

Monsieur le Directeur de la direction des centrales nucléaires

Fontenay-aux-Roses, le 24 novembre 2025

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00114 DU 24 NOVEMBRE 2025

Objet : EDF – REP – Réacteurs électronucléaires de 900 MWe
Projet VD4 900 – Demande d'autorisation relative aux modifications PNMI 0050 et 1050 –
Dossier d'amendement Déséquilibre Azimutal de Puissance.

Références : [1] Saisine ASNR – CODEP-DCN-2025-044091 du 17 juillet 2025.
[2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2015-010687 du 28 avril 2015.

Conformément à la saisine en référence [1], la Direction de l'expertise en sûreté de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) a examiné l'acceptabilité, au plan de la sûreté, de la demande des modifications PNMI 0050 et 1050 des chapitres III¹ et IX² des règles générales d'exploitation (RGE) relatives au « DA Déséquilibre Azimutal de Puissance ». Leurs mises en œuvre sont prévues respectivement sur les réacteurs électronucléaires de 900 MWe des paliers CP0 et CPY.

1. CONTEXTE

Le déséquilibre azimutal de puissance entre les différents quadrants du cœur d'un réacteur est suivi périodiquement en exploitation à l'aide des chambres à fissions mobiles³ et en continu par les chaînes neutroniques de niveau puissance (CNP⁴) via le signal de déséquilibre azimutal de puissance neutronique (DPAZN). L'utilisation de thermocouples⁵ positionnés en sortie du cœur est prescrite par le chapitre III des RGE pour mesurer un déséquilibre azimutal de puissance (DAP) en cas d'indisponibilité fortuite ou programmée d'une CNP ou pour statuer sur l'origine de l'apparition d'une alarme DPAZN. La fonction de reconstruction du DAP à partir des thermocouples peut ainsi être nécessaire dans certaines configurations dégradées d'exploitation.

Par sa lettre en référence [2], l'ASN a demandé à EDF de modifier le chapitre III des RGE des réacteurs du palier 900 MWe de façon à y intégrer :

- la définition du DAP avec sa méthode de calcul ;
- la description des conditions de confirmation d'un DPAZN prévue par les conduites à tenir en cas de certains événements⁶ relatifs au système de mesure de la puissance nucléaire (RPN) ;

¹ Le chapitre III des RGE définit les spécifications techniques d'exploitations (STE) qui doivent être respectées en fonctionnement normal afin de maintenir le réacteur dans le domaine couvert par les études des transitoires du rapport de sûreté.

² Le chapitre IX des RGE définit les programmes d'essais périodiques mis en œuvre par l'exploitant. r.

³ Cette instrumentation fournit des informations sur le flux neutronique local dans le cœur du réacteur. L'ensemble des mesures de flux neutronique permet de reconstruire la distribution de puissance dans le cœur (carte de flux expérimentale) et de déduire le déséquilibre azimutal de puissance entre les quatre quadrants du cœur, correspondant à l'écart relatif entre la puissance du quadrant chaud et la puissance moyenne par quadrant.

⁴ Les CNP sont des détecteurs à dépôt de bore. Sur le palier 900 MWe, les CNP sont au nombre de quatre. Elles sont situées au contact extérieur de la cuve, au bout des diagonales du cœur. Le signal DPAZN correspond à l'écart entre les puissances maximale et minimale sur les quatre CNP.

⁵ Cette instrumentation fournit des informations sur la température de l'eau à la sortie des assemblages.

⁶ Un événement est une non-conformité aux règles d'exploitation prescrites par le chapitre III des RGE.

- la définition des conditions de disponibilité du calcul du DAP.

Le dossier de modifications « DA Déséquilibre Azimutal de Puissance » transmis par EDF vise à répondre à cette demande. Ce dossier complète également la conduite à tenir du chapitre III des RGE en cas d'indisponibilité programmée d'une CNP dans le cas d'une opération de maintenance préventive. Il apporte également des modifications complémentaires aux conduites à tenir des événements RPN du chapitre III des RGE, ainsi qu'à la règle d'essais périodiques du système RPN du chapitre IX des RGE.

Le présent avis vise 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, des modifications des RGE susmentionnées.

2. DÉFINITION ET MÉTHODE DE CALCUL DU DAP

Le dossier « DA Déséquilibre Azimutal de Puissance » intègre dans le chapitre III des RGE une définition permettant d'explicitier le rôle du DAP dans le cadre de la surveillance du déséquilibre azimutal de puissance dans le cœur d'un réacteur.

