



Fontenay-aux-Roses, le 4 mai 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00064

**Objet :** EDF - REP - Réacteur EPR de Flamanville - INB 167 - Essai d'endurance des groupes électrogènes de secours principaux avec un critère de sûreté non respecté.

**Réf. :** [1] CODEP-DCN-2022-039630 du 4 août 2022.  
[2] CODEP-DCN-2018-004983 du 18 avril 2018.  
[3] CODEP-DCN-2022-000868 du 18 mars 2022.

Dans le cadre de son programme de démarrage du réacteur EPR de Flamanville, Électricité de France (EDF) effectue des essais sur les matériels, systèmes et structures que comprend ce réacteur, afin de démontrer qu'ils fonctionnent correctement et satisfont aux critères de conception. Dans ce cadre, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) d'examiner les résultats des essais de démarrage des groupes électrogènes de secours et d'ultime secours en vue de prendre position quant à leur aptitude au service dans le cadre de l'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville [1].

L'objet du présent avis est d'analyser les causes des aléas rencontrés par EDF lors des essais d'endurance des groupes électrogènes et en particulier, pour l'IRSN, le non-respect d'un critère de sûreté de type S<sup>1</sup>.

### 1. DESCRIPTION DES GROUPES ÉLECTROGÈNES DE SECOURS

Le réacteur EPR de Flamanville est doté de quatre groupes électrogènes de secours à moteur Diesel, indépendants. Ils réalimentent, en cas de perte simultanée du réseau principal, du réseau auxiliaire et de l'alternateur principal du réacteur, tous les consommateurs des tableaux secourus de leurs divisions respectives.

Chaque groupe électrogène est composé d'un moteur, d'un alternateur et de différents circuits auxiliaires (alimentation de carburant, graissage, refroidissement...). Le moteur met en rotation l'alternateur qui produit l'électricité nécessaire à l'alimentation des systèmes de sauvegarde à une tension de 10 kV. Pour le démarrage de ces moteurs, un conditionnement particulier au moyen de systèmes auxiliaires de pré-graissage et de préchauffage est nécessaire. Enfin, le fonctionnement des groupes électrogènes est régulé et surveillé au travers de systèmes électriques, d'instrumentation et de contrôle-commande.

<sup>1</sup> Paramètre et valeurs de référence associées à ces paramètres (valeurs, plages, états...) dont le non-respect compromet l'aptitude de tout ou partie d'une fonction de sûreté, à assurer sa mission telle que définie dans les études du Rapport de Sûreté.

En fonctionnement normal du réacteur, aucune mission n'est assignée aux groupes électrogènes de secours. Dans le domaine de fonctionnement où le réacteur est en puissance, les quatre groupes électrogènes de secours doivent être disponibles, prêts à démarrer à pleine puissance à tout instant. Ils sont ainsi pré-lubrifiés et préchauffés en permanence. Cependant, chacun des quatre groupes fera l'objet d'essais périodiques pendant le fonctionnement normal du réacteur.

## 2. MISSIONS DE SÛRETÉ

Les groupes électrogènes de secours sont requis pour fonctionner en cas de perte des alimentations électriques externes du réacteur. Un groupe électrogène de secours doit permettre d'alimenter les systèmes de sauvegarde permettant de préserver les fonctions fondamentales de sûreté que sont le contrôle de la réactivité, l'évacuation de la puissance résiduelle et le confinement des substances radioactives. Ainsi, la puissance d'un groupe électrogène correspond à celle de l'ensemble des moyens de sauvegarde qui sont utilisés en cas de MDTE<sup>2</sup> seul ou de MDTE cumulé avec un accident de référence.

## 3. PROGRAMME DES ESSAIS DES GROUPES ÉLECTROGÈNES DE SECOURS

Le but de ces essais est de s'assurer de la conformité de l'ensemble de l'installation du groupe électrogène de secours principal, ainsi que de vérifier le bon fonctionnement et l'atteinte des performances requises.

Le programme d'essais de démarrage des quatre groupes électrogènes de secours principaux de 10 kV se compose, entre autres, des procédures :

- de contrôles préliminaires de fin de montage et de récolement fonctionnel après fin de montage ;
- d'essais en local hors fluide des actionneurs ;
- de mise en fluide et lessivage des circuits internes du moteur Diesel ;
- d'essais fonctionnels de mise en service des circuits de démarrage des moteurs et des auxiliaires ;
- d'essais opérationnels de l'alternateur ;
- d'essais des auxiliaires en fonctionnement à charge stable ;
- d'essais contractuels préalables à la mise en service industrielle et à la réception provisoire.

Le respect des critères de sûreté que comportent ces procédures d'essais de démarrage constitue une preuve que le groupe électrogène fonctionne conformément aux exigences définies à la conception.

## 4. ESSAI D'ENDURANCE A MARCHE STABLE PENDANT 8 JOURS

L'essai d'endurance à marche stable durant huit jours, qui fait partie de la procédure des essais contractuels du CST<sup>3</sup> préalables à la réception provisoire, permet de s'assurer que les groupes électrogènes principaux (LHP, LHQ, LHR et LHS) présentent les performances attendues dans le temps. Cet essai d'endurance est affecté du critère de sûreté de type S suivant :

***Le groupe fonctionne normalement sans défaut pendant 8 jours consécutifs à charge stable d'au moins 0,5\*Pn dont 4 jours de fonctionnement à puissance Pn.***

<sup>2</sup> MDTE : manque de tension externe.

<sup>3</sup> CST : cahier des spécifications techniques.

Selon la procédure d'essais, cet essai doit être réalisé pendant quatre jours à 50 % de charge stable suivis de quatre jours à 100 % de charge stable.

#### **4.1. ESSAI D'ENDURANCE DU GROUPE DIESEL LHP**

L'essai s'est déroulé pendant quatre jours à 50 % de charge sans défaut suivis de quatre jours à 100 % de charge avec un défaut. Un déséquilibre des phases de l'alternateur est apparu, qui a conduit au déclenchement automatique, par PNP<sup>4</sup>, du groupe électrogène. Constatant que le courant de la phase 2 est inférieur à celui des phases 1 et 3, EDF a décidé de relever les valeurs d'intensité des courants des trois phases de l'alternateur toutes les heures. Par ailleurs, EDF a procédé au serrage des fils des chaînes de mesure des courants et a redémarré le groupe pour terminer l'essai d'endurance. Une fiche d'écart a été ouverte pour caractériser le défaut rencontré durant cet essai et définir son traitement. Plusieurs jours après la fin de cet essai d'endurance, EDF a découvert que l'un des cinq câbles de la phase 2 a été sectionné avec des traces d'échauffement dans un coffret électrique. Le contrôle visuel des autres groupes électrogènes principaux mené par EDF a montré que la gaine d'un câble de la phase 1 du groupe LHS était aussi fondue, alors que les gaines des câbles des groupes LHQ et LHR ne présentaient aucune anomalie.

L'expertise menée par le constructeur mentionne des défauts de montage au niveau des assemblages boulonnés des connectiques des câbles de 10 kV des alternateurs des groupes électrogènes LHP et LHS (défauts de serrage, manque de rondelles, etc.). L'échauffement a été provoqué par un mauvais sertissage des cosses des câbles lors de la fabrication en usine. De ce fait, EDF a remis en état les câbles endommagés et a contrôlé le sertissage sur les quatre groupes diesels principaux. L'ensemble des diesels principaux a ensuite été requalifié fonctionnellement (7 h 30 de fonctionnement à 100 % de charge et 30 mn de fonctionnement à 110 % de charge).

#### **4.2. ESSAI D'ENDURANCE DU GROUPE DIESEL LHQ**

L'essai d'endurance du groupe diesel LHQ a été interrompu lors des paliers de 50 % et de 100 % de charge stable. Au cours du palier à 50 % de charge, un arrêt volontaire a été provoqué à la suite de variations incontrôlées de puissance (passage très rapide de 3000 kW à 5000 kW). Un premier défaut de variation rapide de puissance était dû au desserrage de la prise du régulateur Woodward<sup>®</sup> qui a été resserrée sans que l'essai d'endurance au palier de 50 % Pn ne soit arrêté. Le même défaut, qui s'est reproduit quelques heures après, a amené EDF à arrêter volontairement cet essai. Ce deuxième défaut était dû à des brins de la connectique du Woodward<sup>®</sup> qui ont été retrouvés déconnectés. Après réparation, EDF a repris l'essai d'endurance. Au palier de 100 % de charge stable, un arrêt volontaire a de nouveau été réalisé à la suite d'une fuite de carburant provenant du cylindre A2. Après remplacement du flexible d'alimentation en carburant, le groupe LHQ a été redémarré pour terminer l'essai de fonctionnement à charge stable.

#### **4.3. ESSAI D'ENDURANCE DU GROUPE DIESEL LHR**

Lors de l'essai à 50 % de charge stable, le niveau de vibration horizontal du PMG<sup>5</sup> du groupe électrogène LHR est passé de 20 mm/s à 56,5 mm/s environ. Suivant les deux autres axes (vertical et axial), les niveaux sont restés stables (20 mm/s environ). EDF a arrêté volontairement le groupe LHR pour contrôler l'état du PMG ainsi que celui de l'accéléromètre mesurant les vibrations. Après la mise en place d'un second accéléromètre (pour confirmer les valeurs relevées par le premier), le groupe a été redémarré pour terminer l'essai.

#### **4.4. ESSAI D'ENDURANCE DU GROUPE DIESEL LHS**

Lors du début de montée de 50 % à 100 % de charge (fin du palier de 50 %), le groupe LHS s'est arrêté automatiquement (par activation de ses protections) une première fois à la suite de l'apparition de la PNP « T<sub>MAX2</sub>

---

<sup>4</sup> PNP : protection non-prioritaire activées en essais périodiques pour préserver le matériel.

<sup>5</sup> PMG : alternateur à aimants permanents (Permanent Magnet Generator) servant à exciter l'alternateur principal.

palier butée/moteur ». Au palier de 100 % de charge, le groupe LHS s'est arrêté une deuxième fois à la suite de la présence de la PNP « T<sub>MAX2</sub> palier alternateur » et une troisième fois à la suite de l'apparition de la PNP « T<sub>MAX2</sub> palier butée/moteur ».

Lors du premier arrêt, plusieurs alarmes sont apparues. Après des échanges, notamment avec le constructeur, à qui la présence de phénomènes physiques réels semblait peu probable, il a été décidé de reprendre l'essai et de remonter à 100 % de charge. Le groupe diesel LHS s'est arrêté 30 minutes après, à la suite de l'apparition de la même PNP « T<sub>MAX2</sub> palier butée/moteur ». EDF a alors procédé à la permutation de deux sondes de température et a repris l'essai à 100 % de charge, qui est arrêté volontairement 5 mn après pour remise en conformité des câbles. L'essai de 100 % de charge est ensuite repris.

Concernant l'apparition de la PNP « T<sub>MAX2</sub> palier alternateur », EDF soupçonne un bruitage de la mesure de température après la découverte de dégradations du connecteur de la sonde de température et a procédé au remplacement de cette sonde par celle de réserve. Après la remontée à 100 %, EDF constate que le bruitage reste présent et décide alors d'inhiber la sonde de température via un forçage au CCS<sup>6</sup> et de suivre l'évolution de cette température en local. En cas d'atteinte de la valeur de protection (103 °C), le groupe LHS sera arrêté manuellement, en local.

Concernant les trois autres arrêts automatiques, EDF met en cause un signal intempestif d'une autre sonde de température. Plusieurs actions ont été menées, notamment la vérification du câblage et la déconnexion de la sonde pour nettoyage, car des traces d'huile ont été trouvées. Après acquittement des alarmes, EDF a redémarré le groupe LHS pour terminer l'essai de 100 % de charge.

## 5. POSITION D'EDF

Pour EDF, les essais sont concluants et le critère S a été respecté pour les quatre groupes électrogènes testés. L'objectif du critère S est de valider la bonne qualité d'intégration du matériel sur le site. En effet, en 2018, l'ASN a demandé [2] à EDF de proposer des essais d'endurance, sur site, pour les groupes motopompes et électrogènes de sauvegarde ne fonctionnant pas en permanence en exploitation normale, en considérant des conditions pénalisantes de sollicitations mécaniques, thermiques et vibratoires. Puis, en 2022, l'ASN a demandé [3] à EDF d'affecter un critère de sûreté à ces essais d'endurance. En réponse, EDF a indiqué que le critère C de fonctionnement sans défaut pendant 8 jours des groupes électrogènes de secours et d'ultime secours devenait un critère de sûreté de type S.

De plus, EDF a apporté les précisions suivantes concernant le déroulement des essais :

- LHP : EDF considère que le défaut de sertissage du câble de la phase 2 est un cas isolé qui remonte à la fabrication en usine du coffret de raccordement de puissance de sortie de l'alternateur. EDF a repris le sertissage des câbles des quatre groupes électrogènes principaux, selon une procédure AIP<sup>7</sup> conforme aux requis du RCC-E<sup>8</sup> suivie d'une requalification fonctionnelle en charge ;
- LHQ : EDF indique que ce groupe électrogène a été volontairement arrêté à deux reprises à la suite de variations incontrôlées de charge et pour remplacer un flexible de carburant endommagé (écoulement de carburant). Pour EDF, les excursions de puissance constituent un cas isolé de défaut de la connectique soudée du régulateur Woodward®, qui a été remplacée par une connectique sertie, plus robuste. Ce groupe électrogène a été requalifié fonctionnellement, en charge. Concernant le remplacement du flexible de carburant percé, EDF indique que le percement est dû à la réalisation de soudures à proximité

<sup>6</sup> CCS : contrôle commande standard.

<sup>7</sup> AIP : activité importante pour la protection des intérêts.

<sup>8</sup> RCC-E : règles de conception et de construction applicables aux matériels électriques de l'îlot nucléaire.

des flexibles des groupes électrogènes. EDF a identifié six autres flexibles (LHP, LHQ et LHR) présentant des défauts similaires dont le remplacement est en cours ;

- **LHR** : EDF a arrêté volontairement, par précaution, ce groupe après l'augmentation du niveau vibratoire du PMG pour réaliser une inspection visuelle de ce dernier et vérifier l'accéléromètre ;
- **LHS** : ce groupe s'est arrêté plusieurs fois à la suite de l'apparition de deux types de PNP : « T<sub>MAX2</sub> palier alternateur » et « T<sub>MAX2</sub> palier butée/moteur ». L'atteinte de la PNP de l'alternateur est due au bruitage de la mesure de température et à une température moyenne plus élevée que sur les autres groupes électrogènes. Le seuil de déclenchement de la PNP n'aurait pas été atteint sans le bruitage de cette sonde. Le défaut, qui est un cas isolé, est dû à l'absence d'un manchon d'isolement électrique de la sonde qui a été remise en état. L'atteinte de la PNP au niveau du palier moteur est due à des signaux intempestifs transitant par la prise, car des traces d'huile ont été découvertes au niveau de cette prise. EDF soupçonne également un défaut de montage de la connectique et considère que ces signaux intempestifs constituent un cas isolé.

Enfin, EDF indique que l'activation des PNP lors de ces essais avait pour but de préserver le matériel et de protéger le personnel. Il considère acceptable la perte de la fonction de sûreté sur un temps court pour pouvoir discriminer un phénomène intempestif d'un phénomène chronique. Les durées de fonctionnement des groupes diesels principaux ont été allongées pour prendre en compte ces temps d'arrêt et respecter les huit jours de fonctionnement.

**Pour EDF, le fonctionnement du groupe diesel principal LHR s'est déroulé sans aléa. Concernant les groupes LHP, LHQ et LHS, les défauts rencontrés ne révèlent pas de défaut de fonctionnement.** Les défauts rencontrés sont ponctuels et ont été corrigés, les groupes ayant subi une requalification dédiée après intervention.

## 6. ANALYSE DE L'IRSN

L'IRSN a analysé tous les résultats de l'essai d'endurance des quatre groupes électrogènes principaux. L'essai des groupes LHP, LHQ et LHS, a mis en lumière des défauts divers qui ont conduit à l'interruption, soit volontaire, soit automatique à la suite de l'apparition d'une PNP, de l'essai. Les défauts du groupe LHP (fusion d'une gaine de câble de 10 kV), du groupe LHQ (deux séries de variation incontrôlée de puissance et un flexible de carburant endommagé à la suite d'activités de soudures à proximité) et du groupe LHS (apparition d'alarmes de température à la suite d'un dysfonctionnement de capteurs) qui ne sont pas de même nature, ont amené EDF à intervenir pour les corriger. En outre, une gaine d'un câble d'une phase de 10 kV a été retrouvée fondue dans un coffret électrique appartenant à ce dernier groupe électrogène. Enfin, les groupes LHQ et LHS n'ont jamais fonctionné trois jours consécutifs à 100 % Pn durant cet essai d'endurance.

En réponse aux questions de l'IRSN concernant le sertissage des câbles des phases de 10 kV, EDF a indiqué que le sertissage des câbles des quatre groupes diesels principaux a été repris conformément à la procédure qui a été qualifiée au sens du RCCE-2005 chapitre E-4210, IEC 60352-2, IEC 61238-1 et la norme IEC 60512. Après le sertissage, des vérifications (mesures d'isolement et de micro-résistivité) ont été réalisées sur chaque phase ainsi que des essais de requalification, déclarés conformes, d'une durée de 8 h (7 h 30 à 100 % Pn et 30 mn à 110 % Pn). De plus, à l'issue des essais de requalification, l'état de la boîte à borne et des câbles a été contrôlé visuellement pour s'assurer de l'absence de trace d'échauffement. Concernant la connectique des régulateurs Woodward<sup>9</sup>, EDF précise que les connecteurs soudés, qualifiés K3<sup>9</sup>, des quatre groupes électrogènes ont été remplacés par des connecteurs sertis. En outre, le manchon d'isolement manquant, à l'origine du bagotement du capteur de température, a été remis en place sur le seul groupe concerné (LHS) et des vérifications sont en

---

<sup>9</sup> Matériels installés hors de l'enceinte de confinement ayant à assurer leur fonction en situation accidentelle.

cours sur les trois autres groupes. Concernant le défaut d'étanchéité affectant la prise comportant des traces d'huile, les investigations qui sont en cours seront étendues aux trois autres groupes électrogènes principaux.

Par ailleurs, dans le cadre d'un essai du diesel LHP, postérieur à l'essai d'endurance, EDF a informé l'ASN et l'IRSN d'un incident. Lors des 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> démarrages, une alarme (température moyenne et de déviation au niveau des cylindres) est apparue, conduisant EDF à arrêter le groupe électrogène. L'analyse à chaud des relevés de température et de pression montre une baisse significative de la température et de la pression du cylindre B3 lors des derniers démarrages. **Le rapport d'expertise indique la présence d'une fissuration au niveau de l'injecteur B3 qui est due à un mauvais montage.** À date, les résultats des contrôles de ressuage réalisés sur les trois autres groupes électrogènes principaux ne sont pas encore connus. Le plan d'action prévoit, en fonction des résultats des contrôles, dans le cas de figure le plus défavorable, le remplacement et la requalification de tous les injecteurs de tous les groupes électrogènes principaux.

