

Monsieur le Directeur de la Direction des centrales nucléaires

Fontenay-aux-Roses, le 20 juin 2025

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00063 DU 20 JUIN 2025

Objet : Réacteurs électronucléaires de 1300 MWe (hormis le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Paluel) – Variabilité des recharges en gestion GEMMES à l'état technique RP3.

Références : [1] Lettre ASN – CODEP-DCN-2024-048326 du 15 octobre 2024.
[2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2019-010454 du 27 mai 2019.
[3] Lettre ASN – CODEP-DCN-2012-023700 du 10 décembre 2012.

Conformément à la saisine¹ en référence [1], la Direction de l'expertise en sûreté de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) a examiné les éléments transmis par EDF en support à la demande d'autorisation de modification du rapport de sûreté (RDS) et des règles générales d'exploitation (RGE) des réacteurs de 1300 MWe exploités en gestion de combustible GEMMES² et à l'état technique correspondant à leur troisième réexamen périodique (RP3).

Cette modification consiste à prendre en compte, dans la démonstration de sûreté, une plus grande variabilité des plans de chargement (inventaire ou position des assemblages de combustible neufs dans le cœur³) ou de la durée d'irradiation (arrêt anticipé ou prolongation de cycle) par rapport aux hypothèses retenues dans les études de sûreté génériques⁴. De plus, cette modification intègre l'impact du retour d'expérience d'instructions antérieures portant sur les vérifications de la sûreté des recharges.

Le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Paluel n'est pas concerné par cette demande. Ce réacteur fait en effet l'objet d'un programme de variabilité spécifique, l'autorisant à introduire quatre assemblages de combustible MOX⁵.

1. CONTEXTE

La variabilité, actuellement en vigueur pour les réacteurs exploités en gestion GEMMES, consiste en l'enchaînement de campagnes d'irradiation dont la durée varie dans la limite de 40 JEPP⁶ d'anticipation à 60 JEPP de prolongation, ainsi que de campagnes ponctuelles pour lesquelles le nombre d'assemblages neufs de la recharge est réduit de quatre assemblages.

¹ La saisine en référence émise par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) s'adresse à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Au 1^{er} janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). Le présent avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR vient en réponse à la lettre citée en référence [1].

² GEMMES : Gestion des Évolutions et des Modifications des Modes d'Exploitation en Sûreté (Réacteurs de 1300 MWe).

³ En gestion GEMMES, une recharge standard est constituée de 64 assemblages neufs. Le cœur entier contient un total de 193 assemblages.

⁴ Les études de sûreté présentées dans le RDS sont dites « génériques » car elles ont vocation à s'appliquer à l'ensemble des cycles de la gestion de combustible concernée.

⁵ Mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium.

⁶ Jours équivalents à pleine puissance : un JEPP représente l'énergie fournie en 24 heures par un réacteur fonctionnant à puissance nominale.

Dans l'objectif d'offrir plus de souplesse dans les longueurs de campagne des réacteurs de 1300 MWe en gestion de combustible GEMMES, EDF prévoit d'étendre ce domaine de variabilité à une anticipation ponctuelle pouvant aller jusqu'à 50 JEPP et à des plans de chargement pour lesquels le nombre d'assemblages neufs est augmenté ou réduit de quatre ou huit assemblages. EDF introduit également des plans dits « de faible fluence » permettant de limiter la fluence neutronique fragilisant la cuve⁷. Cette variabilité étendue n'est applicable que pour les réacteurs chargés uniquement avec des assemblages à gainage M5 (§ 3.2).

La prise en compte de l'impact de la variabilité des cycles sur la démonstration de sûreté comporte deux volets :

- le premier volet concerne le dossier général d'évaluation de la sûreté des recharges (DGES). Ce chapitre du RDS décrit l'ensemble des vérifications menées avant chaque nouveau cycle pour garantir l'applicabilité des conclusions des études génériques du RDS. La démonstration de sûreté en recharge repose sur le respect, pour certains paramètres neutroniques dits paramètres-clés, de valeurs limites issues des études génériques. Cette démonstration est réalisée par EDF pour chaque cycle dans le dossier spécifique d'évaluation de la sûreté de la recharge (DSS) ;
- le deuxième volet concerne le risque de rupture de gaine par interaction entre la pastille et la gaine (IPG). Ce risque est à considérer dès lors que le contact entre la pastille et la gaine d'un crayon de combustible est établi (jeu fermé), et apparaît lorsque le crayon de combustible subit de fortes augmentations de puissance, la gaine étant alors sollicitée en traction. L'intégrité de la première barrière (gaine des crayons de combustible) doit être démontrée en fonctionnement normal et en fonctionnement incidentel.

