fabrication des quatre autres barres). Par ailleurs, l'ILL a présenté, dans le cadre du dossier de réexamen de sûreté, les résultats d'une nouvelle étude du transitoire thermo-hydraulique associé à la rupture du collecteur d'entrée d'eau lourde.

Dans le dossier transmis à l'appui de cette demande d'autorisation de modification des BS, l'exploitant a notamment présenté les principes de conception de la nouvelle BS et l'analyse de sûreté associée. La modification porte sur le remplacement de l'absorbant des BS, aujourd'hui en AIC, par un absorbant en hafnium, et la modification de la conception du manchon d'accrochage, l'organe de manœuvre restant inchangé.

À la suite de l'expertise de ce dossier, l'IRSN a estimé que, du point de vue de la sûreté, la modification de l'absorbant des BS est de nature à réduire le risque de criticité prompte en cas de rupture du collecteur d'entrée d'eau lourde. L'IRSN a toutefois formulé des recommandations, en particulier concernant la nécessité d'apporter la démonstration, en préalable à la mise en œuvre de 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. Suite à cette expertise, l'ASN a formulé, dans la lettre citée en seconde référence, les demandes de compléments rappelées en annexe 1 du présent avis.

L'ILL a formulé une nouvelle demande d'autorisation de modification, intégrant les compléments demandés par l'ASN.

L'expertise de l'IRSN a porté sur les éléments complémentaires fournis par l'ILL en réponse aux demandes n°1 à 5 de l'ASN. Elle complète ainsi celle menée dans le cadre de la précédente demande de modification des barres de sécurité déposée par l'ILL.

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

2. Comportement mécanique des nouvelles barres de sécurité en cas de séisme de niveau SMS

L'ASN avait demandé à l'ILL d'apporter la démonstration de l'intégrité et du maintien en place dans le bloc-pile des BS en cas de séisme de niveau SMS (demande n°1).

Pour cette démonstration, l'ILL s'est tout d'abord appuyé sur une étude, fournie récemment dans le cadre du réexamen de sûreté, du comportement de l'ensemble du bloc-pile ainsi que d'une barre en hafnium et d'une barre en AIC en cas de séisme de niveau noyau dur (SND). Dans le cadre de l'expertise menée, l'exploitant a développé un nouveau modèle de la BS et a transmis une nouvelle note de calcul étudiant, uniquement pour les barres en hafnium, leur comportement et les déplacements lors d'un séisme de niveau SND. Pour la démonstration de l'intégrité des barres, l'exploitant vérifie, à l'aide des critères du RCC-MRx³, le comportement mécanique des différentes pièces constituant la barre de sécurité et conclut à la résistance de celles-ci. S'agissant des

³ Règles de Conception et de Construction pour les matériels mécaniques des structures à hautes températures et des réacteurs expérimentaux et à fusion.

déplacements des barres, l'étude conclut qu'ils sont inférieurs au jeu présent entre l'élément combustible et l'extrémité basse des barres.

L'expertise de l'IRSN a porté exclusivement sur cette dernière note de calcul. L'IRSN estime en effet que le dernier calcul est plus représentatif que celui qui avait été initialement présenté, en particulier à l'égard du modèle réalisé et des conditions aux limites prises en compte. **L'IRSN estime que la démonstration de l'exploitant pour justifier que les BS conservent leur intégrité en cas de séisme de niveau SMS et que leur maintien en place reste assuré est acceptable dans le cadre de la déclaration de modification.** L'IRSN retient en effet que la démarche retenue par l'exploitant, pour cette justification, présente des conservatismes importants notamment dus à la prise en compte d'un niveau de séisme 1,5 fois supérieur au SMS et à la méthode d'analyse des contraintes. L'IRSN note que des essais mécaniques seront réalisés par l'ILL afin de déterminer la résistance de la soudure FE entre l'absorbant en hafnium et son manchon en zircaloy pour les prochaines fabrications de BS et considère que l'étude de vérification du dimensionnement mécanique des BS à l'égard du séisme devrait le cas échéant être révisée. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 1 formulée en annexe 3 du présent avis.**

L'exploitant n'a toutefois pas considéré dans ses calculs de masse additionnelle, encore appelée masse ajoutée, représentant l'effet de la présence d'eau lourde contenue dans le bidon réflecteur autour des BS pour le calcul des fréquences propres de ces dernières. Or, l'IRSN estime que la prise en compte d'une masse ajoutée de fluide est de nature à augmenter l'amplitude des déplacements de la BS en cas de séisme. À cet égard, l'IRSN estime qu'il est peu vraisemblable qu'un déplacement occasionné par un séisme de niveau SMS, même s'il venait à mettre en contact l'extrémité des BS avec le tube extérieur de l'élément combustible, soit susceptible de porter atteinte à l'intégrité des BS (de même qu'à l'intégrité de l'élément combustible).

