

Fontenay-aux-Roses, le 14 janvier 2025

Monsieur le Directeur de la direction des centrales nucléaires

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00002

Objet : EDF – REP – Palier 1300 MWe – Prise en compte du retour d'expérience – Accroissement du risque de fusion du cœur associé aux événements survenus en 2023 relatifs à la perte d'un tableau électrique alimentant le système de contrôle-commande centralisé.

Réf. : Saisine ASN - CODEP-DCN-2012-040076 du 11 mars 2013.

Dans le cadre de la saisine citée en référence, la Direction de l'expertise en sûreté de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) a réalisé une analyse probabiliste de trois événements significatifs pour la sûreté (ESS) survenus en 2023 sur des réacteurs de 1300 MWe, relatifs à la perte d'un tableau électrique alimentant le système de contrôle-commande centralisé¹, spécifique à ces réacteurs, dit « controbloc », afin d'évaluer leur niveau de gravité.

Les voie A et voie B du controbloc sont alimentées respectivement par les tableaux électriques LNG et LNH de 220 V (courant alternatif). Chacun de ces tableaux est alimenté par un tableau secouru de 230 V à courant continu via trois onduleurs. Lorsque les trois onduleurs alimentent un tableau, un onduleur est « maître » (il est autonome), et les deux autres sont « esclaves » (ils doivent se synchroniser sur l'onduleur maître). Au moins deux onduleurs doivent rester en permanence sous tension pour alimenter un tableau LNG ou LNH. La maintenance préventive des onduleurs est réalisée dans le domaine d'exploitation RCD², onduleur par onduleur. Lorsque le réacteur est en puissance, des opérations de maintenance curative peuvent néanmoins être menées sur un onduleur à la suite de la détection d'un défaut. Après la maintenance, des essais de basculement maître/esclave sont réalisés au titre de la requalification fonctionnelle.

Un onduleur est équipé de différents composants électroniques, notamment de condensateurs de commutation et de thyristors. À chaque onduleur est associé un disjoncteur (en amont), un sectionneur (en aval) et un coffret utilisé lors de la maintenance. Ce dernier est équipé notamment d'un interrupteur inverseur de commande, dont le rôle est de distribuer le signal de synchronisation entre l'onduleur maître et les onduleurs esclaves. Lorsqu'un onduleur est en service, ses disjoncteur, sectionneur et interrupteur inverseur de commande sont en position fermée.

¹ Le controbloc a pour rôle d'assurer un traitement logique de données tout ou rien (TOR). Il est utilisé quotidiennement par l'exploitant pour piloter le réacteur, en tenant compte des données issues de capteurs TOR (pressostats, capteurs de fin de course, tourner pousser lumineux) ou des systèmes de protection du réacteur et d'instrumentation des processus, pour générer des ordres de commande d'actionneurs et des alarmes. Une partie du controbloc est classée de sûreté.

² RCD : réacteur complètement déchargé.

1. ÉVÉNEMENT SURVENU LORS DU FONCTIONNEMENT EN RP

Mi-août 2023, un point chaud est détecté sur un onduleur du tableau LNH du réacteur n° 3 de la centrale nucléaire de Cattenom, alors que celui-ci est dans le domaine d'exploitation « réacteur en production (RP) ». Ce défaut pouvant conduire à la perte de l'onduleur et engendrer un risque d'incendie, une maintenance curative de l'onduleur s'avère donc nécessaire. Lors de la consignation de cet onduleur, l'intervenant ouvre par erreur le disjoncteur d'un autre onduleur LNH qui ne dispose pas de repère fonctionnel, puis le sectionneur de l'onduleur en défaut. Deux onduleurs LNH se retrouvent alors hors tension, entraînant le déclenchement par surcharge du troisième onduleur et la perte du tableau LNH.

Une perte d'un tableau LNG ou LNH qui survient lorsque le réacteur est en production entraîne un impact significatif sur la sûreté et provoque l'entrée en conduite incidentelle-accidentelle.

2. ÉVÉNEMENTS SURVENUS LORS DU FONCTIONNEMENT EN RCD

Mi-juin 2023, des activités de maintenance préventive de périodicité « cycle » sont réalisées, tour à tour, sur les trois onduleurs du tableau LNG du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Golfech, alors que le réacteur est dans le domaine d'exploitation RCD. Les trois onduleurs sont ensuite remis sous tension en vue de la requalification fonctionnelle. Lors des essais de basculement maître/esclave, la mise à l'arrêt de l'onduleur maître est immédiatement suivie par la perte du tableau LNG. Un défaut (contacts résistifs) survenu au niveau de l'interrupteur inverseur de commande de l'onduleur qui aurait dû passer maître lors de l'essai a mis en échec la logique de synchronisation maître/esclave et a provoqué la perte du tableau LNG. Il s'agit d'un phénomène physique connu, de charbonnage des contacts sous tension. Toutefois, aucun geste de maintenance n'est prévu pour traiter une éventuelle accumulation de dépôts charbonnés. De plus, le programme de maintenance préventif des onduleurs ne prévoit aucune maintenance des interrupteurs inverseurs de commande des coffrets de consignation.