**L'IRSN considère que ces défauts auraient dû être détectés durant les phases d'essais précédentes (contrôles préliminaires de fin de montage, contrôles de récolements fonctionnels après les fins de montage et essais fonctionnels de sous-ensembles).**

Lors de l'essai d'endurance, EDF a choisi d'activer les PNP, par précaution, pour préserver le matériel. Ces PNP activées ont pu mettre en lumière des défaillances d'équipements qui n'ont pas été détectées lors des essais précédents. Malgré l'essai d'endurance du groupe LHP, c'est un autre essai réalisé par la suite qui a permis de découvrir l'anomalie de montage d'un injecteur. **Ainsi, l'ensemble de ces essais a mis en évidence plusieurs défauts dont l'un mettant en cause directement le fonctionnement du moteur du groupe électrogène LHP. L'IRSN considère que les requalifications réalisées à la suite des diverses réparations des défauts rencontrés ne sont pas suffisantes pour s'assurer de la disponibilité et de la fiabilité de ces groupes électrogènes principaux avec un niveau de confiance acceptable.**

Les fortes contraintes d'exploitation qu'induit la réalisation de ces essais rendent difficile leur répétition dès lors que le réacteur est en service. **Ainsi, la reprise de ces essais d'endurance, dès lors qu'elle est reconnue comme nécessaire, est à mener au plus tôt.** Le RDS<sup>10</sup>, version DMES<sup>11</sup>, indique que « *les groupes électrogènes peuvent fonctionner 72 heures à pleine charge, sans appoint en fluides, afin de couvrir les besoins électriques des actionneurs secourus lors d'un MDTE (durée de 24 heures) et pour permettre l'approvisionnement des fluides nécessaires à l'alimentation des diesels principaux lors d'un MDTE long terme* ». **Par conséquent, afin de renfoncer la confiance dans la fiabilité des groupes électrogènes principaux, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF réalise un nouvel essai d'endurance de chacun des quatre groupes électrogènes principaux LHP, LHQ, LHR et LHS, avant la mise en service du réacteur EPR de Flamanville. Il devra s'agir d'un essai de fonctionnement à marche stable à 100 % de puissance nominale pendant trois jours consécutifs. À cet égard, l'IRSN formule une recommandation en annexe.**

**De plus, en cas de survenue d'un aléa majeur (problème sur le moteur ou l'alternateur), au cours ou postérieurement à ce nouvel essai d'endurance, sur un des groupes électrogènes principaux, l'IRSN estime nécessaire que, le cas échéant, EDF se positionne sur la validité des résultats déjà obtenus et sur la nécessité ou non de renouveler l'essai d'endurance sur le ou les groupes électrogènes concernés.**

---

<sup>10</sup> RDS : rapport de sûreté.

<sup>11</sup> DMES : dossier de mise en service.

## 7. CONCLUSION

Au vu des résultats et des précisions techniques transmises concernant les essais d'endurance des groupes électrogènes de secours, ainsi que des informations récentes relatives au mauvais montage d'un injecteur, **l'IRSN considère que les aléas survenus sur les groupes électrogènes ne permettent pas de considérer que ceux-ci ont un niveau de fiabilité satisfaisant. À ce titre, une fois l'ensemble des aléas techniques traités, l'IRSN recommande qu'un essai complémentaire d'endurance soit réalisé au plus tôt pour chacun des groupes électrogènes avant la mise en service du réacteur EPR de Flamanville**, afin de garantir leur aptitude à assurer leur mission en cas de situation accidentelle.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2023-00064 DU 4 MAI 2023**

### **Recommandation de l'IRSN**

L'IRSN recommande qu'EDF réalise, avant la mise en service du réacteur EPR de Flamanville, un essai de fonctionnement à marche stable à 100 % de puissance nominale, pendant trois jours consécutifs, des quatre groupes électrogènes principaux LHP, LHQ, LHR et LHS.