

Fontenay-Aux-Roses, le 15 janvier 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2021-00008

Objet : CNPE de Paluel – Demande de modification du seuil d'alarme marge min IPG, du seuil C4 et du seuil d'Arrêt Automatique du Réacteur par puissance linéique très élevée jusqu'à 3000 MWj/t pour le redémarrage du réacteur n° 2 de Paluel pour le cycle 24.

Réf. : [1] Saisine ASN - CODEP-CAE-2021-002523 du 13 janvier 2021.

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné les éléments transmis par EDF portant sur la demande d'autorisation de modification temporaire des règles générales d'exploitation (RGE) concernant le 24^e cycle d'irradiation du réacteur n° 2 du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Paluel exploité avec la gestion de combustible GEMMES. Cette demande porte sur une modification de seuils d'alarme¹ et d'arrêt automatique du réacteur (AAR) par « Puissance linéique très élevée » implémentés dans le système de protection intégré (SPIN) au début du cycle d'irradiation.

1 ORIGINE ET OBJET DE LA DEMANDE

Lors de la mise à l'arrêt du réacteur n° 2 de Paluel à l'issue de son 23^e cycle de production (PA223²), des dépôts de produits de corrosion ou CRUD (Chalk River Unidentified Deposit) ont été observés sur un grand nombre d'assemblages de combustible. Cette présence de CRUD a conduit EDF à ne pas recharger pour le cycle suivant les assemblages irradiés issus du 23^e cycle. Ainsi, le cœur du cycle PA224 est constitué d'une recharge neuve standard GEMMES³, de 88 assemblages neufs sous-enrichis spécialement fabriqués pour ce cycle et de 41 assemblages ayant déjà effectué entre un et trois cycles (réserve de gestion).

¹ Le seuil d'alarme « marge min IPG » et le seuil « C4 ».

² Paluel 223 : Paluel = site, 2 = numéro du réacteur, 23 = numéro de la campagne (cycle de production).

³ Un cœur standard pour les réacteurs de 1300 MWe en gestion GEMMES comporte 64 assemblages neufs et 129 assemblages ayant déjà effectué un ou plusieurs cycles en cœur.

Cette recharge atypique conduit à une importante déformation de la distribution de puissance vers le bas du cœur en début de cycle. Cette déformation a pour conséquence d'augmenter les puissances linéiques dans cette zone, et peut conduire à des marges insuffisantes en début de cycle vis-à-vis du seuil d'alarme en puissance linéique visant à se protéger vis-à-vis du risque de rupture de gaine par interaction entre la pastille et la gaine (risque IPG) (cf. §3.2).

En conséquence, EDF propose de décaler les seuils d'alarme et d'AAR par « Puissance linéique très élevée » à la hausse lorsque le déséquilibre axial de puissance⁴ est compris entre -17,5 % et 0 % et ce, afin de conserver une surveillance pertinente et d'assurer une marge d'exploitation suffisante par rapport à l'AAR en début de cycle. Cette modification sera implantée avant le premier passage au-dessus de 50 %Pn⁵ et ne sera pas prolongée au-delà de 3000 MWj/t⁶ d'épuisement du combustible.

Cette relaxation est en partie compensée par une pénalisation des facteurs radiaux de puissance (F_{xy} ⁷) associés à certaines configurations de grappes de commande pour lesquelles les marges d'exploitation sont jugées suffisantes.

Ainsi, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité au plan de la sûreté de la demande de modification transmise par EDF pour le cycle 24 du réacteur n° 2 de Paluel. En particulier, l'ASN souhaite connaître l'avis de l'IRSN sur :

- « l'exhaustivité de l'analyse d'impact de la demande, faite par EDF, sur le RDS et les chapitres [III,] VI, IX et X des RGE ;
- la justification des seuils relaxés ainsi que la majoration des facteurs radiaux (F_{xy}) telle que présentée par l'exploitant :
 - lors de la phase de montée en puissance,
 - après le palier de reconditionnement (8 jours de fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire (FPPI) supérieur à 70 %PN). »

2 DISPOSITIONS D'EXPLOITATION PARTICULIÈRES

Compte tenu du caractère atypique du cœur pour le cycle PA224 et de la relaxation des seuils, des dispositions d'exploitation sont prévues pour ce cycle. Tant que les seuils d'alarme et d'AAR par « Puissance linéique très élevée » sont relaxés :

- le réacteur ne peut pas fonctionner en réglage primaire de fréquence⁸ ;
- le fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire (FPPI), limité à 8 jours, n'est autorisé qu'en cas d'aléas d'exploitation et est interdit pour des niveaux de puissance compris entre 2 %Pn et 70 %Pn. Cette restriction ne sera effective qu'après un palier à forte puissance à l'issue de la première montée en puissance.

Par ailleurs, EDF prévoit de réduire la puissance maximale disponible du réacteur à 93 %Pn.

Ces restrictions permettent de limiter le risque IPG.

⁴ Ce paramètre indique la différence de puissance entre la moitié haute et la moitié basse du cœur.

⁵ Pourcent de la puissance nominale.

⁶ MégaWatt-jours/tonne, unité de mesure de l'épuisement du combustible, c'est-à-dire la quantité d'énergie qui en a été extraite.

⁷ Ces paramètres interviennent dans le calcul de la puissance linéique par le système de protection intégré. Leurs valeurs dépendent de la cote axiale du point de calcul et des grappes de commande présentes à cette cote.

⁸ En réglage primaire de puissance, la puissance du réacteur est adaptée de manière automatique en réaction à une variation de fréquence du réseau électrique. Ce mode de fonctionnement conduit à un risque IPG accru.

3 JUSTIFICATION DE LA RELAXATION DES SEUILS

Le dossier d'EDF vise à démontrer que la relaxation des alarmes et de l'AAR par « Puissance linéique très élevée » ne met pas en cause les conclusions des études du rapport de sûreté de la gestion GEMMES en référentiel VD3, référentiel en application pour le cycle PA224.

Les études du rapport de sûreté susceptibles d'être impactées défavorablement par la relaxation des seuils de puissances linéiques sont d'une part les études présentant un risque IPG mais également certaines études du domaine de dimensionnement.

3.1 ÉTUDES DU DOMAINE DE DIMENSIONNEMENT

L'IRSN estime que l'analyse présentée par EDF est exhaustive dans sa couverture du domaine de dimensionnement. EDF justifie l'absence de mise en cause des conclusions des études du domaine de dimensionnement par les conservatismes de ces études, permettant d'accommoder un éventuel impact défavorable de la modification, sans réduction sensible des marges de sûreté. **L'IRSN estime satisfaisantes les justifications apportées par EDF.**

3.2 ÉTUDES RELATIVES À L'INTERACTION PASTILLE GAINÉ

Un fonctionnement à puissance intermédiaire (entre 2 %Pn et 92 %Pn) pendant une longue durée conduit notamment à une réduction du diamètre de la gaine des crayons du combustible. Ce phénomène augmente le risque IPG en cas d'augmentation rapide de puissance lors d'un transitoire de catégorie 2⁹ tel que l'accident de retrait incontrôlé de groupes de régulations en puissance (RIGP), d'augmentation excessive de charge (AEC) ou de chute de grappe (CDG), dans la mesure où les pastilles de combustible se dilatent plus rapidement que la gaine.

Ainsi, le risque IPG augmente lors d'un fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire comme c'est le cas lors de la montée en puissance. À l'inverse, le risque IPG diminue progressivement lors d'un fonctionnement à une puissance supérieure à 92 %Pn. La maîtrise du risque IPG doit donc être démontrée lors de la première montée en puissance et en cours de cycle après un FPPI.

Il est à noter qu'EDF a déclaré en juin 2020 l'émergence d'une anomalie affectant les études IPG du rapport de sûreté de la gestion GEMMES en référentiel VD3. Cette anomalie, qui concerne les transitoires de CDG initiés avec un déséquilibre axial de puissance négatif, est en cours de traitement.

Au cours de la première montée en puissance

Au cours de l'expertise, EDF a apporté des éléments pour justifier l'absence de risque IPG lors d'une première montée en puissance respectant la durée conventionnellement autorisée de dix jours pour le démarrage, en prenant en compte la relaxation des seuils en puissance linéique.

Cette justification repose principalement sur un argumentaire qualitatif, centré sur l'étude de référence de la gestion GEMMES en référentiel VD3, dans laquelle les transitoires limitatifs sont le RIGP et l'AEC. L'IRSN estime que ces arguments permettent de justifier de manière satisfaisante l'absence d'impact significatif de la modification sur le risque IPG au cours de ces transitoires.

Néanmoins, cette justification ne tient pas compte de l'anomalie sur les transitoires de CDG. À cet égard, EDF considère que les caractéristiques de la recharge du cycle PA224 la rendent plus favorable vis-à-vis de la détection

⁹ Les transitoires de catégorie 2 correspondent à des situations incidentelles de fréquence modérée (fréquence d'apparition annuelle par réacteur supérieure à 10⁻²).

des CDG, que celles de l'étude de référence. Cela permet, selon EDF, de compenser la relaxation du seuil en puissance linéique.

Compte tenu des arguments avancés par EDF concernant les caractéristiques favorables de la recharge du cycle PA224 et de la faible durée de l'instant pénalisant correspondant à la fin de la montée en puissance¹⁰, **l'IRSN estime acceptable la relaxation prévue des seuils d'alarme et d'AAR pendant la phase de montée en puissance, en supposant que la durée de cette phase soit limitée à la durée conventionnellement autorisée.**

Au cours de l'expertise, EDF a indiqué viser une montée en puissance rapide, permettant de limiter le risque IPG. Le cas échéant, une justification complémentaire serait apportée en cas de risque de dépassement de la durée conventionnellement autorisée pour le démarrage. **L'IRSN estime cette démarche satisfaisante sur le principe.**

En cours de cycle

Le dossier d'EDF vise à démontrer l'absence de risque IPG après les huit jours de FPPI autorisés en cours de cycle, en tenant compte de la modification des protections (relaxation du seuil en puissance linéique et pénalisation des facteurs radiaux de puissance F_{xy}^7) et des dispositions d'exploitation particulières.

Concernant le risque IPG suite à un incident de RIGP ou d'AEC, les cas pénalisants étudiés sont impactés par la pénalisation des facteurs radiaux de puissance. EDF a apporté des éléments quantifiés pour justifier l'absence de risque IPG au cours de ces transitoires, que l'IRSN juge satisfaisants.

Concernant le risque IPG suite à une chute de grappe initiée avec un déséquilibre axial de puissance négatif, EDF tient compte des conséquences de l'anomalie d'étude. Pour ces transitoires, la pénalisation des facteurs radiaux de puissance n'est pas suffisante pour compenser la relaxation du seuil en puissance linéique. Ainsi, EDF a réalisé des calculs prenant en compte explicitement la modification des protections et les dispositions d'exploitation particulières. La méthodologie utilisée pour réaliser ces calculs est, selon EDF, conservative vis-à-vis des spécificités du cycle PA224. Ces calculs montrent qu'après huit jours de FPPI, le risque IPG reste exclu.

Compte tenu des éléments apportés au cours de l'expertise justifiant du conservatisme de certaines hypothèses et de la limitation du FPPI aux cas d'aléas, **l'IRSN estime satisfaisante la justification apportée par EDF concernant l'absence de risque IPG en cours de cycle.**

4 IMPACT DOCUMENTAIRE

Selon son analyse d'impact documentaire lié à la présente modification, EDF conclut que le rapport de sûreté ainsi que les chapitres VI, IX et X des RGE ne sont pas modifiés. Cette modification des seuils n'impacte que :

- le chapitre III des RGE dans lequel la valeur du seuil d'AAR est précisément mentionnée ;
- le dossier d'évaluation de la sûreté de la recharge pour le cycle PA224 qui précise les dispositions d'exploitations particulières, les seuils d'alarmes et d'AAR modifiés ainsi que les facteurs radiaux de puissance pénalisés.

Cette analyse d'impact documentaire n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

¹⁰ L'instant pénalisant est la fin de montée en puissance car le niveau de puissance est alors important (ce qui est pénalisant vis-à-vis du transitoire de CDG) alors que le risque IPG n'est pas encore réduit par un fonctionnement prolongé à cette forte puissance.

5 CONCLUSION

À l'issue de l'expertise des éléments apportés par EDF, compte tenu des dispositions particulières d'exploitation retenues par EDF, l'IRSN estime acceptable au plan de la sûreté la demande de modification temporaire des seuils d'alarme et d'arrêt automatique du réacteur par « Puissance linéique très élevée » au début du 24^e cycle du réacteur n° 2 de Paluel.

IRSN
Le Directeur général
Par délégation
Franck DUBOIS
Chef du service de maîtrise
des incidents et des accidents