L'introduction des plans de variabilité et de faible fluence pour la gestion GEMMES RP3 1300 est également l'occasion pour EDF d'intégrer, dans la démonstration de sûreté en recharge, les demandes formulées par l'ASN à la suite de l'expertise menée en 2017 relative aux critères de tenue du combustible [2].

Le présent avis d'expertise vise ainsi à donner la position de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR quant à l'acceptabilité, sur le plan de la sûreté nucléaire, de l'introduction de ces nouveaux cycles du combustible dits « de variabilité » et « de faible fluence » dans le rapport de sûreté à l'état RP3 1300.

2. PRISE EN COMPTE DE L'EXPERTISE RELATIVE AUX CRITÈRES DE TENUE DU COMBUSTIBLE

La prise en compte des demandes formulées par l'ASN à la suite de l'expertise relative aux critères de tenue du combustible, concernant notamment l'impact de la déformation latérale des assemblages de combustible sur la distribution de puissance, a conduit EDF à reprendre une partie des études de sûreté. **La Direction de l'expertise en sûreté estime acceptables ces études, cohérentes avec celles approuvées dans le cadre du RP4 1300.**

3. APPLICABILITÉ DU RÉFÉRENTIEL DE SÛRETÉ RP3 1300

3.1. VÉRIFICATION EN RECHARGE

EDF considère désormais, pour son analyse de sûreté, neufs plans de chargement théoriques représentatifs de la variabilité souhaitée, ainsi que quatre plans de faible fluence.

La prise en compte de ces plans de chargement par EDF a mis en évidence un dépassement des pénalités appliquées à la valeur limite de l'efficacité de l'arrêt automatique du réacteur en fin de campagne avec toutes les grappes insérées (AAR FDV TGI), prescrite dans le DGES du référentiel RP3 1300, pour tenir compte des modèles perturbés de l'exploitation des cœurs⁸. Ainsi, la valeur de l'efficacité de l'AAR FDV TGI sera vérifiée en recharge avec ces nouvelles pénalités. **La Direction de l'expertise en sûreté estime acceptable la réévaluation des pénalités appliquées au paramètre-clé « efficacité de l'AAR FDV TGI ».**

⁷ Le matériau de la cuve subit une fragilisation progressive par le flux de neutrons auquel elle est exposée.

⁸ Les modèles perturbés représentent quatre situations distinctes : le fonctionnement prolongé à puissance réduite (FPPR), le suivi de charge et le téléreglage (SCTR), le déséquilibre azimuthal de puissance (tilt) et la prolongation de cycle (stretch).

Par ailleurs, des dépassements ont été constatés sur les pénalités appliquées aux facteurs radiaux de point chaud $F_{xy}(z)$ ⁹. Ces pénalités concernent :

- en exploitation : les grandeurs utilisées par le SPIN¹⁰, pour prendre en compte des phénomènes non mesurables par l'instrumentation du cœur (appelées pénalités SPIN). Les dépassements observés sur les pénalités SPIN ont conduit EDF à réévaluer à la hausse les pénalités Tilt et FPPR. Les nouvelles pénalités SPIN sont applicables sur le tout le cycle et enveloppes des dépassements constatés ;
- pour les études de sûreté : les modèles de cœurs utilisés dans la démonstration pour prendre en compte le Tilt, le fonctionnement en FPPR et le SCTR (appelées pénalités hors SPIN). Les dépassements observés sur les pénalités hors SPIN étant absents au-delà d'un certain épuisement, EDF retient une pénalité spécifique pour couvrir la variabilité des recharges, applicable sur le début du cycle et enveloppe des dépassements constatés.

La Direction de l'expertise en sûreté estime acceptable le rehaussement de ces pénalités $F_{xy}(z)$.

EDF a également mis en évidence des dépassements sur les valeurs des pénalités de désalignement d'une grappe de régulation par rapport à son groupe. Ainsi, ces pénalités, intégrées dans le SPIN, sont réévaluées à la hausse par rapport aux valeurs de la gestion initiale pour l'ensemble des réacteurs intégrant la variabilité et la faible fluence. Enfin, l'introduction des nouveaux plans de chargement a conduit EDF à ré-évaluer l'incertitude, dite « incore-excore », sur la distribution axiale de puissance reconstruite et utilisée par le SPIN.

Ces éléments n'appellent pas de remarque de la part de la Direction de l'expertise en sûreté.

3.2. ANALYSE DU RISQUE IPG

Concernant le volet IPG, l'étude du RDS est réalisée par EDF sur la base du seul cycle prolongé à l'équilibre de la gestion prévisionnelle (appelé cycle de référence) et en considérant des assemblages à gainage en zircaloy¹¹, gainage limitatif vis-à-vis du risque IPG. Cette étude fixe notamment les limites relatives à l'exploitation du réacteur en termes de durées passées en fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire (FPPI). Le FPPI est, en effet, un mode de fonctionnement défavorable par rapport au risque de rupture de gaine par IPG.

Pour prendre en compte la variabilité des plans de chargement, EDF a appliqué la démarche d'étude « IPG variabilité » en vigueur¹² afin d'évaluer, pour du combustible à gainage M5, le risque de rupture en situation incidentelle. Cette étude, qui prend en compte à la fois la variabilité et le gainage M5, s'avère moins pénalisante que l'étude IPG du RDS, réalisée sans variabilité pour des assemblages à gainage en zircaloy. Ainsi, le meilleur comportement du gainage M5 vis-à-vis du risque IPG permet d'accommoder l'effet pénalisant d'une plus grande variabilité. C'est pourquoi cette variabilité n'est applicable que pour les réacteurs chargés uniquement avec des assemblages à gainage M5. **La Direction de l'expertise en sûreté estime acceptable cette étude puisqu'elle met en œuvre une méthode déjà approuvée. En revanche, la Direction de l'expertise en sûreté souligne que, pour les cœurs contenant des assemblages à gainage en zircaloy, la démonstration en lien avec le risque IPG n'est pas modifiée : elle n'intègre donc aucune variabilité.**

4. ÉVOLUTIONS DES RGE

La reprise des études IPG (§ 3.2) a conduit EDF à réévaluer, dans les spécifications techniques d'exploitation (STE - chapitre III des RGE), les durées autorisées de FPPI pour les réacteurs chargés uniquement avec des assemblages à gainage M5. **La Direction de l'expertise en sûreté considère ces nouvelles durées autorisées de FPPI acceptables.**

⁹ Ce facteur de forme permet de caractériser la distribution radiale de puissance dans le cœur. Il représente le rapport, à une cote dans le cœur, entre la puissance maximale d'un crayon de combustible et la puissance moyenne du cœur.

¹⁰ Le système de protection intégré numérique (SPIN) est le logiciel de protection « générique » des cœurs des réacteurs à quatre boucles du parc électronucléaire d'EDF (réacteurs de 1300 MWe et 1450 MWe) qui, à partir des informations fournies par les capteurs de protection et l'instrumentation associée, génère des alarmes, des verrouillages, des arrêts automatiques du réacteur (AAR) et des actions de sauvegarde.

¹¹ La gestion GEMMES prévoit également l'utilisation d'autres types d'assemblages, notamment des assemblages ayant un gainage M5. Actuellement, un quart des réacteurs de 1300 MWe sont chargés avec uniquement du combustible à gainage M5.

¹² Démarche appliquée sur les réacteurs de 900 MWe et sur les réacteurs du palier N4.

De plus, cette reprise des études IPG ainsi que la réévaluation de l'incertitude « incore-excore » utilisée par le SPIN (§ 3.1) ont conduit à la réévaluation, dans les STE, des seuils de protection IPG « site », quel que soit le gainage du combustible. **Cette réévaluation des seuils de protection IPG est jugée acceptable par la Direction de l'expertise en sûreté.**

Par ailleurs, EDF met en application la nouvelle méthode 3D d'étude d'accidents de perte de débit primaire, notamment pour intégrer l'effet défavorable de la déformation latérale des assemblages. À cet égard, conformément à la demande formulée par l'ASN [3], EDF a introduit, dans le chapitre IX des RGE, un nouveau critère d'essai périodique portant sur le débit minimal de trois boucles sur quatre afin de pouvoir garantir le caractère enveloppe de la valeur initiale de débit traversant le cœur. **Ces éléments, identiques à ceux présentés dans le cadre du dossier d'amendement RP4 1300, n'appellent pas de remarque.**

5. CONCLUSION

À l'issue de son analyse des éléments présentés par EDF dans son dossier et des compléments apportés au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime acceptables, sur le plan de la sûreté, le nouveau domaine de variabilité des plans de chargement de même que sa prise en compte lors de la vérification de la sûreté des recharges ainsi que dans les règles générales d'exploitation des réacteurs de 1300 MWe exploités en gestion de combustible GEMMES et à l'état technique RP3 (hormis pour le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Paluel).

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté