



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 30 août 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00126

Objet : EDF – REP – Centrale nucléaire de Flamanville – INB n° 109 – Réacteur n° 2 – Expertise de l'échauffement anormal de l'alternateur du groupe électrogène de secours de la voie A lors de son fonctionnement à pleine puissance.

Réf. : Courrier ASN – CODEP-CAE-2024-046704 du 23 août 2024.

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a expertisé l'étude réalisée par EDF pour justifier la disponibilité du groupe électrogène de secours de la voie A (repéré LHP) du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Flamanville. Celui-ci a en effet montré un échauffement anormal de son alternateur au cours d'un essai de fonctionnement à 100 % de sa puissance nominale pour sa requalification après l'échange standard réalisé pendant l'arrêt pour visite partielle (VP) du réacteur. Cet arrêt a débuté en février 2024 et le réacteur est actuellement en phase de redémarrage.

Pour rappel, chaque réacteur du parc nucléaire en exploitation est équipé de deux sources électriques internes de secours (moteur Diesel entraînant un alternateur), qui permettent d'alimenter les deux voies électriques redondantes A et B (un groupe électrogène par voie) en cas de perte des alimentations électriques extérieures. Ces groupes électrogènes doivent fournir une puissance électrique suffisante pour réalimenter les principaux matériels assurant les fonctions de sûreté indispensables au repli et au maintien dans un état sûr du réacteur.

La puissance mécanique nominale (P_n) d'un moteur Diesel correspond à la puissance maximale que le groupe électrogène peut fournir, dans des conditions ambiantes définies, lors d'un fonctionnement en continu pendant un nombre illimité d'heures. Dans des conditions ambiantes dégradées, notamment en cas de température extérieure élevée, une montée en température des fluides du groupe électrogène et d'équipements électriques peut remettre en question sa disponibilité. Une réduction de la puissance (ou « détarage ») du groupe électrogène est alors nécessaire pour s'assurer que les paramètres essentiels de fonctionnement restent dans une plage admissible.

Dans le cadre de son référentiel « grands chauds », EDF a réévalué les températures de l'air extérieur à prendre en compte pour vérifier la tenue des matériels :

- la température extérieure dite « longue durée » (TLD) correspond à la température maximale pour laquelle le régime permanent n'est pas remis en cause pour l'ensemble des situations de fonctionnement du groupe électrogène (normal, incidentel ou accidentel). En-dessous de la TLD, la durée de la mission du groupe électrogène, dans la démonstration de sûreté, est de 15 jours ;

MEMBRE DE
ETSON

- la température exceptionnelle (TE) correspond à la température maximale journalière retenue en situation de canicule. La durée de fonctionnement considérée pour le groupe électrogène est alors de six heures.

La TLD et la TE sont définies pour chaque site en fonction de sa localisation géographique.

Chacun des groupes électrogènes de secours se trouve dans un hall fermé. Pour les réacteurs de 1300 MWe, deux ventilateurs permettent l'extraction d'air de ce hall pour maintenir une température ambiante acceptable. Le démarrage de ces ventilateurs est asservi à une mesure de température¹.

Contexte

Au début de la VP du réacteur n° 2 de Flamanville, EDF a réalisé un essai périodique (EP) au titre du chapitre IX des règles générales d'exploitation (RGE) visant à vérifier la disponibilité du dispositif mécanique de déclenchement par survitesse du groupe électrogène LHP. Lors de cet EP, ce dispositif a dysfonctionné, provoquant une survitesse importante au niveau du moteur Diesel. Cet aléa a conduit EDF à réaliser une visite complète du moteur et à remplacer l'alternateur de ce groupe électrogène de secours. Après travaux, un rodage du groupe électrogène a été réalisé sur une durée de l'ordre de 15 heures, incluant des prises de charge jusqu'à 100 % Pn. Un essai de requalification du groupe électrogène à 100 % Pn a ensuite eu lieu pendant 13 heures.

Lors de ces phases de fonctionnement, au niveau du stator du nouvel alternateur, des températures supérieures à celles de l'alternateur déposé ont été constatées. Deux autres essais, réalisés les 26 et 29 juin 2024, ont confirmé les premières mesures. La durée de l'essai du 29 juin a été de l'ordre de 24 heures.

Les résultats de ces essais ont été analysés par EDF afin de déterminer l'impact de l'échauffement anormal du stator sur la disponibilité du groupe électrogène. De plus, l'origine de la température élevée de cet alternateur n'étant pas identifiée, une expertise a été demandée à l'installateur² de ce matériel.

Analyse d'EDF

Lors des différents essais susmentionnés, les températures relevées au niveau des trois phases du stator de l'alternateur du groupe électrogène LHP du réacteur n° 2 de Flamanville étaient élevées par rapport à celles attendues, mais sans dépassement de critères RGE puisqu'elles ont été mesurées entre 5 et 13 °C sous le seuil de température du critère de groupe B³ des RGE, et entre 15 et 23 °C sous le seuil du critère de groupe A⁴. Pour EDF, la cause la plus probable de cette élévation de température est un défaut de circulation du flux d'air traversant l'alternateur du bas vers le haut. En effet, la différence de température entre l'air aspiré et l'air refoulé est doublée par rapport à celle attendue. D'autres hypothèses, comme des défauts mécaniques ou des dégradations de l'isolement électrique de l'alternateur, ont été écartées du fait de la conformité de certains paramètres mesurés.

Afin d'évaluer les températures maximales pouvant être atteintes par l'alternateur, en particulier lorsque la température ambiante diffère de celle des essais, EDF a extrapolé les résultats des essais. Pour effectuer cette extrapolation, EDF a défini les puissances et intensités électriques maximales que l'alternateur devra fournir en

¹ Le premier ventilateur est mis en service lors de l'atteinte d'une température dans le hall diesel de 30 °C et le second ventilateur pour une température de 35 °C.

² L'installateur de l'alternateur de ce diesel de secours est également constructeur de ce type d'équipements.

³ Sont classés en groupe B les critères d'essais dont l'évolution est caractéristique de la dégradation d'un équipement ou d'une fonction sans pour autant que ses performances ou sa disponibilité soient, après analyse, systématiquement remises en cause pendant la durée de la mission.

⁴ Sont classés en groupe A les critères d'essais dont le non-respect compromet un ou plusieurs objectifs de sûreté.

considérant les différents scénarios accidentels, pour une température externe égale à la TLD d'une part et à la TE d'autre part (l'échauffement de l'alternateur est proportionnel au carré de l'intensité). Pour le scénario le plus pénalisant, soit celui où l'intensité fournie par l'alternateur est la plus élevée, EDF estime par extrapolation que l'élévation de température de l'alternateur serait de l'ordre de 2,5 °C par rapport aux valeurs mesurées lors des essais. Grâce aux résultats de l'essai du 26 juin 2024 (température extérieure de 24,6 °C), EDF calcule ainsi que la température maximale des enroulements du stator serait supérieure au seuil de température du critère de groupe B des RGE mais resterait inférieure de 5 °C au seuil du critère de groupe A. Par ailleurs, EDF montre que le scénario tenant compte des conditions de « canicule » n'est pas le plus dimensionnant du fait d'une puissance électrique moindre à fournir au niveau de l'alternateur.

En parallèle de ces extrapolations, l'installateur de l'alternateur a identifié que, lors de la rénovation de cet équipement en 2004 (en atelier), un joint en corde de verre imprégnée de résine n'a pas été mis en place. Ce joint permet de réduire le jeu entre les ventilateurs et le stator. En l'absence de celui-ci, la circulation du flux d'air est dégradée, ce qui expliquerait les températures anormalement hautes mesurées. Selon l'installateur, la remise en conformité ne peut pas être réalisée sur site. Il privilégie donc le remplacement de ce stator, jugé « défectueux ». Enfin, l'installateur indique un risque de diffusion de la chaleur du stator vers le palier de l'alternateur.

Compte tenu de la faible marge (5 °C) par rapport au critère de groupe A des RGE pour la température maximale estimée des enroulements du stator, **EDF a complété son étude par une réévaluation des seuils de température maximale admissible par ces enroulements, ainsi que par le palier de l'alternateur.** EDF considère que l'écart n'évolue pas dans le temps.

Concernant la température maximale admissible au niveau du stator, EDF s'appuie sur la norme CEI 60085 relative à « l'évaluation et la classification thermiques de l'isolation électrique », dans laquelle il est indiqué que la température du stator peut dépasser, dans le cadre d'une « condition de service exceptionnelle », la température maximale admissible de la classe B, tout en restant inférieure à la température maximale admissible de la classe F. EDF compare donc la température maximale estimée pour les enroulements du stator de son alternateur à celle admissible pour la classe F.

Concernant la température maximale du palier de l'alternateur (critère de groupe A des RGE), EDF précise qu'elle correspond à une température maximale attendue pour des conditions normales de fonctionnement, mais qu'elle n'est pas une limite technologique de fonctionnement intrinsèque à l'équipement. Ainsi, étant donné la qualité de l'huile de lubrification des paliers des alternateurs et l'épaisseur du film d'huile de ces paliers, **EDF a estimé la température maximale admissible du palier de l'alternateur à 10 °C plus élevée que le critère RGE de groupe A pour le scénario à la TLD et à 15 °C plus élevée pour le scénario à la TE.**

Grâce aux résultats de l'essai du 29 juin 2024 notamment, EDF a estimé la température stabilisée du palier de l'alternateur à la TLD en s'appuyant sur un modèle thermique de l'ensemble. Cette estimation a été réalisée en utilisant un logiciel développé par EDF et a permis de calculer la température du palier qui aurait été atteinte pendant l'essai si la température ambiante avait été maintenue jusqu'à la stabilisation de la température du palier. Elle s'appuie également sur une corrélation établie par rapport à la température extérieure⁵. Ainsi, la température maximale stabilisée des paliers de l'alternateur est estimée par EDF à 3,5 °C sous le seuil de température admissible pour la TLD et à 5,3 °C pour la TE. Selon EDF, cette estimation comporte des conservatismes et présente donc des marges.

⁵ Selon EDF, ces deux modèles permettent de s'affranchir du phénomène spécifique de transfert de chaleur du stator vers le palier de l'alternateur.

En conclusion, EDF estime que les calculs réalisés permettent de justifier la disponibilité du groupe électrogène de secours de la voie A du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Flamanville dans l'ensemble des scénarios de températures élevées (TLD et TE). Dans l'attente du remplacement de cet alternateur, programmé au plus tard à la quatrième visite décennale⁶ de ce réacteur, EDF prévoit de mettre en œuvre un suivi renforcé des paramètres de fonctionnement de l'alternateur lors des EP à charge partielle (réalisés tous les deux mois).

Analyse de l'IRSN

En préalable, l'IRSN souligne que la démarche interrogative de l'exploitant de la centrale nucléaire de Flamanville, à la suite de l'observation d'une température bien supérieure à celle observée habituellement au niveau du stator de l'alternateur, a permis d'identifier un écart (l'absence d'un joint) alors que les critères issus du chapitre IX des RGE pour cet équipement étaient respectés. **Ce constat met en exergue que les critères fonctionnels de requalification ne doivent pas, d'une manière générale, se limiter aux critères prescrits dans le chapitre IX des RGE.**

Concernant les estimations des températures maximales pouvant être atteintes au niveau des enroulements du stator et du palier de l'alternateur, EDF indique que les hypothèses utilisées sont conservatives. L'IRSN ne remet pas en cause les extrapolations et modélisations réalisées par EDF. Néanmoins, l'IRSN dispose d'assez peu d'éléments de validation pour juger pleinement de leur bienfondé. **Ainsi, l'étude réalisée par EDF apparaît complexe et les résultats présentent des incertitudes qui n'ont pas été estimées.** De plus, les conditions de réalisation des essais dont les résultats ont été utilisés en tant que données d'entrée ont pu avoir un impact sur les mesures effectuées. Ainsi par exemple, à plusieurs reprises, les portes du « hall diesel » ont été ouvertes lors des essais, ce qui a pu modifier temporairement les conditions d'essai. Par ailleurs, du fait de l'écart mis en évidence par l'installateur, avec l'absence d'un joint, l'IRSN ne peut exclure la présence de points chauds à des points singuliers du stator.

Les estimations de températures maximales atteintes par les enroulements du stator et le palier de l'alternateur sont supérieures aux critères de groupe B définis dans le chapitre IX des RGE et disposent d'une faible marge par rapport aux critères maximaux admissibles recalculés par EDF. **Vu ces faibles marges, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF valide l'extrapolation et la modélisation réalisées au moyen d'un essai à réaliser au cours de l'année 2025** (au plus tard), dès que les conditions climatiques le permettront. Cet essai devra être réalisé dans des conditions de fonctionnement représentatives d'un fonctionnement du groupe électrogène de secours en situation accidentelle. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1.**

Par ailleurs, et compte tenu de l'influence de la température du hall du groupe électrogène, l'IRSN estime qu'EDF devra analyser l'opportunité d'adapter le seuil de démarrage des ventilateurs du hall du groupe électrogène à une température inférieure à celle actuellement réglée. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2.**

L'IRSN rappelle également qu'en cas de survenue d'un autre écart affectant l'alternateur, EDF doit, conformément à son référentiel de traitement des écarts, analyser l'impact de ce dernier sur son analyse susmentionnée.

Conclusion

Compte tenu de la période à venir qui présentera des températures extérieures largement inférieures à celle de la TLD, l'IRSN estime que l'étude d'EDF est suffisante pour pouvoir considérer disponible le groupe électrogène de secours de la voie A du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Flamanville.

⁶ Selon EDF, le délai d'approvisionnement d'un nouvel alternateur est d'au moins huit mois.

Toutefois, en vue de la prochaine période estivale, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF valide l'extrapolation et la modélisation réalisées en support de cette étude au moyen d'un essai de longue durée par une température extérieure élevée.

Enfin, compte tenu de l'écart affectant cet alternateur, l'IRSN estime que cet équipement doit être remplacé au plus tard lors du prochain arrêt pour renouvellement du combustible du réacteur.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2024-00126 DU 30 AOÛT 2024

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF définisse et réalise un essai à pleine charge de longue durée du groupe électrogène de secours en voie A du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Flamanville, dans des conditions de température extérieure élevée, afin de valider les différentes extrapolations et modélisations réalisées pour estimer les températures atteintes par l'alternateur. Cet essai sera planifié dès l'atteinte de conditions atmosphériques adaptées.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF analyse l'opportunité d'adapter le seuil de démarrage des ventilateurs du hall du groupe électrogène à des températures inférieures à celles actuellement réglées.