Afin de répondre à la demande de l'ASN [2], EDF s'est engagé, au cours de l'expertise, à compléter la définition susmentionnée en y précisant la méthode de calcul du DAP. Il est déterminé par comparaison des puissances reconstruites entre deux quadrants du cœur à partir des mesures de plusieurs paires de thermocouples, positionnés de façon symétrique par rapport au centre du cœur. La Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime satisfaisant cet engagement.

La méthode de calcul du DAP mise en œuvre pour les réacteurs du palier 900 MWe diffère de celle mise en œuvre pour les réacteurs du palier 1300 MWe. Cette différence s'explique par les positions des thermocouples dans les cœurs des différents réacteurs. Au-delà de cette différence de conception, la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime que les niveaux de précision relatifs à la définition du DAP et à la description de sa méthode de calcul mentionnées dans le dossier « Déséquilibre Azimutal de Puissance » sont équivalents à ceux du chapitre III des RGE des réacteurs du palier 1300 MWe, ce qui est satisfaisant.

Compte tenu de l'engagement susmentionné, la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime acceptables la définition du DAP ainsi que la description de sa méthode de calcul, qui sont intégrées dans le chapitre III des RGE des réacteurs du palier 900 MWe. Ces modifications permettent de répondre à la demande de l'ASN [2].

3. CONFIRMATION DU DÉSÉQUILIBRE AZIMUTAL DE PUISSANCE

L'apparition de l'alarme DPAZN peut être liée à un calibrage inadapté des CNP, une défaillance matérielle ou à une perturbation de la distribution azimutale de puissance dans le cœur. Afin de confirmer que le déclenchement de l'alarme DPAZN résulte d'une telle perturbation, les conduites à tenir des événements RPN du chapitre III des RGE requièrent notamment de s'appuyer sur la fonction de calcul du DAP afin d'évaluer le déséquilibre azimutal de puissance dans le cœur. Par ailleurs, en cas d'indisponibilité programmée d'une CNP, l'alarme DPAZN n'est plus disponible et la conduite à tenir du chapitre III des RGE prescrit le suivi de l'évolution du DAP afin de confirmer, le cas échéant, l'apparition d'un déséquilibre azimutal de puissance dans le cœur.

Le dossier « DA Déséquilibre Azimutal de Puissance » complète ces conduites à tenir en précisant les conditions de confirmation d'un déséquilibre azimutal de puissance dans le cœur, consistant à comparer la valeur calculée du DAP à la limite maximale autorisée par le chapitre III des RGE. Cette comparaison tient compte des incertitudes évaluées dans le cadre du processus de qualification de l'algorithme de calcul du DAP.

La qualification de l'algorithme de calcul du DAP consiste en l'évaluation d'incertitudes à partir de l'analyse statistique des écarts entre le DAP et le déséquilibre azimutal de puissance entre les différents quadrants du cœur, déduit à partir d'une carte de flux théorique, lors de transitoires de variation de la puissance du cœur simulés avec un outil de calcul scientifique (OCS) qualifié et utilisé dans le cadre de la démonstration de sûreté. Selon EDF, cette approche permet de pallier l'absence de retour d'expérience de mesures à basse puissance et de couvrir des situations associées à des déséquilibres azimutaux de puissance supérieurs aux limites autorisées par le chapitre III des RGE.

Les évaluations des incertitudes tiennent compte de l'influence de certaines conditions de fonctionnement, telles que des indisponibilités de thermocouples, l'insertion des groupes de grappes de commande dans le cœur et la présence d'un déséquilibre azimutal de puissance significatif. EDF a transmis des éléments techniques au cours de l'expertise permettant de confirmer le caractère pénalisant des conditions retenues. La Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime conservative la démarche de quantification des incertitudes appliquée.

Les simulations de transitoires de variation de la puissance du cœur ont été menées pour des cœurs théoriques représentatifs des gestions de combustible, caractérisées par un ou plusieurs type(s) d'assemblages de combustible chargés en réacteur et de leurs plans de positionnement dans le cœur, mises en œuvre pour les réacteurs 900 MWe du palier CPY. EDF a présenté des éléments techniques complémentaires justifiant l'absence d'influence de la gestion de combustible sur les incertitudes, ainsi que l'applicabilité des conclusions des analyses statistiques à la gestion de combustible mise en œuvre pour les réacteurs 900 MWe du palier CP0. La Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime acceptables ces justifications.

