ASNR Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Monsieur le Directeur de la direction des déchets des installations de recherche et du cycle

Fontenay-Aux-Roses, le 23 juillet 2026

# AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00083 DU 23 JUILLET 2026

**Objet :** **Institut Laue-Langevin - INB n° 67 - Réacteur à haut flux.**
**Demande de modification portant sur la mise en œuvre de la ponte d'urgence sismique et du renoyage automatique d'urgence du combustible.**

**Référence :** Saisine ASNR CODEP-DRC-2025-047446 du 22 septembre 2025

L'installation nucléaire de base (INB) n° 67, dénommée « réacteur à haut flux » (RHF), est un réacteur de recherche implanté à Grenoble et exploité par l'Institut Laue-Langevin (ILL). Cette INB est principalement destinée à la production de faisceaux de neutrons utilisés pour des programmes de recherche scientifique.

En juin 2025, l'ILL a transmis une demande de modification notable portant sur la mise en œuvre de deux systèmes, à savoir la ponte d'urgence du combustible (PUC) sismique et le renoyage automatique d'urgence du combustible. Ces systèmes ont pour fonction de renforcer la prévention des risques de fusion du combustible irradié, une fois celui-ci déchargé du réacteur à la fin d'un cycle d'irradiation.

Par lettre citée en référence, la Direction des déchets, des installations de recherche et du cycle (DRC) de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) a sollicité l'avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR sur la mise en œuvre de ces deux systèmes. Plus particulièrement, la DRC a souhaité que les points suivants soient examinés :

- la fiabilité de la PUC et du dispositif de renoyage automatique du combustible ;
- l'opérabilité du dispositif de PUC après un séisme de niveau noyau dur ;
- l'absence de régression pour la sûreté de l'installation des modifications prévues.

De l'évaluation du dossier, tenant compte des éléments complémentaires transmis par l'ILL au cours de l'expertise, et des engagements pris à l'issue de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté retient les points développés ci-après.

## 1. CONTEXTE

Le RHF est un réacteur de type piscine d'une puissance thermique maximale de 58,3 MW dont le cœur est constitué d'un seul élément combustible.

À l'issue d'un cycle d'irradiation, l'élément combustible irradié (ECI) est laissé dans le réacteur pendant une durée minimale de 24 heures. Le combustible est ensuite déchargé du réacteur au moyen d'une hotte de manutention remplie d'eau lourde. Cette hotte est ensuite déplacée de la piscine du réacteur vers un des deux plots de refroidissement situé dans une zone dénommée « canal 2 » (deuxième compartiment du canal de transfert adjacent à la piscine réacteur). Après une durée minimale d'entreposage de 50 jours à ce poste, une opération de

Adresse du siège social : 15 rue Louis Lejeune - 92120 Montrouge
Adresse postale : BP 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses cedex
Tél. : +33 (0)1 58 35 88 88 - Courriel : asnr-courrier@asnr.fr

changement d'eau est réalisée, celle-ci consistant à remplacer l'eau lourde contenue dans la hotte par de l'eau légère. L'ECI est ensuite extrait de la hotte puis entreposé dans un casier situé au fond du canal 2.

Les hottes de manutention des ECI sont des équipements constitués d'un corps principal tubulaire en aluminium, équipé d'un échangeur thermique. Les hottes sont fermées en partie basse par une vanne appelée vanne de pied de hotte. Lorsqu'elles sont entreposées dans le canal 2, les hottes reposent sur un plot ancré au fond du canal au moyen de tiges d'acier. Elles sont maintenues, dans leur partie supérieure, par un support ancré dans la margelle du canal. L'ECI renfermé dans la hotte est quant à lui suspendu à un grappin relié à un treuil par deux rubans métalliques.

Durant son entreposage sur le plot de refroidissement, la puissance résiduelle de l'ECI est évacuée de la hotte vers l'eau du canal grâce à l'échangeur thermique. Dans cette configuration, une baisse incidentelle du niveau d'eau dans le canal 2 pourrait conduire à un risque de fusion à l'air de l'ECI du fait de sa puissance résiduelle encore trop importante. Afin de pallier ce risque, l'installation est équipée d'un système de Ponte d'Urgence du Combustible (PUC) lequel, lorsqu'il est déclenché, permet de faire chuter l'ECI au fond du canal 2. Une fois l'ECI au fond du canal 2, la hauteur d'eau le recouvrant est suffisante pour assurer son refroidissement. Le système actuel de PUC n'est cependant pas apte à résister à un séisme de niveau noyau dur (SND). Aussi, dans le cadre du troisième réexamen périodique de sûreté de l'installation mené en 2017, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a formulé la prescription suivante : « *Au plus tard le 2 novembre 2027, l'exploitant met en place un dispositif dit « de ponte d'urgence » (PUC) de l'élément combustible irradié (ECI) lorsque celui-ci est situé en hotte de manutention. Ce dispositif est intégré au noyau dur actif de l'installation et permet de prévenir le risque de fusion de l'ECI en cas de baisse du niveau d'eau dans la partie « dénoyable » du canal 2.* ». L'intégration de la PUC aux dispositions du « noyau dur » de l'installation implique dès lors son opérabilité après un SND.

Par ailleurs, lors de l'opération de changement d'eau susmentionnée, la hotte est à plusieurs reprises vidangée et remplie d'hélium durant plusieurs minutes. Lors de ces phases, l'ECI n'étant plus en permanence sous eau, un risque de fusion du combustible à l'air existe au-delà d'une durée de dénoyage de l'ECI estimée par l'ILL à 20 minutes. En cas de difficulté à assurer le « renoyage » de l'ECI par les moyens d'exploitation normaux, les opérateurs doivent mettre en œuvre une procédure incidentelle visant à remettre de l'eau dans la hotte. Le changement d'eau fait ainsi partie des opérations les plus sensibles pour la sûreté réalisées à l'ILL. Pour renforcer la capacité à « renoyer » rapidement l'ECI et à prévenir ainsi sa fusion en cas d'échec de la mise en œuvre de la procédure incidentelle, l'ILL s'est engagé, à l'issue du troisième réexamen périodique, « *à mettre en place une ouverture automatique de la vanne de pieds de hotte de manutention de l'élément combustible sur son plot de refroidissement, lors des opérations de changement d'eau, 18 minutes après la vidange de la hotte* ».

# 2. MODIFICATIONS PRÉVUES PAR L'ILL

## 2.1. HOTTES DE MANUTENTION ET SUPPORTAGES

L'opérabilité de la PUC après un SND nécessitant que la tenue des hottes soit acquise pour ce niveau de séisme, l'ILL a dans un premier temps évalué le comportement des hottes au SND. Il en conclut à la nécessité de procéder à des renforcements structurels des hottes et de leur supportage. En particulier, le corps de hotte et les piquages de l'échangeur thermique doivent être épaissis. L'ILL prévoit également de faire évoluer le supportage des hottes en ajoutant deux points d'ancrage supplémentaires dans le génie civil du canal. Les ancrages des plots de refroidissement sur lesquels reposent les hottes ne nécessitent en revanche pas, selon l'ILL, d'être modifiés.

## 2.2. FONCTIONS DE PUC SISMIQUE ET DE RENOYAGE D'URGENCE

La nouvelle fonction de PUC sismique consistera en l'ouverture de la vanne de pied de hotte, suivie du déclenchement d'un sectionneur pyrotechnique qui aura pour effet de découper les rubans métalliques auxquels est suspendu l'ECI. Dès lors, ce dernier sera « pondu » dans le fond du canal. Le déclenchement de la PUC restera donné par les opérateurs (ordre manuel), comme c'est le cas actuellement.

La fonction de renoyage d'urgence consistera en l'ouverture d'une vanne permettant l'évacuation de l'hélium contenu dans la hotte, suivie de l'ouverture de la vanne de pied de hotte. Ceci entraînera le renoyage de la hotte,

et donc de l'ECI, par entrée d'eau en provenance du canal. Cette fonction se déclenchera automatiquement lors d'une opération de changement d'eau en cas de détection d'un niveau d'eau bas dans la hotte pendant une durée de plus de 18 minutes.

L'ILL prévoit de modifier les équipements supports nécessaires à l'ouverture de la vanne de pied de hotte (alimentation en azote, électrovannes, coffrets de contrôle-commande ...) afin de fiabiliser son ouverture. En particulier, pour chacune des deux fonctions, deux voies de contrôle-commande indépendantes seront créées.

Enfin, l'ensemble des éléments nécessaires au fonctionnement de la PUC sismique seront qualifiés au SND.

# 3. TENUE DES HOTTES DE MANUTENTION AU SÉISME NOYAU DUR

## 3.1. DIMENSIONNEMENT DES ANCRAGES DES HOTTES MODIFIÉES ET DES PLOTS DE REFROIDISSEMENT

L'ILL a vérifié, par calculs, la tenue des ancrages des hottes modifiées et des plots de refroidissement sous SND. Pour ce faire, il a intégré une hotte de manutention dans le modèle global du bâtiment réacteur du RHF et considéré un comportement élastique linéaire des matériaux.

Lors du troisième réexamen périodique de l'installation, il avait été mis en évidence, en comparant les spectres de réponse transférés[1] calculés à partir de modèles linéaires d'une part, et non linéaires incluant des effets d'entrechoquement des structures du génie civil d'autre part, que les calculs réalisés au moyen d'un modèle linéaire ne sont pas systématiquement enveloppes. L'ILL a transmis au cours de l'expertise une comparaison entre les spectres issus des deux méthodes de calcul qui confirme ce constat pour les spectres transférés au niveau du canal 2. **Ainsi, la Direction de l'expertise en sûreté considère que la prise en compte des non-linéarités du génie civil et des effets d'entrechoquement est susceptible de conduire à un dépassement des contraintes dans les ancrages des hottes, notamment au niveau des ancrages du plot de refroidissement, pouvant induire une perte d'étanchéité du liner.** Sur ce sujet, l'ILL a transmis au cours de l'expertise des éléments complémentaires, dont une étude de sensibilité des résultats obtenus à la variation du module d'Young[2] du béton, qui montrent que la tenue des tiges d'ancrages des plots de refroidissement en fond de canal est justifiée en ayant recours à un coefficient de ductilité[3]. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, ces éléments complémentaires ne permettent pas d'évaluer l'ensemble des effets associés au comportement non linéaire des structures de supportage de la hotte (endommagement du béton des structures de la piscine, de l'enceinte et du plancher margelle ainsi que les risques d'entrechoquement entres ces structures). **Ainsi, l'ILL devrait s'assurer du caractère enveloppe des efforts issus de l'analyse de sensibilité sur la base de résultats issus de calculs non linéaires, en amont de l'évaluation de la résistance des ancrages et du maintien de l'étanchéité du liner (cf. paragraphe 3.2).**

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté rappelle que, d'une manière générale, le recours à la ductilité pour justifier un comportement mécanique doit rester le plus limité possible. L'ILL a indiqué en fin d'expertise qu'il justifiera les conditions d'utilisation de la ductilité, ainsi que les coefficients retenus. **Ceci est satisfaisant sur le plan des principes.**

## 3.2. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DES HOTTES MODIFIÉES

L'ILL a vérifié la tenue au SND des structures des hottes modifiées selon une méthode consistant à appliquer à l'équipement un spectre sismique transféré issu d'un calcul linéaire. Or, comme indiqué au paragraphe précédent, ce type de spectre n'est pas systématiquement enveloppe des sollicitations que pourrait subir l'équipement concerné. De plus, l'ILL applique ce même spectre à l'ensemble de la structure de la hotte considérant, sans que

---

[1] Spectre de réponse transféré : courbe correspondant à l'amplitude maximale, en fonction de la fréquence, de la réponse d'oscillateurs simples pour un amortissement donné, lorsqu'ils sont sollicités par le mouvement sismique.

[2] Le module d'Young est la constante qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et la déformation d'un matériau élastique isotrope. Il mesure donc la rigidité du matériau vis-à-vis d'une déformation uniaxiale.

[3] La ductilité est la capacité d'un matériau à se déformer de manière plastique sans se rompre.

cela soit étayé, que les déplacements différentiels entre les ancrages supérieurs et inférieurs sont négligeables. **Aussi, afin de démontrer la tenue au SND de la structure des hottes de manutention et de leurs ancrages en fond de canal, la Direction de l'expertise en sûreté recommande que l'ILL analyse l'impact des mouvements sismiques transférés issus d'une analyse non linéaire du comportement des structures de génie civil en cas de SND et justifie le caractère négligeable des effets des déplacements différentiels imposés à la structure des hottes et aux ancrages lors du séisme (cf. recommandation n° 1 en annexe au présent avis d'expertise).**

Par ailleurs, l'étanchéité de la hotte est en partie assurée par des assemblages boulonnés dont les couples de serrage ont été définis lors de la conception. L'ILL a indiqué que les procédures d'exploitation des hottes prévoient un essai d'étanchéité avant chaque chargement d'un ECI et que la surveillance de l'activité de l'eau du canal permettrait de détecter une éventuelle fuite d'eau depuis une hotte renfermant un ECI**. La Direction de l'expertise en sûreté estime que ces dispositions sont satisfaisantes.**

### 3.3. OPÉRABILITÉ DE LA VANNE DE PIED DE HOTTE EN CAS DE SND

Les études présentées par l'ILL permettent de confirmer la tenue au SND des enveloppes du corps de vanne et des tuyauteries alimentant la vanne en azote. Néanmoins, l'opérabilité, après un SND, des mécanismes internes de la vanne n'a pas été démontrée. Dès lors, l'opérabilité de la vanne de pied de hotte après un SND n'est pas acquise, **ce qui n'est pas satisfaisant. Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté recommande que l'ILL qualifie au SND, selon les dispositions du volume Q du RCC-M, la vanne de pied des hottes de manutention afin notamment de démontrer l'opérabilité du dispositif d'ouverture de cette vanne après un tel séisme (cf. recommandation n° 2 en annexe au présent avis d'expertise).**

### 3.4. ÉQUIPEMENTS QUALIFIÉS AU SND SUR TABLE VIBRANTE

L'ILL indique dans son dossier que la qualification au SND de certains éléments nécessaires à la réalisation de la PUC sismique sera démontrée par des essais sur table vibrante. À l'issue de l'expertise, l'ILL a proposé d'analyser le spectre de « sortie » de la table vibrante, ainsi que les écarts éventuels avec les spectres issus de modèles linéaires et non linéaires tenant compte des effets d'entrechoquement des structures du génie civil. **Il appartiendra alors à l'ILL d'en tirer les enseignements quant à la tenue au SND des matériels qualifiés sur table vibrante.**

## 4. FIABILITÉ DES FONCTIONS DE PUC ET DE RENOYAGE D'URGENCE

Pour les fonctions de PUC et de renoyage d'urgence, l'ILL retient des objectifs de fiabilité, à savoir une probabilité de défaillance à la sollicitation inférieure à $10^{-3}$ par demande et une fréquence de déclenchement intempestif inférieure à $10^{-2}$ par an, et a transmis deux études de fiabilité visant à démontrer l'atteinte de ces objectifs.

L'atteinte de ces objectifs permet, selon l'ILL, d'exclure en pratique la fusion de l'ECI lors du changement d'eau de la hotte. Or la fréquence de cette situation a été évaluée par jugement d'expert et l'étude des dépendances éventuelles entre les initiateurs de cette situation et la fonction de renoyage d'urgence n'a pas été réalisée, ce qui ne correspond pas aux préconisations de la RFS EPS[4]. La Direction de l'expertise en sûreté note à cet égard que le retour d'expérience des opérations de changement d'eau, transmis au cours de l'expertise, fait état de nombreux dysfonctionnements et anomalies.

**Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté recommande que l'ILL complète l'analyse probabiliste du scénario de perte de l'alimentation en eau dans une hotte lors du changement d'eau (CFC.AN.1) en quantifiant explicitement les séquences conduisant à la fusion de l'ECI, afin de confirmer le caractère suffisant de la fonction de renoyage d'urgence. L'analyse devra prendre en compte les éventuelles dépendances fonctionnelles entre les équipements ou actions humaines impliqués dans l'opération de**

[4] Règle fondamentale de sûreté n° 2002-01 du 26 décembre 2002 portant sur le développement et l'utilisation des études probabilistes de sûreté.

**changement d'eau et la fonction de renoyage d'urgence (cf. recommandation n° 3 en annexe au présent avis d'expertise).**

Concernant les deux études de fiabilité réalisées par l'ILL, la Direction de l'expertise en sûreté considère que plusieurs hypothèses de modélisation nécessitent d'être confortées pour confirmer les résultats obtenus. Cela concerne notamment les erreurs humaines pré-accidentelles et post-accidentelles, les dépendances entre les voies A et B du contrôle-commande et la fiabilité de l'alimentation électrique. De plus, pour la Direction de l'expertise en sûreté, il convient de distinguer l'évaluation de la fiabilité de la fonction de PUC hors séisme et en cas de séisme. **L'ILL s'est engagé à compléter les études de fiabilité en ce sens, ce qui est satisfaisant.**

Enfin, la donnée de fiabilité retenue par l'ILL pour la défaillance mécanique la vanne de pied de hotte, nécessaire à la réalisation des fonctions de PUC et de renoyage d'urgence, repose sur le retour d'exploitation du RHF depuis son redémarrage en 1994, qui ne relève qu'une seule défaillance. **Il appartient à l'ILL de poursuivre l'acquisition de ce retour d'expérience afin de consolider l'évaluation de la fiabilité mécanique de la vanne de pied de hotte.**

## 5. RISQUE DE RÉGRESSION POUR LA SÛRETÉ DES MODIFICATIONS PRÉVUES

La Direction de l'expertise en sûreté a examiné le risque de régression pour la sûreté de l'installation lié à la mise en œuvre des modifications prévues par l'ILL en évaluant dans quelle mesure ces modifications sont de nature à affecter certains aspects de la sûreté de l'installation, en particulier :

- les opérations de manutention et de maintenance des hottes du fait de l'augmentation de leur masse induite par les renforcements effectués ;
- les conditions de refroidissement de l'ECI dans la hotte du fait de l'épaississement du corps de hotte ;
- le risque de déclenchement intempestif du sectionneur pyrotechnique ;
- le risque d'ouverture intempestive de la vanne de pied de hotte.

Pour ce qui concerne le premier point, les éléments présentés par l'ILL lors de l'expertise permettent de conclure que l'augmentation de la masse des hottes ne met pas en cause les conditions d'utilisation du portique de manutention et du poste d'entretien des hottes au regard de leurs capacités respectives, ce qui est satisfaisant.

Pour ce qui concerne le second point, la Direction de l'expertise en sûreté considère que la méthode d'évaluation de la température de l'eau dans la hotte n'est pas adaptée et qu'il appartiendra à l'ILL de prendre en compte les réserves formulées dans le cadre des études qui seront présentées lors du prochain réexamen périodique du RHF. La Direction de l'expertise en sûreté considère toutefois que les modifications prévues n'ont qu'un impact limité sur le refroidissement de l'ECI dans la hotte en fonctionnement normal.

Pour ce qui concerne le troisième point, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les éléments présentés par l'ILL dans son dossier et au cours de l'expertise ne permettent pas d'évaluer pleinement les conséquences d'un déclenchement intempestif du sectionneur sur la capacité à assurer le refroidissement de l'ECI. À cet égard, l'ILL a prévu de fournir une évaluation des conséquences d'une telle situation en 2027 dans le cadre du quatrième réexamen périodique de l'installation, ce qui est satisfaisant sur le principe. En fonction des résultats de cette évaluation, il appartiendra à l'ILL de s'assurer que la fréquence d'occurrence d'un déclenchement intempestif du sectionneur pyrotechnique est compatible avec les conséquences potentielles en résultant et de présenter, le cas échéant, les dispositions permettant d'extraire l'ECI de la hotte après le sectionnement des rubans de manutention dans un délai assurant l'absence d'endommagement de l'ECI.

Enfin, pour ce qui concerne le quatrième point, les éléments présentés par l'ILL dans le cadre de l'expertise permettent de considérer que les conséquences radiologiques d'une ouverture intempestive de la vanne de pied de hotte, qui correspondraient à une pollution de l'eau du canal 2 par l'eau lourde de la hotte, seraient faibles. De plus des dispositions de limitation des conséquences sont prévues par l'ILL en cas de survenue d'une telle situation.

En conclusion, au vu des éléments ci-dessus, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les modifications prévues par l'ILL concernant la PUC et le système de renoyage lors des opérations de changement d'eau dans la hotte sont globalement de nature à améliorer la sûreté de l'installation par rapport à la situation présente. **Ces modifications introduisent néanmoins certaines évolutions pour lesquelles des éléments de justification sont attendus de la part de l'ILL pour conforter leur innocuité en termes de sûreté.**

## 6. CONCLUSION

À l'issue de l'expertise du dossier de demande d'autorisation de modification notable transmis par l'ILL portant sur la mise en œuvre de deux systèmes, à savoir la ponte d'urgence combustible sismique et le renoyage automatique d'urgence du combustible, la Direction de l'expertise en sûreté considère tout d'abord que la démonstration de l'atteinte des objectifs de fiabilité retenus pour ces systèmes nécessite des compléments de justification. L'ILL a pris des engagements en ce sens et une recommandation est formulée en complément sur ce sujet.

En outre, s'agissant du système de ponte d'urgence combustible sismique, la Direction de l'expertise en sûreté estime que son opérabilité après un séisme de niveau « noyau dur » n'est, en l'état des éléments en sa possession, pas acquise. Les justifications que l'ILL doit apporter en vue de démontrer le respect de cette exigence de sûreté font également l'objet de recommandations.

En tout état de cause, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les modifications prévues par l'ILL sont de nature à améliorer la sûreté de l'INB n° 67.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

**Frédérique PICHEREAU**

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté

SIGNATURE ÉLECTRONIQUE
ASNR

Frédérique
PICHEREAU
2026.07.23
10:38:29 +02'00'

# ANNEXE 1

## Recommandations de la Direction de l'expertise en sûreté

**Recommandation n° 1**

Afin de démontrer la tenue au SND de la structure des hottes de manutention et de leurs ancrages en fond de canal, la Direction de l'expertise en sûreté recommande que l'ILL analyse l'impact des mouvements sismiques transférés issus d'une analyse non linéaire du comportement des structures de génie civil en cas de SND et justifie le caractère négligeable des effets des déplacements différentiels imposés à la structure des hottes et aux ancrages lors du séisme.

**Recommandation n° 2**

La Direction de l'expertise en sûreté recommande que l'ILL qualifie au SND, selon les dispositions du volume Q du RCC-M, la vanne de pied des hottes de manutention afin notamment de démontrer l'opérabilité du dispositif d'ouverture de cette vanne après un tel séisme.

**Recommandation n° 3**

La Direction de l'expertise en sûreté recommande que l'ILL complète l'analyse probabiliste du scénario de perte de l'alimentation en eau dans une hotte lors du changement d'eau (CFC.AN.1) en quantifiant explicitement les séquences conduisant à la fusion de l'ECI, afin de confirmer le caractère suffisant de la fonction de renoyage d'urgence. L'analyse devra prendre en compte les éventuelles dépendances fonctionnelles entre les équipements ou actions humaines impliqués dans l'opération de changement d'eau et la fonction de renoyage d'urgence.