Néanmoins, pour l'IRSN, le risque d'agression mécanique consécutive aux mouvements relatifs de la BS et de l'élément combustible qui se situe dans l'environnement proche des BS en position basse constitue une nouvelle question de sûreté qui dépasse le cadre de la demande de l'ILL, puisqu'elle concerne également les barres en AIC. L'IRSN estime que cette question nécessite d'être traitée dans le cadre du réexamen de sûreté. L'ILL s'est engagé à réaliser d'ici mi-février 2019 un calcul du déplacement relatif des barres de sécurité par rapport à l'élément combustible en cas de séisme de niveau « noyau dur » afin de s'assurer de l'absence d'agression mutuelle entre ces éléments. Ceci est satisfaisant. L'IRSN considère toutefois que l'ILL doit conforter sa démonstration. En particulier, l'IRSN estime que la masse ajoutée du fluide sur la BS nécessite d'être prise en compte pour le calcul des fréquences propres des BS. Par ailleurs, l'IRSN souligne que cette démonstration devra être disponible pour les deux types de barres de sécurité dès lors que le référentiel de sûreté prévoit que les deux soient utilisables dans le réacteur RHF. **Ceci fait l'objet de la recommandation n° 1 formulée en annexe 2 du présent avis.**

En conclusion de son expertise concernant le comportement mécanique des nouvelles barres de sécurité en cas de séisme de niveau SMS, **l'IRSN estime que la réponse de l'exploitant à la demande n° 1 est satisfaisante.**

3. Capacités de mesure de l'instrumentation neutronique lors de la montée des barres de sécurité en hafnium

Dans le rapport de sûreté, l'ILL indique : « *il importe enfin que la remontée des absorbants n'entraîne pas une variation de réactivité interdisant le contrôle de la montée en puissance du réacteur par les chaînes de mesure. La vitesse de remontée des barres est donc limitée à 12 mm/s (...)* ». À cet égard, l'ASN avait demandé à l'ILL de « *démontrer que l'instrumentation neutronique actuelle permet de contrôler la montée en puissance du réacteur lors de l'extraction des BS en hafnium à la vitesse maximale fixée dans le rapport de sûreté* » (demande n°2).

Dans la mise à jour du dossier transmise en 2018, l'ILL précise que, pour respecter les prescriptions techniques lui imposant d'avoir au minimum 2000 pcm d'anti-réactivité toutes BS en position haute, la procédure de démarrage du réacteur prévoit que la barre de pilotage reste totalement insérée pendant la remontée de l'ensemble des BS. La divergence s'effectue ensuite par extraction de la barre de pilotage. Le réacteur reste alors sous-critique lors de la remontée des BS. Compte tenu de ces éléments, l'IRSN ne conteste pas que le contrôle neutronique assuré par les chaînes de démarrage lors de la montée des BS est acquis en fonctionnement normal, que les BS soient en AIC ou en hafnium. L'IRSN note toutefois que l'ILL devrait justifier plus précisément le rôle de l'exigence liée à la vitesse maximale de remontée des BS. **Ceci fait l'objet de l'observation n°2 formulée en annexe 3 du présent avis.**

4. Efficacité d'absorption neutronique des nouvelles barres de sécurité

Dans le cadre de la demande initiale de modification, l'ILL a réalisé un ensemble de calculs, avec le code MCNP⁴ et un nouveau modèle du cœur, visant à démontrer que le nouvel absorbant en 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. De l'examen de cette démonstration, il était ressorti que la démarche adoptée par l'exploitant pour valider le nouveau modèle du cœur du RHF et la démarche de qualification par essais sont satisfaisantes. Toutefois, l'IRSN avait souligné que l'exploitant n'avait pas apporté d'éléments permettant de justifier la capacité du code MCNP, associé à la bibliothèque de données nucléaires utilisée, à modéliser correctement les barres en hafnium dans les configurations du RHF. Ceci avait fait l'objet de la demande n°3 de l'ASN.