La comparaison des valeurs du DAP aux limites autorisées par le chapitre III des RGE intègre automatiquement les incertitudes issues de la qualification de l'algorithme de calcul du DAP, lesquelles dépendent du niveau de puissance du réacteur et de l'épuisement moyen du cœur. Ce processus réduit les risques d'erreurs, en évitant à l'opérateur de sélectionner manuellement la valeur d'incertitude correspondant aux conditions de fonctionnement, en termes de niveau de puissance et d'épuisement moyen du cœur. Le processus se limite à comparer la valeur du DAP automatiquement pénalisée de l'incertitude aux limites STE. En outre, ce processus facilite le suivi de l'évolution temporelle du déséquilibre azimutal de puissance à partir du DAP. La Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime pertinent le processus de comparaison des valeurs du DAP aux limites autorisées par le chapitre III des RGE.

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime que le niveau de précision des conditions de confirmation du déséquilibre azimutal de puissance mentionnées dans le dossier « Déséquilibre Azimutal de Puissance » est équivalent à celui du chapitre III des RGE des réacteurs du palier 1300 MWe.

La Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime donc acceptables les conditions de confirmation du déséquilibre azimutal de puissance intégrées dans le chapitre III des RGE des réacteurs du palier 900 MWe. Ces modifications permettent de répondre à la demande de l'ASN [2].

4. CONDITIONS DE DISPONIBILITÉ DU CALCUL DU DAP

Le dossier « DA Déséquilibre Azimutal de Puissance » précise dans le chapitre III des RGE les conditions de disponibilité de l'algorithme de calcul du DAP en termes d'étalonnage, de niveau de puissance et de nombre de thermocouples disponibles.

Les conditions relatives au niveau de puissance et au nombre de thermocouples sont cohérentes avec les conditions de fonctionnement prises en compte dans le cadre de la qualification de l'algorithme de calcul du DAP.

Au cours de l'expertise, EDF a précisé que l'étalonnage de la fonction de calcul du DAP regroupe un ensemble de vérifications et d'actions prescrites par le référentiel documentaire interne de l'exploitant, consistant notamment à évaluer l'état matériel des thermocouples et en un ensemble de réglages⁷. EDF considère que l'ensemble de ces actions sont couvertes par le référentiel documentaire traitant de l'étalonnage de cette fonction. Afin de répondre complètement à la demande de l'ASN [2], EDF s'est engagé à préciser dans le chapitre III des RGE que l'étalonnage de la fonction de calcul du DAP doit être réalisé en respectant les conditions et la périodicité du référentiel interne. La Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime satisfaisant cet engagement.

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime que le niveau de précision des conditions de disponibilité du calcul du DAP mentionnées dans le dossier « Déséquilibre Azimutal de Puissance » est équivalent à celui du chapitre III des RGE des réacteurs du palier 1300 MWe.

⁷ Il s'agit du recalage du DAP sur le déséquilibre azimutal de puissance entre les différents quadrants du cœur mesuré par les chambres à fissions mobiles du système d'instrumentation du cœur ainsi que du recalage à puissance thermique nulle des mesures des températures par les thermocouples en sortie du cœur sur la moyenne des mesures des températures en branche chaude afin de s'affranchir d'éventuels biais métrologiques non-physiques.

Compte tenu de l'engagement susmentionné, la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime acceptables les conditions de disponibilité de l'algorithme de calcul du DAP intégrées dans le chapitre III des RGE des réacteurs du palier 900 MWe. Ces modifications permettent de répondre à la demande de l'ASN [2].

5. MODIFICATIONS DES RGE COMPLÉMENTAIRES

Le dossier « DA Déséquilibre Azimutal de Puissance » clarifie les conduites à tenir de certains événements RPN du chapitre III des RGE, notamment celle de l'évènement RPN 1 associé à l'indisponibilité fortuite d'une CNP. Aussi, ce dossier modifie la règle d'essais périodiques du système RPN du chapitre IX des RGE, citant en particulier la conduite à tenir de l'évènement RPN 1, afin d'assurer la cohérence entre les chapitres III et IX des RGE.

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

6. CONCLUSION

En conclusion, la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR estime acceptables, au plan de la sûreté, les modifications PNMI 0050 et 1050, prévues par EDF, des chapitres III et IX des RGE relatives au « DA Déséquilibre Azimutal de Puissance » pour les réacteurs de 900 MWe des paliers CP0 et CPY.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté