

Fontenay-aux-Roses, le 18 novembre 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00254

Objet : Institut Laue-Langevin  
INB n° 67 - Réacteur à haut flux  
Modification de la temporisation d'arrêt des pompes du circuit de refroidissement arrêt barre (CRAB)

Réf. [1] Lettre ASN Codep-Lyo-2018-055722 du 22 novembre 2018  
[2] Lettre ASN CODEP-DRC-2012-048088 du 29 octobre 2012

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur un dossier de modification établi pour le réacteur à haut flux (RHF) par l'Institut Laue-Langevin (ILL), exploitant de cette installation nucléaire de base située à Grenoble. Cette modification consiste en l'augmentation de la temporisation d'arrêt des pompes du circuit de refroidissement arrêt barre (CRAB) sur le deuxième seuil de détection d'une basse pression en sortie du cœur.

## 1 CONTEXTE ET DESCRIPTION DE LA MODIFICATION

### 1.1 Le réacteur

Le RHF est un réacteur de recherche d'une puissance thermique de 58,3 MW, délivrant des faisceaux de neutrons. Son cœur, composé d'un seul élément combustible (EC) constitué de plaques d'uranium enrichi en <sup>235</sup>U disposées entre deux viroles concentriques, est refroidi et modéré par un circuit primaire en eau lourde légèrement pressurisé. Le contrôle de la réactivité de ce cœur est assuré par la barre de pilotage qui s'insère dans la cavité centrale de l'EC. L'arrêt d'urgence du réacteur est provoqué par la chute, autour du cœur, de cinq barres de sécurité (BS). L'eau lourde du circuit primaire circule à travers le collecteur d'entrée cœur et la cheminée du réacteur puis se répartit entre les plaques et la cavité centrale de l'EC. Après son passage entre les plaques de l'EC, l'eau lourde est répartie au sein du bidon réflecteur qui entoure le cœur et assure également le rôle de réflecteur neutronique. Cette circulation est assurée par les pompes primaires principales *via* le circuit primaire principal. L'eau lourde qui circule dans la cavité centrale de l'EC rejoint quant à elle le circuit de refroidissement arrêt barre (CRAB), qui dispose de ses propres pompes. Des doigts de gants, qui pointent vers l'intérieur du bidon réflecteur,

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

permettent d'extraire et de guider les neutrons pour les expériences (cf. Annexe 1). Le bloc-pile est une structure métallique reposant au fond de la piscine en eau légère du réacteur et constituée notamment du bidon réflecteur et des doigts de gant.

## 1.2 Le refroidissement du cœur à l'arrêt du réacteur

L'arrêt du réacteur est assuré par la chute des BS et l'arrêt des pompes primaires principales, précédés, lorsque l'arrêt est programmé, par l'insertion de la barre de pilotage. L'arrêt des pompes primaires principales conduit à la mise en communication, par l'ouverture du clapet de refroidissement arrêt (cf. Annexe 1), du circuit primaire principal et du circuit CRAB. La circulation de l'eau lourde pour le refroidissement de l'EC est alors assurée, en convection forcée, par les pompes CRAB. L'arrêt de celles-ci (24 h après l'arrêt du réacteur en fonctionnement normal) conduit à un équilibrage des pressions entre l'amont et l'aval du cœur et à l'ouverture de cinq clapets (quatre clapets de convection naturelle sur le circuit primaire principal et le circuit CRAB et un clapet casse-siphon sur le circuit primaire principal) permettant la mise en place d'une circulation en convection naturelle dans le bloc-pile, dans le sens opposé à celui de la convection forcée (cf. Annexe 1).

En situation accidentelle, le refroidissement de l'EC est assuré, d'après l'ILL, tant que l'inventaire en eau dans le bloc-pile est suffisant pour qu'au moins un des trois clapets de convection naturelle du circuit primaire principal soit sous eau et ouvert. En cas de brèche primaire, la dépressurisation du circuit primaire induite est détectée par la mesure de la pression en sortie du cœur, celle-ci étant de 4 bars en fonctionnement nominal. L'atteinte d'un premier seuil à 3,4 bars enclenche l'arrêt des pompes primaires principales et la chute des BS. Suite au franchissement d'un deuxième seuil fixé à 2 bars, les pompes CRAB sont arrêtées et le refroidissement du cœur passe alors en convection naturelle suite à l'ouverture de clapets. Pour les brèches en dehors de la piscine du réacteur, qui conduisent à une diminution de l'inventaire en eau, le réacteur dispose d'un moyen de sauvegarde passif pour empêcher le siphonage du bloc-pile : les tuyauteries en amont et en aval du bloc-pile sont en effet en forme de crosse et équipées d'un clapet casse-siphon (cf. Annexe 1). Le réacteur dispose également de moyens de sauvegarde actifs d'appoint en eau.

## 1.3 Réévaluation de l'accident de rupture du collecteur d'entrée cœur

L'accident de rupture du collecteur d'entrée cœur conduit à une dépressurisation rapide du circuit primaire et à l'atteinte du premier seuil de détection d'une basse pression en sortie du cœur, ce qui enclenche la chute des BS et l'arrêt des pompes primaires principales. Un débit de circulation est cependant maintenu entre les plaques de l'EC compte tenu de l'inertie des pompes primaires principales, ce qui conduit à l'arrivée d'un mélange d'eau lourde et d'eau légère dans la cheminée du réacteur puis entre les plaques de l'EC. La présence d'eau légère, ayant un pouvoir de ralentissement des neutrons plus élevé que l'eau lourde, entraîne alors une insertion brutale de réactivité.

Lors de la réévaluation des conséquences de cet accident en 2005, l'ILL a mis en évidence que le cumul de la brèche et de la défaillance de la chute d'une BS pourrait conduire à un transitoire de criticité prompte<sup>1</sup>. La réalisation par l'ILL d'une série d'approches sous critiques du cœur dans un mélange d'eau légère et d'eau lourde, dans l'objectif de montrer que l'anti-réactivité apportée par les BS était sous-estimée, n'a toutefois pas permis d'exclure totalement ce risque. L'ASN a donc demandé à l'ILL, par la lettre citée en seconde référence, de reconsidérer « *le*

---

<sup>1</sup> Les neutrons retardés sont émis par les fragments de fission avec un retard de quelques secondes par rapport aux neutrons prompts. Bien que représentant un faible pourcentage des neutrons émis, ce sont eux qui, par ce décalage dans le temps, permettent *in fine* le pilotage des réacteurs. En cas d'insertion de réactivité supérieure à la fraction effective de neutrons retardés (fraction représentant le rapport entre le nombre de neutrons thermiques issus des neutrons retardés et le nombre total de neutrons thermiques présents dans le réacteur, notée  $B_{eff}$ ), l'excursion de puissance est extrêmement rapide. Cet événement redouté est appelé accident de criticité prompte.

*dimensionnement neutronique du système de protection du réacteur » ou, « 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 [cœur] ». En complément de la modification des absorbants des BS visant à augmenter leur anti-réactivité, l'ILL a transmis, dans le cadre du réexamen de sûreté de 2017, une étude concluant que, si le deuxième seuil de détection d'une basse pression en sortie du cœur est atteint, le maintien temporaire en fonctionnement des pompes CRAB permet de limiter l'insertion de réactivité dans le cœur et d'éviter, dans le cas de la défaillance d'une BS, un transitoire de criticité prompt<sup>1</sup>.*

## **1.4 Description de la modification**

Le dossier de modification transmis par l'ILL, objet du présent avis, porte sur l'augmentation de la temporisation d'arrêt des pompes CRAB sur le deuxième seuil de détection d'une basse pression en sortie du cœur en vue de limiter, dans le cas d'une brèche primaire dans la piscine du réacteur en amont du cœur, l'insertion de réactivité. Dans le dossier de l'ILL, cette temporisation est fixée à une valeur comprise entre 8 et 15 secondes, la modification consistant à déplacer un cavalier sur une carte de contrôle-commande.

En réponse à la demande de l'ASN citée en première référence, l'IRSN a vérifié, pour cette modification, l'absence de régression de la sûreté de l'installation. Cette expertise a été menée, d'une part, sur l'accident de rupture du collecteur d'entrée cœur, d'autre part, sur les accidents pour lesquels le deuxième seuil de détection d'une basse pression en sortie du cœur pourrait être sollicité.

De son évaluation du dossier transmis par l'ILL, complété par les éléments recueillis au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principales conclusions ci-dessous.