Parmi les éléments produits par l'ILL en réponse à cette demande, l'IRSN retient en particulier que ce dernier a indiqué que les approches sous-critiques, prévues lors d'essais avec la première BS, seront utilisées pour réaliser un benchmark de qualification du code MCNP avec la bibliothèque de données nucléaires ENDF/B-VII.0 pour l'absorbant en hafnium. **L'IRSN estime que l'ILL sera, à l'issue de ces essais, en mesure d'apporter les éléments complémentaires à la démonstration de la capacité du code MCNP, associé à la bibliothèque de données nucléaires utilisée, à modéliser correctement les barres en hafnium dans les configurations du RHF, attendue dans le cadre de la demande n°3.**

5. Exigences de fabrication et de suivi en service des nouvelles barres de sécurité

Le barreau d'hafnium tel qu'approvisionné pour réaliser l'absorbant est spécifié selon la norme ASTM B737 Grade R3. Les exigences associées à ce grade sur la teneur en impuretés sont moins contraignantes que celles associées aux 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 concentration de tous les éléments chimiques spécifiés dans la norme ASTM B737 grade R1. Il convient de préciser que l'exploitant a pu démontrer qu'une baisse de densité correspondant à la teneur en impureté enveloppe a une influence négligeable sur l'anti réactivité apportée. Cependant, eu égard à un éventuel risque de gonflement sous irradiation du matériau induit par la présence d'impuretés, l'ASN a demandé

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.

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.

que l'exploitant étende, pour les futurs approvisionnements d'absorbants en hafnium, les analyses chimiques réalisées à l'ensemble des éléments concernés par le grade R1 de la norme ASTM B737.

L'exploitant a indiqué que l'ensemble des analyses sera réalisé et qu'il prévoit un point d'arrêt dans la fabrication des barres de manière à traiter une éventuelle non-conformité sur l'un des éléments chimiques. L'ILL a de plus souligné qu'aucun risque de gonflement n'est envisagé compte tenu des conditions d'exploitation du matériau dans le réacteur, et que les taux d'impuretés attendus sont très faibles, l'hafnium étant un sous-produit de la fabrication du zirconium, utilisé dans les réacteurs nucléaires.

Les éléments présentés par l'exploitant, en particulier la réalisation d'analyses chimiques dans le cadre de l'approvisionnement des futures barres et la définition d'un point d'arrêt de manière à traiter une éventuelle non-conformité sur l'un des éléments chimiques, sont satisfaisants.

S'agissant du soudage du manchon en zircaloy 4 sur l'absorbant en hafnium, l'IRSN avait lors de sa précédente expertise relevé que, contrairement à d'autres matériaux, 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. À la demande de l'ASN de définir un programme de contrôle périodique de l'état de corrosion de l'absorbant, l'exploitant répond que les connaissances sur le comportement du hafnium, acquises par essais et par retour d'expérience, permettent d'écarter tout risque de dégradation de la soudure par phénomène de corrosion. La position de l'ILL est ainsi de considérer qu'un programme de surveillance spécifique de la soudure n'est pas justifié. L'ILL rappelle par ailleurs que des analyses hebdomadaires de l'eau lourde du circuit primaire, prévues par le référentiel d'exploitation, assurent un contrôle périodique de l'état de corrosion des différents équipements du bloc pile, dont les barres de sécurité.

L'IRSN estime que les arguments présentés par l'ILL permettent de considérer qu'un programme spécifique de suivi de l'état de corrosion de l'absorbant n'est pas nécessaire.

L'IRSN estime ainsi que les réponses de l'ILL aux demandes n° 4 et n° 5 relatives aux exigences de fabrication et de suivi en service des nouvelles barres de sécurité sont satisfaisantes.

6. Conclusion

L'IRSN estime que les éléments présentés par l'ILL permettent de répondre de manière satisfaisante aux questions de sûreté portées par les demandes n°1, n°2, n°4 et n°5 formulées par l'ASN dans la lettre citée en seconde référence.

Concernant la demande n°3, l'IRSN souligne que la démarche de l'ILL est satisfaisante ; l'IRSN estime en particulier acceptable que l'ensemble des éléments attendus dans le cadre de cette demande ne soient disponibles qu'à l'issue des essais prévus avec la première barre de sécurité en hafnium.

En conclusion de son expertise, l'IRSN considère ainsi que la modification de l'installation relative à la mise en service des BS en hafnium est acceptable du point de vue de la sûreté, dans les conditions décrites par l'ILL dans son dossier complété des éléments recueillis au cours de l'expertise.

