

Fontenay-aux-Roses, le 17 février 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00063

Objet : Institut Laue-Langevin - Réacteur à haut flux (INB n° 67)
Comportement mécanique et nouvel échancier de remplacement des doigts
de gant des canaux horizontaux du réacteur

Réf. Lettre **ASN CODEP-DRC-2015-020399** du 30 juin 2015

Par la lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le dossier transmis par l'Institut Laue Langevin (ILL), exploitant du Réacteur à haut flux (RHF), visant à compléter la démonstration relative au comportement mécanique des doigts de gant des canaux horizontaux du réacteur.

Ces canaux permettent l'extraction et le guidage des neutrons du réacteur vers les aires expérimentales de l'installation. La rupture accidentelle d'un ou plusieurs doigts de gant serait susceptible de conduire, d'une part à une insertion de réactivité dans le cœur du réacteur du fait du remplissage du doigt de gant en eau lourde initialement rempli d'hélium, d'autre part à la perte d'intégrité du circuit primaire pouvant entraîner une fusion de l'élément combustible qui le constitue. La partie arrière de chaque doigt de gant est ainsi équipée d'une vanne de sécurité qui se ferme automatiquement sur détection d'un séisme et sur détection d'eau à l'intérieur du doigt de gant, ceci dans l'objectif de limiter les conséquences de la rupture du doigt de gant.

Dans le cadre d'une précédente instruction, la démonstration du comportement mécanique des doigts de gant produite par l'ILL avait soulevé un certain nombre de réserves de la part de l'IRSN. D'une manière générale, l'IRSN avait estimé que les durées maximales d'exposition au flux de neutrons auxquelles sont soumis les doigts de gant d'aluminium alors fixées par l'ILL ne permettaient pas de garantir le maintien d'une ductilité suffisante du matériau les constituant pour accommoder d'éventuels effets de contraintes locales qui pourraient survenir à la suite de l'apparition ou de l'évolution d'un défaut dans la structure. À cet égard, l'IRSN considérait que la réserve de ductilité des alliages constituant les doigts de gant ne devait pas aller en deçà de 2 %.

Dans ce contexte, l'ASN a demandé à l'ILL de prendre en compte cette limitation en présentant un nouvel échancier de remplacement des doigts de gant qui vise à garantir que, à tout instant, l'insertion de réactivité qui serait induite par la rupture postulée des doigts de gant

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

ayant dépassé la limite de ductilité de 2 % ne puisse pas engendrer de risque de criticité prompte et ne soit pas susceptible d'engendrer des conséquences inacceptables. Par ailleurs, l'ASN a demandé à l'ILL de compléter sa démonstration du comportement mécanique des doigts de gant en produisant une analyse à la rupture brutale destinée à évaluer leur sensibilité à l'effet d'entaille.

L'IRSN a évalué les éléments de réponse de l'ILL à l'ensemble des demandes de l'ASN précitées. De l'examen de ces éléments, complétés par les éléments recueillis au cours de l'instruction, l'IRSN retient les conclusions suivantes.

Comportement mécanique des doigts de gant

Sur la base de l'analyse à la rupture brutale réalisée pour le doigt de gant H13, analyse que l'ILL considère enveloppe pour l'ensemble des doigts de gant constitués d'aluminium en raison du flux neutronique important auquel ce doigt de gant est soumis, l'ILL conclut que le risque de rupture brutale est exclu pour tous les doigts de gants en aluminium. **L'IRSN estime à ce stade que les conclusions de l'étude de l'ILL ne sont pas généralisables aux doigts de gants H3, H4 et H8 au regard de leur géométrie, sensiblement différente de celle de H13 et de nature à induire la création de contraintes potentiellement plus importantes. Ceci fait l'objet de la recommandation n° 1 formulée en annexe au présent avis.**

Exceptée cette réserve concernant la généralisation des conclusions de l'étude à l'ensemble des doigts de gants en aluminium, **l'IRSN estime que la démarche générale retenue par l'ILL pour l'analyse du risque de rupture brutale des doigts de gant en aluminium est acceptable.** L'IRSN note en particulier que l'ILL a pris en compte de manière satisfaisante la dernière réévaluation des températures auxquelles sont soumises les structures des doigts de gant lors du fonctionnement du réacteur. **Cependant, l'IRSN relève que l'analyse de l'ILL ne permet pas de couvrir le cas des doigts de gant soumis à des fluences supérieures à la limite considérée dans le code RCC-MRx¹ de $7,5 \cdot 10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$.** L'IRSN note à cet égard qu'aucune donnée expérimentale n'a fait pour l'heure l'objet d'une exploitation permettant d'extrapoler le comportement des doigts de gant au-delà de cette valeur de fluence. Or, selon l'échéancier de remplacement des doigts de gant présenté par l'ILL, certains doigts de gant pourraient intégrer, en fin de vie, une fluence supérieure à $7,5 \cdot 10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$. **Dans ces conditions, l'IRSN estime qu'un risque de rupture brutale de doigts de gant ne peut pas être exclu.**

Enfin, suite à l'observation de dégradations ayant affecté certains doigts de gant, différentes dispositions ont été mises en place par l'ILL, celles-ci portant sur les procédés de fabrication des doigts de gant et sur leurs conditions d'exploitation en réacteur. **L'IRSN considère que ces dispositions sont de nature à ralentir la cinétique de dégradation par corrosion des doigts de gant.**

Révision de l'échéancier de remplacement des doigts de gant

L'ILL a établi un nouvel échéancier de remplacement des doigts de gant de telle sorte que, à tout moment, la rupture d'un ou plusieurs doigts de gant ayant dépassé la limite de ductilité de 2 % ne puisse engendrer une insertion de réactivité supérieure à 600 pcm. L'ILL estime, sur la base de résultats expérimentaux, que l'atteinte de la valeur de ductilité de 2 % correspond à l'intégration, par les doigts de gants, d'une fluence de $6 \cdot 10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$. Dans le cadre de la présente évaluation, l'IRSN retient cette correspondance mais rappelle toutefois qu'une telle corrélation reste assortie d'incertitudes. Pour établir son nouvel échéancier, l'ILL a ainsi évalué, pour chaque doigt de gant, la fluence reçue chaque année jusqu'à leur remplacement de façon à pouvoir évaluer l'échéance à laquelle cette fluence atteindrait la valeur de $6 \cdot 10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$. L'ILL a ensuite caractérisé l'insertion de réactivité susceptible

¹ RCC-MRx : Recueil de Règles de Conception et de Construction pour les matériels mécaniques des structures à hautes températures et des réacteurs expérimentaux et à fusion.

d'être induite par la rupture d'un ou plusieurs doigts de gant ayant atteint ou dépassé la limite de fluence de $6.10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$. L'IRSN considère que l'évaluation des poids en réactivité des doigts de gant (en cas de remplissage de ceux-ci par de l'eau lourde à la suite d'une brèche) et des fluences intégrées par ceux-ci au cours du fonctionnement du réacteur, qui constituent les données d'entrée du nouvel échancier de remplacement, est satisfaisante. Par ailleurs, l'IRSN estime que la valeur du critère en réactivité retenue par l'ILL permet d'écarter le risque de criticité prompte en cas de rupture d'un ou plusieurs doigts de gant ayant dépassé la limite de fluence de $6.10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$ (soit la limite de ductilité de 2 %).

L'ILL estime de plus que cette valeur permet de garantir l'intégrité mécanique du combustible du cœur en cas de rupture d'un ou plusieurs doigts de gant ayant dépassé la limite de fluence de $6.10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$. L'ILL appuie cette conclusion sur une étude thermohydraulique visant à appréhender les conséquences sur le cœur d'un transitoire de puissance engendré par une insertion de réactivité de 600 pcm. L'IRSN souligne le caractère incomplet de cette étude, notamment pour ce qui concerne la description de la modélisation, la justification des hypothèses d'étude retenues et l'analyse des résultats correspondants. En particulier, s'agissant des hypothèses d'étude, l'examen de l'IRSN fait apparaître que le transitoire de puissance utilisé en entrée de l'étude thermohydraulique n'est pas enveloppe et que son caractère représentatif n'est pas démontré.

Au cours de l'instruction, l'ILL a présenté l'étude d'un nouveau transitoire de puissance induit par une insertion de 547 pcm (correspondant à la réévaluation du poids en réactivité du doigt de gant le plus « lourd » i.e. le doigt de gant H10) et intégrant la mise à jour des profils d'anti-réactivité liés à la chute des barres de sécurité suite aux modifications dont elles ont récemment fait l'objet. L'IRSN souligne cependant qu'une démonstration qui serait basée sur le nouveau transitoire de puissance (engendré par une insertion de réactivité de 547 pcm) ne serait pas acceptable, eu égard, d'une part à l'absence de prise en compte d'incertitudes sur les données d'entrée neutroniques pour établir ce nouveau transitoire, d'autre part au critère de remplacement retenu pour établir le nouvel échancier des doigts de gant (insertion de réactivité de 600 pcm).

S'agissant de l'étude thermohydraulique des conséquences du transitoire de puissance insérée dans le réacteur, l'analyse de l'IRSN a mis en évidence les principales réserves suivantes concernant la méthode employée par l'ILL pour évaluer la marge à l'ébullition nucléée :

- la capacité de l'outil de calcul utilisé par l'ILL à représenter correctement ou à tout le moins de manière conservatrice ce type de transitoire rapide, avec couplage de la thermique et de la thermohydraulique, n'est pas démontrée ;
- le caractère conservatif des hypothèses d'études (trace de puissance notamment) et de la modélisation à l'égard de la température de paroi n'est pas démontré ;
- les incertitudes associées aux paramètres dominants ne sont pas prises en compte dans le modèle de simulation ;
- l'applicabilité de la corrélation de Jens-Lottes à la configuration étudiée pour l'évaluation de la surchauffe à la paroi en régime d'ébullition nucléée n'est pas démontrée et les incertitudes associées à l'utilisation de cette corrélation ne sont pas prises en compte.

Par ailleurs, l'IRSN estime que la prise en compte d'un transitoire de la trace de puissance intégrant les modifications dont les barres de sécurité ont fait l'objet en 2013 pourrait conduire à des températures de paroi des plaques combustibles significativement plus élevées.

L'IRSN estime ainsi que les éléments fournis par l'ILL ne permettent pas de justifier le caractère enveloppe des conclusions de l'étude et considère par conséquent que le respect du critère retenu dans l'étude (absence d'ébullition nucléée) n'est pas à ce stade démontré. **L'IRSN estime donc nécessaire que l'ILL conforte, ou le cas échéant révise, la valeur de l'insertion maximale de réactivité dans le cœur du RHF pour laquelle aucun endommagement du combustible n'est à redouter. Ceci fait l'objet de la recommandation n°2 formulée en annexe au présent avis.**

L'IRSN estime que le nouvel échancier de remplacement de doigts de gant présenté par l'ILL ne permet pas d'écarter un risque d'endommagement du combustible en cas de rupture postulée d'un ou plusieurs des doigts de gant ayant dépassé la ductilité de 2 %. L'examen de ce nouvel échancier montre en particulier que le doigt de gant H10, dont la rupture pourrait entraîner une insertion de réactivité proche de la valeur du critère de remplacement de 600 pcm proposée par l'ILL, ne serait remplacé qu'à la fin de l'année 2019. Or, selon les données de cet échancier, la fluence intégrée par ce doigt de gant dépasserait la limite du code RCC-MRx (i.e. $7,5 \cdot 10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$) au cours de l'année 2018. Dès lors, compte tenu des réserves précédemment évoquées quant à la démonstration apportée par l'ILL relativement aux conséquences d'une insertion de réactivité de 600 pcm, **l'IRSN considère que le maintien en service du doigt de gant H10 au-delà de la valeur limite en fluence inscrite dans le code RCC-MRx n'est pas acceptable. L'IRSN estime ainsi nécessaire que l'ILL planifie le remplacement du doigt de gant H10 de sorte que sa fluence ne dépasse pas la valeur de $7,5 \cdot 10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$. Ceci fait l'objet de la recommandation n°3 formulée en annexe au présent avis.**

Enfin, l'IRSN note que la stratégie de remplacement des doigts de gant proposée par l'ILL dans son dossier ne correspond désormais plus aux limitations de durée de vie des doigts de gant inscrites dans son référentiel de sûreté et estime nécessaire que l'ILL mette à jour ses règles générales d'exploitation. Ceci fait l'objet de la recommandation n°4 formulée en annexe au présent avis.

En conclusion de son évaluation, sur la base du dossier de l'ILL et des éléments recueillis au cours de l'instruction, l'IRSN considère que l'analyse à la rupture brutale réalisée par l'ILL et les dispositions de prévention de ce risque mises en place constituent des éléments d'appréciation positive de la robustesse du comportement mécanique des doigts de gants. L'IRSN estime toutefois que cette appréciation positive est conditionnée à une exposition des doigts de gant à l'irradiation dans les limites considérées par le RCC-MRx, ces dernières ne permettant pas de couvrir les niveaux d'irradiation les plus élevés auxquels certains doigts de gant seront soumis selon l'échancier présenté par l'ILL. L'IRSN considère en outre que la démonstration d'absence d'endommagement du combustible consécutif à la rupture de doigts de gant des canaux horizontaux du réacteur nécessite d'être confortée. Ceci conduit aux recommandations formulées en annexe au présent avis.

Pour le directeur général, par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'Avis IRSN/2017-00063 du 17 février 2017

Recommandations

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que l'ILL justifie la prévention du risque de rupture brutale pour les doigts de gants H3, H4 et H8.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que l'ILL conforte, ou le cas échéant révisé, la valeur de l'insertion maximale de réactivité dans le cœur du RHF pour laquelle aucun endommagement du combustible n'est à redouter. Pour ce faire, l'ILL devra présenter une étude dans laquelle :

- il considérera, pour le calcul du transitoire de puissance, les valeurs actualisées des délais de réponse du contrôle-commande du système d'arrêt d'urgence du réacteur et des profils d'insertion d'anti-réactivité liés à la chute des barres de sécurité et justifiera le caractère pénalisant des valeurs des paramètres cinétiques neutroniques retenues ;
- il établira, pour le volet thermohydraulique de l'étude, une démonstration conforme à l'état de l'art incluant notamment une présentation et une analyse des éléments de validation du logiciel retenu pour la configuration étudiée, ainsi *qu'une* justification du caractère conservatif des hypothèses d'étude et de modélisation à l'égard de la température de paroi des plaques combustibles.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande que l'ILL planifie le remplacement du doigt de gant H10 de sorte que sa fluence ne dépasse pas la valeur de $7,5 \cdot 10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande que l'ILL mette à jour ses règles générales d'exploitation pour intégrer un critère de remplacement des doigts de gants, exprimé en réactivité, établi de sorte que l'effet de la rupture des doigts de gant ayant dépassé une valeur en fluence limite que l'ILL se fixera (cette valeur de fluence limite ne saurait cependant en tout état de cause excéder la valeur limite actuellement considérée dans le RCC-MRx i.e. $7,5 \cdot 10^{22} \text{ n}_{\text{th}}/\text{cm}^2$) n'induisse aucun endommagement du combustible. Ce critère devra être défini sur la base des éléments déterminés en réponse à la recommandation n°2 et en considérant notamment les incertitudes sur les poids en réactivité des doigts de gant.