

Fontenay-aux-Roses, le 24 octobre 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2018-00283

Objet : CEA/Cadarache  
Réacteur Jules Horowitz (INB n° 172)  
Débit des pompes primaires du RJH en fonctionnement dégradé

Réf. [1] Lettre ASN CODEP-DEP-2017-004392 du 7 mars 2017  
[2] Lettre ASN CODEP-DEP-2012-038415 du 18 juillet 2012

Par lettre citée en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les éléments transmis par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) en réponse à la demande D.1 suivante formulée par l'ASN dans la lettre citée en référence [2] : « *je vous demande [...] de justifier que, pendant la phase transitoire précédant le fonctionnement nominal des deux voies RUC suite à une brèche primaire en piscine, les pompes primaires en fonctionnement dégradé garantissent un débit primaire supérieur au débit nominal des deux voies RUC* ».

### **1. Contexte**

Le Réacteur Jules Horowitz (RJH), d'une puissance thermique nominale limitée à 100 MW, est refroidi par un circuit primaire principal (RPP) en eau légère. Ce circuit est constitué de trois files comportant chacune un échangeur et une pompe primaire, connectées à une file unique en amont du cœur. Le tronçon du circuit primaire situé dans la piscine du réacteur en amont du cœur (file unique) est classé équipement sous pression nucléaire (ESPN) de niveau 2, ce qui suppose de démontrer qu'en cas de défaillance de ce tronçon des mesures permettent de ramener l'installation dans un état sûr. A défaut, un classement ESPN de niveau 1 serait requis. Ce tronçon est un élément particulier de par sa conception et sa fabrication renforcées par rapport au reste du circuit primaire, en raison des conséquences potentielles de sa rupture, eu égard notamment au risque de fusion généralisée du cœur. En réponse à un engagement pris dans le cadre du rapport préliminaire de sûreté (RPrS), le CEA a transmis en 2009 les résultats des études relatives aux différents scénarios de rupture guillotine doublement débattue du circuit primaire en piscine (RGEP). Ces scénarios conduisent à une dépressurisation du

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

circuit RPP qui engendre un arrêt d'urgence du réacteur et la cavitation (dégradation du rendement) des pompes primaires. À l'issue de l'analyse de ces éléments, l'IRSN a estimé que l'hypothèse d'un démarrage instantané du système de réfrigération de sauvegarde (voies RUC) retenue par le CEA, pour le scénario considérant les pompes primaires du RPP comme étant « bloquées » une seconde après l'ouverture de la brèche, n'était pas réaliste. De plus, les calculs réalisés par l'IRSN montrent qu'une montée en régime progressive des systèmes de réfrigération de sauvegarde ne permet pas de maintenir la réfrigération du cœur pour ce scénario. Ceci a conduit l'ASN à formuler la demande D.1 précitée afin de s'assurer que le niveau 2 de classement ESPN du tronçon du circuit primaire en piscine est suffisant.

De l'examen des éléments transmis par le CEA en réponse à cette demande, complétés par les éléments recueillis au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux points ci-après.

## **2. Analyse des conséquences d'une rupture complète du tronçon du circuit primaire en piscine en amont du cœur**

L'étude transmise par le CEA présente un calcul dit de référence, des calculs complémentaires et des études de sensibilité. Dans cette étude, trois évolutions majeures sont retenues par rapport aux études précédentes. Elles concernent :

- les critères permettant de démontrer l'absence d'endommagement significatif des éléments combustibles ;
- les caractéristiques des pompes primaires en fonctionnement dégradé de cavitation ;
- la modélisation à une échelle plus fine du cœur.

**L'IRSN considère que le respect des critères retenus par le CEA dans cette étude permet effectivement de garantir l'intégrité des gaines des plaques combustibles constituant la première barrière entre la matière radioactive et l'environnement.** L'IRSN relève toutefois qu'un dernier critère permettant de s'assurer de l'absence de flambage des plaques combustibles a été défini par le CEA. Si la température maximale de la gaine obtenue dans les calculs du CEA reste en dessous de la valeur retenue pour ce critère, des compléments de justification restent attendus de la part du CEA en appui de la demande de mise en service de l'installation afin de valider la valeur retenue pour ce critère.

Les caractéristiques des pompes primaires en fonctionnement dégradé de cavitation ont été déterminées à partir d'essais réalisés par le constructeur. L'IRSN considère acceptable la méthodologie mise en œuvre pour déterminer la fonction modélisant la dégradation des caractéristiques des pompes primaires, similaire à celle utilisée pour les réacteurs de puissance. Néanmoins, l'IRSN estime que le nombre d'essais (trois) utilisé pour élaborer cette fonction est insuffisant. A titre indicatif, l'élaboration des caractéristiques de pompes en fonctionnement dégradé pour les réacteurs de puissance a nécessité l'exploitation d'environ cinquante essais. En conséquence, la validité de la modélisation des pompes en fonctionnement dégradé de cavitation n'est pas acquise. **Toutefois, l'IRSN estime que l'étude de sensibilité effectuée par le CEA, qui retient une hypothèse de dégradation accrue du rendement des pompes primaires, permet de pallier les lacunes de validation de la fonction modélisant la dégradation des caractéristiques des pompes primaires par cavitation.**