L'IRSN souligne néanmoins que les études qui ont été transmises dans le cadre du réexamen de sûreté pour répondre à la demande n°6 de l'ASN devront être révisées, autant que de besoin⁶, dans le cadre des suites que l'ILL sera amené à donner au présent avis.

Par ailleurs, dans le cadre de la présente expertise, l'IRSN a interrogé l'ILL sur le risque d'agression mécanique consécutive aux mouvements relatifs de la BS et de l'élément combustible. Si les éléments produits par l'ILL sont satisfaisants dans le cadre de la demande d'autorisation de modification, l'IRSN estime toutefois que des éléments complémentaires sont attendus dans le cadre du réexamen de sûreté. Ceci a conduit l'IRSN à formuler la recommandation présentée en annexe 2 du présent avis.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

⁶ S'agissant de l'étude du bloc-pile, pour tenir compte des compléments apportés par l'ILL sur la démonstration du comportement des BS en cas de séisme ; et s'agissant de l'étude du scénario de rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde, pour tenir compte d'une éventuelle modification de la loi d'évolution de la puissance résiduelle du cœur suite à la chute des BS.

Annexe 1 à l'Avis IRSN/2018-00285 du 25 octobre 2018

Liste des demandes formulées par l'ASN dans sa lettre en référence 2

- Demande n°1 : « *Compte tenu de la conception différente de ces barres, notamment la nature de l'absorbant et du manchon, je vous demande de démontrer l'intégrité et le maintien en place dans le bloc-pile des nouvelles barres de sécurité en cas de séisme de niveau SMS.* »
- Demande n°2 : « *Je vous demande de démontrer que l'instrumentation neutronique actuelle 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.* »
- Demande n°3 : « *Je vous demande de démontrer la qualification du code MCNP associé à la bibliothèque nucléaire ENDF/B-VII.0 pour la réalisation de calculs avec un absorbant en hafnium et un milieu modérateur représentatif de celui du RHF.* »
- Demande n°4 : « *Je vous demande de vous engager, pour les futures fabrications de barres de sécurité en hafnium, à réaliser l'ensemble des analyses chimiques requises au titre du grade R1 de la norme ASTM B737 et à vous assurer que les concentrations en impuretés sont inférieures aux valeurs spécifiées pour ce grade. Vous me transmettez les conclusions de ces analyses.* »
- Demande n°5 : « *Je vous demande de définir un programme de contrôle périodique de l'état de la corrosion de l'absorbant des barres de sécurité afin de vous assurer du bon état de la soudure entre le manchon et l'absorbant.* »
- Demande n°6 : « *Je vous rappelle que ces études⁷ devront être présentées dans votre rapport de conclusion du réexamen de sûreté en prenant en compte les barres de sécurité en hafnium.* »

⁷ Il s'agit de l'étude du scénario de rupture complète du collecteur d'entrée d'eau lourde et de l'étude de comportement au SND du bloc-pile.

Annexe 2 à l'Avis IRSN/2018-00285 du 25 octobre 2018

Recommandation

Dans le cadre du calcul du déplacement relatif des barres de sécurité par rapport à l'élément combustible en cas de séisme de niveau « noyau dur » que l'ILL s'est engagé à réaliser afin de s'assurer de l'absence d'agression mutuelle entre ces éléments, l'IRSN considère que l'ILL devra prendre en compte, pour le calcul des fréquences propres des barres de sécurité, la masse ajoutée du fluide sur la barre de sécurité et vérifier que la BS n'entre pas en contact avec la structure inférieure du bloc tubulaire supérieur. Par ailleurs, l'ILL devra produire cette démonstration pour les deux types de barres de sécurité dès lors que le référentiel de sûreté prévoit que les deux soient utilisables dans le réacteur RHF.

Annexe 3 à l'Avis IRSN/2018-00285 du 25 octobre 2018

Observations

Observation n° 1 :

L'ILL a indiqué que des essais mécaniques seront réalisés afin de déterminer la résistance de la soudure FE entre l'absorbant en hafnium et son manchon en zircaloy pour les prochaines fabrications de BS. L'IRSN considère que l'ILL devrait réviser l'étude de vérification du dimensionnement mécanique des barres de sécurité à l'égard du séisme en cas d'obtention de résultats plus pénalisants que ceux obtenus pour la barre prototype.

Observation n° 2 :

L'IRSN considère que l'ILL devrait justifier plus précisément le rôle de l'exigence liée à la vitesse maximale de remontée des barres de sécurité et mettre en adéquation les éléments figurant dans le rapport de sûreté.