## **2 CONSÉQUENCES SUR LA SÛRETÉ DE LA MODIFICATION**

### **2.1 Brèches primaires dans la piscine du réacteur en amont du cœur**

En cas de brèche primaire dans la piscine du réacteur en amont du cœur, la mise en place d'une temporisation sur l'arrêt des pompes CRAB maintient le refroidissement de l'EC en convection forcée tout au long de cette temporisation grâce à ces pompes et à l'inertie des pompes primaires principales (cf. paragraphe 1.2 et Annexe 1) et retarde la transition vers la convection naturelle. Cette transition, au cours de laquelle le refroidissement de l'EC est temporairement dégradé, intervient ainsi à une puissance résiduelle moindre de l'EC, ce qui est favorable à la maîtrise du refroidissement.

L'évolution de la réactivité au cours de l'accident de rupture du collecteur d'entrée cœur, scénario dimensionnant pour les brèches primaires dans la piscine du réacteur en amont du cœur, est évaluée dans l'étude couplée de neutronique et de thermo hydraulique présentée par l'ILL dans le cadre du réexamen de sûreté de 2017. Cette étude montre que l'insertion d'eau légère dans la cavité centrale de l'EC induite par le maintien en fonctionnement des pompes CRAB contribue à diminuer l'augmentation de la réactivité provoquée par l'insertion d'eau légère entre les plaques de l'EC. Selon cette étude, avec l'arrêt des pompes CRAB suite à la détection de la brèche, le transitoire devient critique pendant 3 secondes environ alors que la réactivité reste négative sur l'ensemble du transitoire lorsque les pompes CRAB sont maintenues en fonctionnement. L'étude présentée par l'ILL établit également que, lorsque les pompes CRAB sont maintenues en fonctionnement, la réactivité est stable dès 7 secondes après le début du transitoire, ce qui justifie le choix de l'intervalle retenu pour la temporisation d'arrêt des pompes CRAB entre 8 et 15 secondes. L'expertise de l'IRSN confirme que l'insertion d'eau légère dans la cavité centrale par les pompes CRAB est favorable

à la maîtrise de la réactivité. Par ailleurs, les calculs neutroniques réalisés par l'IRSN, sur la base des évolutions de proportion d'eau légère dans l'eau lourde du circuit primaire évaluées par l'ILL, tendent à montrer que le risque de criticité peut être écarté lors de l'accident de rupture du collecteur d'entrée, lorsque les pompes CRAB sont maintenues en fonctionnement pendant au moins 7 secondes.

**En conséquence, l'IRSN considère que la modification envisagée est favorable à la maîtrise de la réactivité et du refroidissement en cas d'accident de brèche primaire dans la piscine du réacteur en amont du cœur.**

## **2.2 Autres scénarios de brèches primaires**

D'autres types de scénarios de brèche primaire peuvent conduire à l'atteinte du deuxième seuil de détection d'une basse pression en sortie du cœur et peuvent donc être affectés par la modification.

Pour les brèches primaires dans la piscine du réacteur en aval du cœur pour lesquelles le circuit primaire est mis en communication avec la piscine du réacteur en eau légère, comme la rupture du collecteur de sortie cœur, l'inventaire en eau reste maintenu et l'insertion potentielle d'eau légère en aval du cœur est sans conséquence sur la réactivité. Pour les brèches sur les équipements du bloc-pile situés en aval du cœur, tels que les doigts de gant, pour lesquelles il n'y a pas de mise en communication du circuit primaire avec la piscine du réacteur, la perte de l'inventaire en eau lourde est limitée, sauf en cas de défaillances multiples, au volume de l'équipement sur lequel la brèche est considérée. Par ailleurs, pour ces deux types de brèches, grâce à la modification, la transition de la convection forcée vers la convection naturelle, au cours de laquelle le refroidissement de l'EC est temporairement dégradé, intervient à une puissance résiduelle de l'EC moindre (cf. paragraphe 2.1), ce qui est satisfaisant. **L'IRSN considère par conséquent que la modification envisagée par l'ILL n'a pas de conséquence négative sur la sûreté pour les brèches primaires en aval du cœur pour lesquelles l'inventaire en eau est soit maintenu, soit limité au volume d'un équipement.**

En ce qui concerne les brèches primaires en dehors de la piscine du réacteur caractérisées par la mise en communication du circuit primaire avec le bâtiment réacteur, l'analyse de sûreté de l'ILL s'appuie sur les dispositifs casse-siphon pour maintenir un inventaire en eau suffisant et sur le passage du refroidissement en convection naturelle. L'IRSN relève que le maintien en fonctionnement des pompes CRAB<sup>2</sup> va retarder l'ouverture des clapets casse-siphon et de convection naturelle. Or, l'ILL n'a pas justifié la compatibilité de la temporisation retenue pour l'arrêt des pompes CRAB avec le délai requis pour l'ouverture des clapets qui doit intervenir avant le dénoyage des clapets de convection naturelle induit par la brèche primaire. **L'IRSN considère par conséquent que les éléments du dossier de l'ILL ne permettent pas, à ce stade, de se prononcer favorablement sur l'absence de régression de la sûreté consécutive à la modification envisagée en ce qui concerne les accidents de brèches primaires en dehors de la piscine du réacteur.** Une étude thermo hydraulique justifiant du refroidissement du cœur avec la modification envisagée par l'ILL est nécessaire pour ces accidents. **Ce point fait l'objet de la recommandation formulée en Annexe 2 au présent avis.**

## **3 MISE À JOUR DU RÉFÉRENTIEL DE SÛRETÉ**

Le dossier de modification comporte une mise à jour du référentiel de sûreté. L'évolution des règles générales d'exploitation n'appelle pas de remarque. L'IRSN relève toutefois que l'ILL n'a pas présenté dans le rapport de sûreté de mise à jour de l'analyse de sûreté prenant en compte la modification de la temporisation d'arrêt des pompes CRAB

---

<sup>2</sup> Le fonctionnement des pompes CRAB maintient en position fermée les clapets casse-siphon et de convection naturelle.

sur le deuxième seuil de basse pression en sortie du cœur. Ce point fait l'objet de l'observation formulée en Annexe 3 au présent avis.

## 4 CONCLUSION

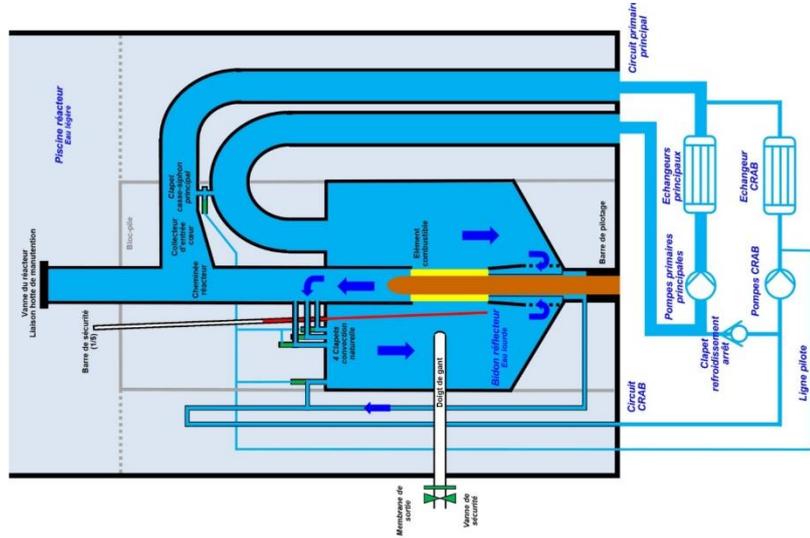
En conclusion de son évaluation, l'IRSN estime que, du point de vue de la sûreté, la modification envisagée par l'ILL de la temporisation d'arrêt des pompes CRAB à un intervalle compris entre 8 et 15 secondes sur le deuxième seuil de pression en sortie du cœur est de nature à réduire le risque de criticité prompte en cas de brèche sur le circuit primaire dans la piscine du réacteur en amont du cœur. La démonstration de l'absence de régression de la sûreté de l'installation pour l'ensemble des situations accidentelles doit toutefois être complétée en prenant en compte la recommandation formulée en annexe au présent avis. L'IRSN considère ainsi que l'ILL devra démontrer, en préalable à la mise en œuvre de la modification, que la mise en place d'une temporisation d'arrêt sur les pompes CRAB ne met pas en cause le refroidissement du cœur pour les scénarios d'accident de brèche, de diamètre moyen ou important, sur le circuit primaire en dehors de la piscine du réacteur.

Pour le Directeur général et par délégation,

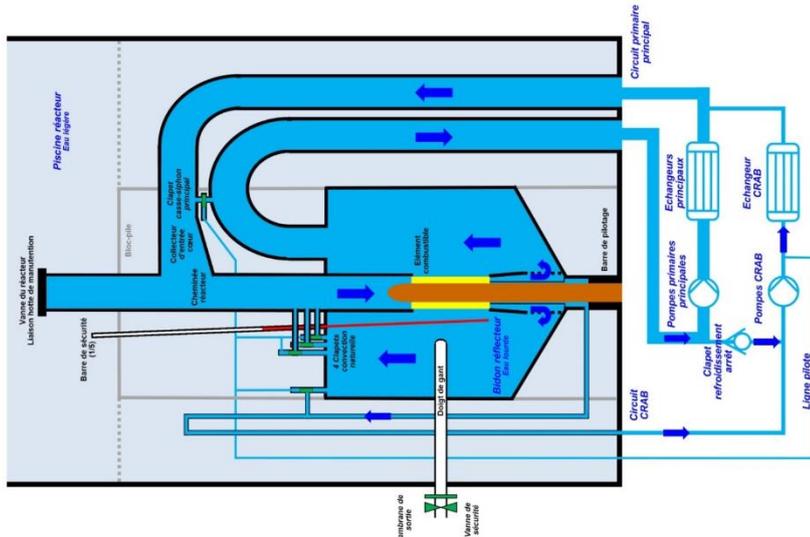
Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

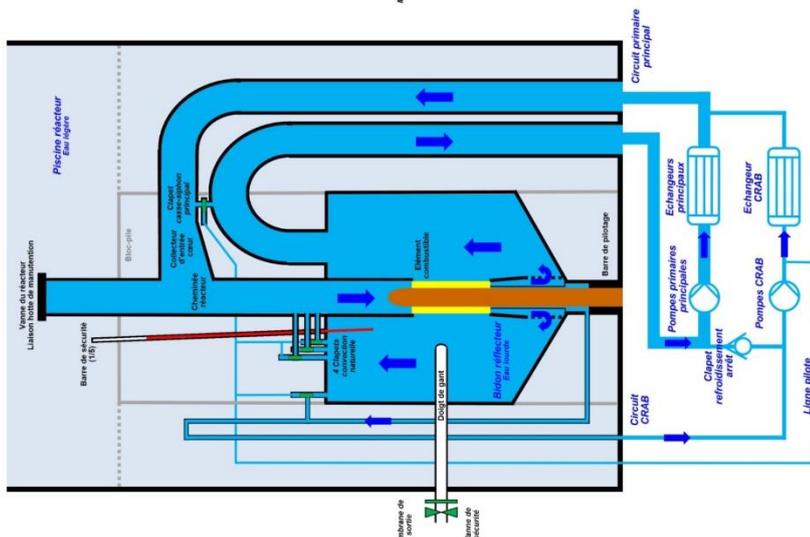
Annexe 1 à l'avis IRSN/2019-00254 du 18 novembre 2019  
 Schémas de principe du refroidissement du cœur du réacteur



**Refroidissement en convection naturelle**  
 Pompes principales à l'arrêt  
 Pompes CRAB à l'arrêt



**Refroidissement en convection forcée**  
 Pompes principales à l'arrêt  
 Pompes CRAB en fonctionnement



**Refroidissement en convection forcée**  
 Pompes principales en fonctionnement  
 Pompes CRAB en fonctionnement

Annexe 2 à l'avis IRSN/2019-00254 du 18 novembre 2019

Recommandation

L'IRSN recommande que l'ILL démontre que la mise en place d'une temporisation d'arrêt sur les pompes du circuit de refroidissement arrêt barre (CRAB) ne met pas en cause le refroidissement du cœur pour les scénarios d'accident de brèche, de diamètre moyen ou important, sur le circuit primaire en dehors de la piscine du réacteur.

**Annexe 3 à l'avis IRSN/2019-00254 du 18 novembre 2019**

**Observation**

L'IRSN estime que l'ILL devrait mettre à jour l'analyse de sûreté par conditions de fonctionnement pour prendre en compte la temporisation d'arrêt des pompes du circuit de refroidissement arrêt barre (CRAB) sur détection d'une pression très faible en sortie du cœur, notamment son incidence sur le refroidissement du cœur.