En novembre 2023, la maintenance et la requalification d'un premier onduleur du tableau LNG du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine sont terminées, alors que le réacteur est dans le domaine d'exploitation RCD. Cet onduleur est remis en charge, puis un autre onduleur du tableau LNG est consigné pour maintenance. Le lendemain, les deux onduleurs en charge déclenchent, provoquant une première perte du tableau LNG. La cause, identifiée plus tard, est une dégradation de deux thyristors de l'un des onduleurs en charge.

Néanmoins, une nouvelle remise en charge de ces deux onduleurs se déroule sans aléa. Les opérations de maintenance sont alors reprises. Dès lors que la maintenance du deuxième onduleur est terminée et que les trois onduleurs alimentent le tableau LNG, la décision est prise de consigner, pour des contrôles supplémentaires, le premier onduleur ayant subi des opérations de maintenance. Cette consignation conduit au déclenchement des deux onduleurs en charge, provoquant ainsi une deuxième perte du tableau LNG. Cette fois-ci, la cause est un « point dur » mécanique au niveau de l'interrupteur inverseur de commande de l'onduleur retiré de l'exploitation. Les interrupteurs inverseurs de commande des trois onduleurs LNG sont alors remplacés.

Lors des essais de requalification, la remise sous tension de l'un des onduleurs est suivie par le déclenchement des trois onduleurs, induisant une troisième perte du tableau LNG. Celle-ci, comme pour la première perte, est due à une dégradation de deux thyristors d'un même onduleur, remplacés après ce constat. Selon des éléments apportés par EDF au cours de l'expertise, ces thyristors ont subi en 2023 un court-circuit provoqué par le vieillissement de condensateurs de commutation qui auraient dû être remplacés au plus tard en 2019 selon le programme de maintenance préventive. Toutefois, ce remplacement n'a pas pu être réalisé à ce jour en raison de l'absence de pièce de rechange.

Dans le cas où la perte d'un tableau LNG ou LNH survient dans le domaine d'exploitation RCD, l'impact sur la sûreté est limité. Néanmoins, il convient de noter que les quatre pertes d'un tableau LNG survenues dans le domaine d'exploitation RCD présentées ci-dessus ont été provoquées par des défauts latents d'un onduleur LNG ou d'un coffret de consignation LNG, et que ces derniers ont donc été présents au moins sur une partie du cycle précédant leur détection. En cas de consignation pour maintenance curative d'un onduleur LNG en RP, la présence d'un tel défaut latent aurait alors pu conduire à la perte du tableau LNG correspondant, avec un impact significatif sur la sûreté.

3. ANALYSE PROBABILISTE - RÉSULTATS ET ENSEIGNEMENTS

En utilisant ses propres modèles EPS de niveau 1³, la Direction de l'expertise en sûreté a estimé :

- la probabilité conditionnelle de fusion du cœur induite par la perte du tableau LNH du réacteur n° 3 de la centrale nucléaire de Cattenom survenue en août 2023, alors que ce réacteur était en puissance ;
- l'accroissement du risque de fusion du cœur induit par le défaut latent détecté en juin 2023 sur le réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Golfech, qui a affecté, pendant une partie du cycle précédant sa détection, un coffret de consignation d'un onduleur LNG ;
- l'accroissement du risque de fusion du cœur induit par les deux défauts latents détectés en novembre 2023 sur le réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine, dont le premier a affecté, pendant une partie du cycle précédant sa détection, un coffret de consignation d'un onduleur LNG, et le second un autre onduleur LNG du même réacteur.

Dans les trois cas, la probabilité conditionnelle ou l'accroissement du risque de fusion du cœur induit est supérieur au seuil au-delà duquel un événement est considéré précurseur⁴.

Outre les ESS déclarés en 2023, analysés ci-dessus, sur la période 2019 à mi-2024, la Direction de l'expertise en sûreté a recensé, sans faire d'analyse exhaustive, une dizaine d'autres pertes d'un tableau LNG ou LNH, survenues lors des opérations de maintenance préventive des onduleurs réalisées dans le domaine d'exploitation RCD. L'un de ces ESS, relatif à un défaut latent sur un onduleur du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Saint-Alban, ayant conduit en avril 2021 à la perte du tableau LNG, a d'ailleurs fait l'objet d'une analyse probabiliste par EDF, qui a établi son caractère précurseur. À ce titre, lors de l'expertise, EDF a indiqué que, au niveau national, il avait bien détecté la récurrence de ce type d'événements et qu'il avait été demandé, à ce sujet, une analyse technique, avec l'appui du constructeur.

Les origines des pertes d'un tableau LNG ou LNH peuvent être classées dans deux catégories.

La première catégorie regroupe les erreurs de lignage lors de la consignation ou la remise en service des onduleurs dans le cadre de la maintenance préventive en RCD ou de la maintenance curative en RP, ainsi que les non-qualités de maintenance des onduleurs (activité sous-traitée).

À ce titre, EDF s'est engagé à classer, avant le 30 mars 2025, les activités de conduite de coupure ou de basculement d'onduleur du palier 1300 MWe, ainsi que les activités de maintenance curative sur les onduleurs du palier 1300 MWe, en « activité à risque de non-qualité et impact fort », afin que ces activités puissent bénéficier de l'ensemble des leviers de sécurisation déjà mis en place pour d'autres activités à enjeux de sûreté. **La Direction de l'expertise en sûreté n'a plus de commentaire sur ce point.**

La seconde catégorie regroupe les défaillances matérielles au niveau des onduleurs ou de leurs coffrets de consignation dues à une maintenance préventive insuffisante ou à un vieillissement prématuré.

À ce titre, pour les interrupteurs inverseurs de commande des coffrets de consignation, dont la défaillance a été à l'origine de plusieurs pertes d'un tableau LNG, EDF s'est engagé à amender en 2026 le référentiel de maintenance pour prescrire un remplacement conditionné aux résultats des mesures de résistances de contact. **La Direction de l'expertise en sûreté n'a plus de commentaire sur ce point.**

En revanche, pour ce qui concerne le remplacement des condensateurs de commutation des onduleurs, prescrit par le programme de maintenance préventive avec une périodicité de « 6 cycles », EDF n'a pris d'engagement que pour les onduleurs LNG 001 et 003 DL du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine, dont le

³ EPS : études probabilistes de sûreté. Les EPS de niveau 1 permettent d'estimer la fréquence annuelle de fusion du cœur d'un réacteur.

⁴ L'analyse probabiliste apporte des éléments chiffrés qui permettent de mieux appréhender la gravité des événements. Elle aide ainsi à hiérarchiser les priorités dans le traitement des événements, à évaluer la pertinence des actions de retour d'expérience et l'efficacité des mesures correctives. Elle permet également de relativiser l'importance de certains incidents ou de mettre en évidence des situations qui auraient pu ne pas être identifiées à risque. Un événement est dit « précurseur » lorsque son occurrence sur un réacteur induit un accroissement du risque de fusion du cœur supérieur à 10^{-6} par rapport à la valeur de référence. Parmi ces événements, les événements pour lesquels le surcroît de risque est supérieur à 10^{-4} font l'objet d'une attention particulière : l'exploitant définit un traitement spécifique et des délais de mise en œuvre des mesures correctives.

remplacement aurait dû être effectué pendant la période 2017 à 2023 et qui ne sera réalisé qu'en 2025. Or, ce retard dans l'application du programme de maintenance préventive, qui a conduit à deux reprises à la perte du tableau LNG de ce réacteur en 2023, est dû à un manque de pièces de rechange. Par conséquent, pour la Direction de l'expertise en sûreté, il n'est pas exclu que des onduleurs installés sur d'autres réacteurs de 1300 MWe soient équipés de condensateurs de commutation ayant fonctionné plus de 6 cycles.

Étant donné le REX du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine et compte tenu de l'impact sur la sûreté associé à la perte d'un tableau LNG ou LNH survenant lors du fonctionnement en puissance des réacteurs, la Direction de l'expertise en sûreté recommande que, pour les onduleurs alimentant, via des tableaux électriques, le système de contrôle-commande centralisé de l'ensemble des réacteurs de 1300 MWe, EDF prenne les mesures nécessaires pour pouvoir disposer au plus tôt d'un nombre suffisant de condensateurs de commutation de remplacement lui permettant de résorber tout retard dans l'application du programme de maintenance préventive (cf. recommandation rappelée en annexe au présent avis d'expertise).

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté

ANNEXE À L'AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00002 DU 14 JANVIER 2025

Recommandation de la direction de l'expertise en sûreté

La Direction de l'expertise en sûreté recommande que, pour les onduleurs alimentant, via des tableaux électriques, le système de contrôle-commande centralisé de l'ensemble des réacteurs de 1300 MWe, EDF prenne les mesures nécessaires pour pouvoir disposer au plus tôt d'un nombre suffisant de condensateurs de commutation de remplacement lui permettant de résorber tout retard dans l'application du programme de maintenance préventive.