

Fontenay-aux-Roses, le 15 juin 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00124

Objet : Institut Laue-Langevin
INB n° 67 - Réacteur à haut flux
Évènement significatif pour la sûreté survenu le 26/08/2021 - Arrêt du réacteur sur mesure
d'une température élevée en entrée de cœur

Réf. : Lettre ASN CODEP-LYO-2022-004281 du 8 février 2022.

Par lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le compte rendu de l'évènement significatif (CRES), déclaré le 26 août 2021 par l'Institut Laue-Langevin (ILL), relatif à l'arrêt sur mesure d'une température élevée en entrée de cœur du réacteur à haut flux (RHF), installation nucléaire de base (INB) n°67. En particulier, l'ASN demande d'examiner l'analyse des causes profondes de l'évènement et le caractère adapté des actions correctives et préventives définies par l'ILL en vue de prévenir le renouvellement d'un évènement de même nature.

De l'examen des éléments présentés dans le CRES, complétés des informations transmises par l'ILL au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux points suivants.

1. PRESENTATION DU REACTEUR

Le RHF est un réacteur de recherche d'une puissance thermique maximale de 58,3 MW. Il est principalement destiné à la production de faisceaux de neutrons utilisés pour des programmes de recherche scientifique. Son cœur est composé d'un seul élément combustible (EC). Il est positionné dans une zone du bloc-pile, appelée « bidon réflecteur », remplie d'eau lourde. Cette dernière assure la modération et la réflexion des neutrons produits au sein du cœur du réacteur. Le contrôle de la réactivité du cœur est assuré par la barre de pilotage (BP) qui s'insère dans la cavité centrale de l'EC. En cas de nécessité, l'arrêt d'urgence du réacteur (AU) est provoqué par la chute, autour du cœur, de cinq barres de sécurité (BS).

Refroidissement du cœur

Le refroidissement du cœur est assuré par un circuit primaire en eau lourde. Lorsque le réacteur est en fonctionnement, l'eau lourde est acheminée jusqu'au niveau du cœur, puis se répartit entre les plaques combustibles de l'EC et dans la cavité centrale. L'évacuation des calories du circuit primaire est réalisée par un système de refroidissement secondaire composé notamment du circuit secondaire principal et du circuit secondaire auxiliaire.

Sources froides de neutrons

Le RHF possède deux sources froides de neutrons, une source horizontale (SFH) et une verticale (SFV), dont la fonction est de « refroidir » les neutrons, c'est-à-dire de réduire leur énergie cinétique pour répondre aux besoins expérimentaux. Chaque source froide possède une cellule située au plus proche du cœur du réacteur, dans le bidon réflecteur, qui contient du deutérium liquide maintenu à 25°K pour ralentir les neutrons. Chaque cellule est entourée d'une seconde enveloppe.

Lorsque le réacteur est en fonctionnement, le deutérium liquide contenu dans la cellule s'échauffe du fait de sa proximité avec le cœur du réacteur et se vaporise. Il chemine alors vers un condenseur, situé au-dessus du bidon réflecteur, dans lequel il est à nouveau liquéfié avant de s'écouler en retour, par gravité, vers la cellule. Un ballast, situé au-dessus du condenseur et relié à ce dernier, joue le rôle de réservoir tampon.

Les condenseurs des sources froides sont alimentés par de l'hélium gazeux qui constitue le fluide caloporteur pour la réfrigération du deutérium. La circulation et la mise en pression de l'hélium sont assurées en premier lieu par le compresseur C. En cas de défaillance, les compresseurs A et B interviennent en secours, ceux-ci devant fonctionner simultanément pour fournir une capacité frigorifique équivalente à celle du compresseur C. L'hélium est ensuite détendu au moyen de deux turbines. Il est alors renvoyé vers les condenseurs des sources froides. Les compresseurs et les turbines font partie du « circuit réfrigérateur en hélium ».

2. ÉVÈNEMENT SIGNIFICATIF DU 26 AOUT 2021

2.1. DESCRIPTION CHRONOLOGIQUE

Dans la nuit du 25 au 26 août 2021, alors que le réacteur était en fonctionnement normal à la puissance de 53,7 MW, le compresseur C du circuit réfrigérateur en hélium des sources froides s'arrête à 2h32 pour une raison indéterminée. Le compresseur de secours A ne démarre pas et le refroidissement de l'hélium des circuits de réfrigération des sources froides n'est alors assuré que par le compresseur de secours B. La liquéfaction du deutérium vaporisé n'est alors plus suffisante et la pression dans les circuits deutérium des deux sources froides augmente.

À 2h33, sur atteinte du seuil de pression haut (calé à 1,7 bar) dans le circuit deutérium de la source froide verticale (SFV), une baisse de puissance contrôlée (BPC) du réacteur est automatiquement enclenchée. La BP est alors introduite automatiquement dans le cœur, ce qui abaisse rapidement la puissance du réacteur à 12 MW. L'échauffement du deutérium diminue alors et la puissance frigorifique apportée par le compresseur B devient suffisante pour maintenir la pression de vapeur de deutérium dans le circuit sous le seuil précité de 1,7 bar.

En salle de contrôle du réacteur, plusieurs alarmes se déclenchent simultanément. Le chef de quart s'étant absenté momentanément, le conducteur de pile quitte alors son pupitre de pilotage pour prendre connaissance des informations disponibles sur la baie rassemblant les informations relatives aux compresseurs. À cet instant, le klaxon neutronique (alarme sonore), qui s'enclenche indifféremment en cas de BPC ou d'AU, se met à retentir.

À 2h34, considérant que les BS ont chuté, le conducteur de pile actionne l'arrêt de l'une des deux pompes en fonctionnement du circuit secondaire principal. Le chef de quart regagne la salle de contrôle et le conducteur de pile lui présente la situation. Ils décident alors d'ouvrir progressivement et partiellement le « by-pass »¹ du circuit de refroidissement secondaire principal, ce qui provoque une augmentation de la température de l'eau lourde en entrée de cœur étant donné que le réacteur est en réalité à ce moment toujours en fonctionnement à la puissance de 12 MW (et non à l'arrêt complet).

¹ Ce by-pass permet d'ajuster le débit d'eau du circuit secondaire principal. Lorsque la ou les pompes secondaires sont en fonctionnement, l'ouverture du by-pass diminue le refroidissement apporté à l'eau du circuit primaire.

À 2h37, la température du circuit primaire en entrée de cœur atteint 37°C, ce qui provoque la chute automatique des barres de sécurité (AU). Le réacteur est alors arrêté, les 5 BS sont en position basse.

À 2h39, la seconde pompe du circuit principal secondaire est arrêtée par l'équipe de quart.

Le réacteur arrêté est alors refroidi par le circuit primaire dont les calories sont évacuées vers le circuit secondaire auxiliaire. S'agissant du refroidissement des sources froides, seul le compresseur B est opérationnel.

À 3h10, l'équipe de conduite décide de redémarrer le réacteur à puissance réduite malgré l'indisponibilité des compresseurs A et C, le refroidissement du circuit de deutérium des sources froides n'étant alors toujours assuré que par le compresseur B. Après remise en service du compresseur A, l'équipe de conduite décide d'augmenter la puissance du réacteur qui atteindra de nouveau la puissance de 53,7 MW à 4h50.

2.2. ANALYSE DES CAUSES PROFONDES DE L'ÉVÉNEMENT

L'ILL identifie les cinq causes profondes suivantes :

- la tonalité du klaxon neutronique au pupitre est identique pour une BPC ou un AU ;
- la valeur maximale atteinte par la pression du deutérium n'est pas visible sur l'écran de la supervision car « hors échelle » sur l'affichage ;
- le chef de quart ne réalise pas un contrôle contradictoire approprié de l'état du réacteur ;
- le conducteur de pile gère seul les alarmes sur les baies d'affichage ;
- un signal hors gamme externe génère l'apparition de défauts sur l'automate assurant le contrôle des compresseurs du circuit de réfrigération des sources froides.

Si l'identification de ces cinq causes profondes n'appelle pas de remarque, l'IRSN souligne que, en cas de retentissement du klaxon neutronique, la première action prévue dans les procédures de conduite du réacteur est la vérification, sur le pupitre de conduite, de la position basse des cinq barres de sécurité, ce qui n'a pas été réalisé par l'équipe de quart. L'application rigoureuse des procédures de conduite aurait donc permis à l'équipe de quart de prendre conscience d'une erreur d'interprétation quant au non-arrêt complet du réacteur.

L'IRSN considère donc que l'ILL doit prendre des dispositions pour, qu'en cas d'apparition d'alarmes en salle de contrôle, l'équipe de quart consulte et mette en application la documentation de conduite prévue à cet effet. L'ILL s'est engagé (cf. Engagement N° 1 en ANNEXE 2 au présent avis) à prendre des dispositions en ce sens avant fin juin 2023 pour les alarmes relatives à la protection du réacteur ou à une situation incidentelle ou accidentelle survenant dans l'installation et décrite dans le référentiel de sûreté. Il a indiqué à cet égard qu'il allait en particulier mettre en place des dispositions visant à faciliter l'identification de ces alarmes en salle de conduite. **L'IRSN estime que les évolutions prévues sont, dans le principe, de nature à améliorer la conduite du réacteur mais estime que, dans l'attente de leur mise en œuvre effective, il appartient à l'ILL de prendre sans délai des dispositions afin que l'équipe de quart consulte et applique strictement la documentation de conduite en cas d'apparition d'alarmes dans les situations précitées.**

3. ACTIONS CORRECTIVES ET PREVENTIVES

3.1. ERGONOMIE DE LA SALLE DE CONTRÔLE

Dans un premier temps, l'ILL a modifié l'échelle des courbes de pression dans les circuits deutérium affichées sur les écrans de supervision² afin que les opérateurs puissent suivre l'évolution de la pression dans toute la gamme de variation possible. **L'IRSN estime que cette action est satisfaisante. Toutefois, pour l'IRSN, une vérification plus générale que les affichages en salle de contrôle permettront un suivi efficace, à une échelle adaptée, de**

² La supervision consiste en l'affichage, sur huit écrans positionnés à gauche et à droite du pupitre du conducteur de pile, des paramètres de l'installation et des alarmes en cours avec possibilité de modification des affichages au besoin.

l'ensemble des paramètres devant être contrôlés lors du fonctionnement du réacteur est nécessaire. À cet égard, l'ILL a indiqué au cours de l'expertise qu'un travail en ce sens a été engagé, **ce qui est satisfaisant.**

Dans un second temps, l'ILL retient la mise en place, à échéance de fin 2022, d'une alarme visuelle ou sonore spécifique à la chute des barres de sécurité et suffisamment distincte des autres alarmes neutroniques. **Ceci est également satisfaisant.**

L'IRSN relève toutefois qu'une autre difficulté liée à l'affichage des informations a conduit le chef de quart à ne pas réaliser le contrôle contradictoire approprié de l'état du réacteur tel que prévu par les procédures de conduite. En effet, lors de son arrivée en salle de contrôle, le chef de quart a porté son attention sur l'écran principal qui affiche la puissance thermique du réacteur. Or, cette dernière présente un décalage temporel³ avec la puissance instantanée du réacteur (indiquée par la puissance neutronique). Le chef de quart ayant connaissance, par expérience, de ce décalage, l'affichage d'une puissance de fonctionnement du réacteur non nulle ne l'a pas conduit à mettre en cause le diagnostic d'arrêt du réacteur communiqué par le conducteur de pile. **Aussi, l'IRSN estime que l'ILL devrait faire évoluer la visibilité ou l'affichage des informations relatives aux deux types de puissance du réacteur (thermique et neutronique). Ceci fait l'objet de l'Observation N° 1 présentée en ANNEXE 3 au présent avis.**

3.2. FORMATION DES EQUIPES DE QUART

L'ILL a présenté le retour d'expérience (REX) de l'évènement du 26 août 2021 lors de la réunion semestrielle des chefs de quart du 1^{er} décembre 2021, **ce qui est satisfaisant.** Puis, il a indiqué qu'il intégrera ce REX dans les prochaines formations des équipes de quart. **Pour l'IRSN, la cause profonde relative au défaut d'application des procédures de conduite disponibles en salle de contrôle devra être intégrée à ce REX. Par ailleurs, il appartiendra à l'ILL de présenter aux équipes de quart, lors de ces formations, les modifications mises en place concernant l'ergonomie de la salle de contrôle et la documentation opérationnelle associée.**

3.3. REPARTITION DES ROLES DE L'EQUIPE DE QUART

L'ILL prévoit de clarifier, dans une note d'organisation, le rôle de chaque équipier de quart en situation de fonctionnement dégradée du réacteur. Cette note précisera en particulier qu'un opérateur habilité à la conduite du réacteur doit être présent au pupitre pour assurer la surveillance neutronique. L'IRSN relève cependant que l'ILL ne définit pas d'effectif minimum requis en salle de contrôle et estime que cette action de clarification des rôles devrait être étendue aux situations normales, incidentelles et accidentelles. **Il appartiendra donc à l'ILL de préciser le nombre minimal d'opérateurs requis en salle de contrôle et de définir une répartition claire des rôles des différents membres de l'équipe de quart pour la conduite du réacteur en situation normale, dégradée, incidentelle ou accidentelle.** L'ILL s'est par ailleurs engagé (cf. Engagement N° 2 en ANNEXE 2 au présent avis) à présenter, lors du prochain recyclage de formation des conducteurs de pile, la clarification des missions et de la répartition des rôles entre équipiers de quart selon les situations et à vérifier leur bonne compréhension par les équipiers. **Ceci est satisfaisant.**

3.4. DIAGNOSTIC DE L'ETAT DE L'INSTALLATION ET ARRET D'URGENCE MANUEL

L'IRSN relève que, en cas d'apparition simultanée de plusieurs alarmes, le choix de l'alarme à prioriser par l'équipe de quart est réalisé sur la base de l'expérience du conducteur de pile, sans être guidé par des documents formalisés. De plus, l'IRSN souligne que, à ce stade, le traitement d'une alarme par l'équipe de quart ne lui permet pas d'avoir une vision d'ensemble de la situation et des éventuels cumuls de défaillances en présence. **En tout état de cause, selon l'IRSN, en cas d'apparition d'alarmes simultanées, un diagnostic global de l'état de**

³ La puissance thermique est calculée à partir d'un bilan thermique, qui utilise une température mesurée au niveau A (sous-sol du bâtiment réacteur) et non au niveau du cœur du réacteur, ce qui induit un décalage temporel par rapport à la puissance instantanée du réacteur.

l'installation doit être réalisé selon un document d'orientation afin de guider l'équipe de quart vers les procédures à appliquer. Ceci fait l'objet de la Recommandation N° 1 formulée en ANNEXE 1 au présent avis.

Par ailleurs, l'ILL s'est engagé à mettre en place une action complémentaire d'arrêt manuel du réacteur à la suite d'un signal d'arrêt automatique du réacteur (cf. Engagement N° 3 en ANNEXE 2 au présent avis). **Ceci est satisfaisant.**

4. ANALYSE DE SURETE DES SOURCES FROIDES

Le circuit réfrigérateur en hélium n'est pas classé élément important pour la protection des intérêts relatifs à la sûreté (EIP-S). Ce dernier, comme indiqué précédemment, assure le refroidissement (i.e. le maintien à l'état liquide) et prévient ainsi l'augmentation de pression dans le circuit deutérium. À cet égard, des capteurs permettent de mesurer la pression dans le circuit deutérium et, sur atteinte d'un seuil « haut » ou « très haut » de pression dans le circuit deutérium, la BPC ou l'AU sont respectivement actionnés.

En cas de défaillance du circuit réfrigérateur en hélium, les cellules des sources froides, classées EIP-S, s'échauffent, ce qui peut induire un risque de perte de leur intégrité par assèchement, notamment en cas de défaillance cumulée de l'AU. Par ailleurs, l'IRSN note que la rupture des cellules des sources froides normalement réfrigérées, étudiée par l'ILL dans son rapport de sûreté, conduit à des conséquences radiologiques⁴. En fin d'expertise, l'ILL a indiqué que, en cas de défaillance du circuit réfrigérateur en hélium, une éventuelle rupture de la cellule interviendrait alors que le deutérium s'est déjà vaporisé dans le ballast, ce qui éviterait tout rejet à l'environnement. **Pour l'IRSN, l'analyse fournie par l'ILL sur ce point reste qualitative et ne permet pas de conclure à l'absence complète de conséquences radiologiques en cas de rupture des cellules des sources froides.**

Par ailleurs, l'IRSN relève que les cellules des sources froides n'ont pas de durée de vie définie sous irradiation et ne font pas l'objet de contrôles en service du fait de leur inaccessibilité.

Aussi, la prévention du risque d'augmentation de la pression et de la température du deutérium dans les cellules des sources froides pendant les phases de fonctionnement du réacteur doit être renforcée. **Aussi, l'IRSN estime en particulier nécessaire que les modalités de fonctionnement du circuit réfrigérateur en hélium intègrent, quel que soit le niveau de puissance du réacteur, une redondance des compresseurs assurant le refroidissement du deutérium des sources froides. Ceci fait l'objet de la Recommandation N° 2 formulée en ANNEXE 1 au présent avis.**

5. REDEMARRAGE DU REACTEUR APRES L'EVENEMENT

L'autorisation de redémarrage du réacteur à la suite de l'événement du 26 août 2021 est tracée dans une procédure d'intervention remplie par l'équipe de quart. Cette procédure précise que l'accord pour le redémarrage du réacteur peut être donné par courrier électronique, hors heures ouvrables. Or, dans le cas de l'événement en question, cet accord n'a été donné que par téléphone. **L'IRSN rappelle qu'une communication écrite permet de formaliser et de conserver l'ensemble des éléments corroborant la décision d'autorisation et de garder une trace exploitable en vue, le cas échéant, d'un besoin de retour d'expérience. Ceci conduit l'IRSN à formuler l'Observation N° 2 présentée en ANNEXE 3 au présent avis.**

⁴ Le deutérium n'est pas radioactif, cependant, son activation sous flux neutronique produit du tritium qui se mélange au deutérium.

6. CONCLUSION

Sur la base du CRES de l'évènement survenu le 26 août 2021 et des éléments recueillis au cours de son expertise, l'IRSN estime que les actions retenues par l'ILL à la suite de l'évènement sont globalement de nature à prévenir le risque de renouvellement d'un évènement similaire.

Toutefois, l'IRSN estime que ces actions doivent être complétées selon les recommandations formulées dans le présent rapport.

IRSN

Le Directeur général
Par délégation
Olivier DUBOIS
Directeur Adjoint de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2022-00124 DU 15 JUIN 2022

Recommandations de l'IRSN

Recommandation N° 1

L'IRSN recommande que l'ILL élabore et mette en application un document d'orientation initiale permettant à l'équipe de quart de prioriser les alarmes, de réaliser un diagnostic de la situation et d'orienter le choix des procédures à appliquer en cas de situation incidentelle ou accidentelle.

Recommandation N° 2

L'IRSN recommande que les règles générales d'exploitation de l'INB n° 67 prévoient une redondance des compresseurs du circuit de réfrigération des sources froides quel que soit le niveau de puissance du réacteur.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2022-00124 DU 15 JUIN 2022

Engagements principaux de l'exploitant

Engagement N° 1

L'ILL s'engage à prendre des dispositions pour assurer, qu'en cas d'apparition d'alarmes en salle de contrôle, relatives à la protection du réacteur ou à une situation incidentelle ou accidentelle décrite dans le référentiel de sûreté, l'équipe de quart consulte et mette en application la documentation de conduite prévue à cet effet. Ces dispositions seront mises en œuvre avant fin juin 2023.

Engagement N° 2

L'ILL s'engage à présenter, lors du prochain recyclage de formation des conducteurs de pile, la clarification des missions et de la répartition des rôles entre équipiers de quart en situation normale, dégradée, incidentelle et accidentelle formalisées dans la note d'organisation DIR-36 indice A. La bonne compréhension et appropriation des missions et de la répartition des rôles par l'ensemble du personnel des équipes de quart sera vérifiée par l'ILL, par exemple à l'occasion de mises en situation (exercices internes).

Engagement N° 3

L'ILL s'engage à ajouter dans la CPE n° 189 que l'arrêt du réacteur doit être actionné manuellement à la suite d'un arrêt automatique du réacteur. Cette modification sera effectuée avant le prochain cycle du réacteur en 2023.

ANNEXE 3 A L'AVIS IRSN N° 2022-00124 DU 15 JUIN 2022

Observations de l'IRSN

Observation N° 1

L'IRSN estime que l'ILL devrait faire évoluer la visibilité ou l'affichage des informations relatives aux puissances neutronique corrigée et thermique afin de prévenir le risque de mauvaise interprétation de l'état du réacteur par l'équipe de quart en salle de contrôle.

Observation N° 2

L'IRSN estime que l'ILL devrait rappeler aux équipes de quart et aux ingénieurs de service que l'autorisation de redémarrage du réacteur à la suite d'un arrêt automatique ou manuel non programmé doit être formalisée par voie écrite avec horodatage.