La modélisation du cœur a été modifiée et fait ressortir désormais l'élément combustible le plus chaud du cœur des autres éléments combustibles du réacteur. Ainsi, la nouvelle modélisation produite n'est plus constituée d'un « cœur moyenné », représentant l'ensemble des éléments combustibles. **L'IRSN estime positive cette évolution conduisant à une modélisation plus fine du cœur.**

Le calcul dit de référence et les calculs complémentaires sont réalisés en retenant des hypothèses réalistes sans prendre en compte d'incertitudes sur les paramètres d'intérêts. **Ceci n'appelle pas de remarque compte tenu des études de sensibilité présentées par le CEA pour différents paramètres d'intérêts visant à s'assurer de l'absence d'effet falaise susceptible de conduire à une fusion généralisée du cœur ou à une interaction explosive entre le combustible fondu et l'eau.** Toutefois, l'IRSN rappelle que les méthodes retenues pour l'étude des scénarios de brèches primaires qui sont utilisées pour l'étude de la rupture complète du tronçon du circuit primaire en piscine en amont du cœur, ainsi que la qualification du schéma de calcul, n'ont pas encore été analysées par l'IRSN. Aussi, la conclusion de l'IRSN formulée dans le présent avis reste sous réserve des conclusions de l'examen de ces éléments. Par ailleurs, dans les calculs, le CEA considère une montée progressive en régime des systèmes de refroidissement de sauvegarde (voies RUC). **Cette hypothèse réaliste est satisfaisante.**

Le calcul dit de référence du CEA conclut que le fonctionnement dégradé des pompes primaires assure un débit supérieur au débit des voies RUC permettant de refroidir le cœur du réacteur et que les critères définis sont respectés. Toutefois, compte tenu que ces critères sont vérifiés seulement en moyenne sur les éléments combustibles (notamment en moyenne sur l'élément combustible le plus chaud du cœur) et que les résultats obtenus sont proches des critères, l'IRSN considère qu'une fraction non significative du combustible (limitée à quelques plaques combustibles les plus chaudes du cœur) pourrait fondre ; **l'absence de fusion généralisée du combustible ou d'apparition du phénomène d'interaction explosive entre le combustible fondu et l'eau n'est cependant pas mise en cause.**

**Par ailleurs, l'IRSN estime exhaustive la liste des calculs complémentaires et des études de sensibilité réalisés par le CEA.** Ces dernières concluent que les deux paramètres les plus influents sur les résultats sont le temps d'ouverture de la brèche et le facteur de puissance de l'élément combustible le plus chaud. Ce facteur de puissance est associé à l'élément combustible le plus chaud afin de représenter la répartition de puissance du cœur.

Pour l'IRSN, l'étude de sensibilité sur le temps d'ouverture de la brèche conduit à un effet falaise car deux critères ne sont plus respectés. Cependant le CEA a indiqué lors de l'expertise que, d'un point de vue mécanique, le tronçon du circuit primaire en piscine en amont du cœur est classé en « moyenne énergie » selon les règles de conception et de construction des centrales nucléaires à eau pressurisée, ce qui permet de considérer qu'une rupture instantanée de la tuyauterie n'est pas envisageable. De plus, d'un point de vue hydraulique, le temps caractéristique pour atteindre 80 % du débit à l'ouverture complète de la brèche est évalué à 0,9 s par le CEA. **L'IRSN estime acceptable la justification apportée par la CEA.**

L'étude de sensibilité sur le facteur de puissance de l'élément combustible le plus chaud (incluant les incertitudes des études neutroniques) conclut à l'apparition d'un léger taux de vide de l'ordre de 3 % au sein de l'élément combustible le plus chaud. **L'influence de ce facteur sur les résultats n'est pas de nature à conduire à un effet falaise.** Cependant, l'IRSN rappelle que le caractère enveloppe du facteur de puissance dépend de la composition du cœur qui pourra évoluer au cours de la vie de l'installation (enrichissement du combustible utilisé, mise en pile de dispositifs expérimentaux non encore définis, etc.). A cet égard, le CEA a pris, lors de l'examen du RPrS, un engagement visant à « préciser la liste des « paramètres clés » pour lesquels il vérifiera, avant chaque chargement de combustible ou nouvelle expérimentation, la conformité aux valeurs du rapport de sûreté », en préalable à la mise en exploitation de l'installation.

### **3. Conclusion**

En conclusion, sur la base de l'examen des éléments transmis initialement et au cours de l'expertise par le CEA, l'IRSN estime recevable la démonstration de sûreté présentée par le CEA concernant la RGEP en piscine. En particulier, les calculs complémentaires et les études de sensibilité réalisés par le CEA permettent de démontrer la robustesse du calcul dit de référence. Aussi, l'IRSN estime que le classement ESPN en niveau 2 du tronçon du circuit primaire situé en piscine en amont du cœur n'est pas mis en cause.

Pour le Directeur général et par délégation,

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté