



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 6 juillet 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00109

Objet	: Réacteur EPR de Flamanville 3 – Spécifications techniques d'exploitation - Essais physiques
Réf.	: [1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2023-030760 du 27 juin 2023. [2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2018-002008 du 6 juillet 2018. [3] Lettre ASN – CODEP-DCN-2022-025981 du 29 juillet 2022. [4] Lettre ASN – CODEP-DCN-2022-040204 du 29 août 2022.

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné les éléments transmis par EDF dans le cadre de la demande de mise en service (DMES) du réacteur EPR de la centrale nucléaire de Flamanville (EPR FA3) portant sur les chapitres III et X des règles générales d'exploitation (RGE).

1. CONTEXTE

Les règles générales d'exploitation (RGE) d'une installation nucléaire de base (INB), prévues à l'alinéa II de l'article 20 du décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007, définissent l'ensemble des dispositions techniques et organisationnelles d'exploitation permettant d'assurer la protection des intérêts visés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement. Elles permettent de maintenir l'installation dans un domaine de fonctionnement couvert par la démonstration de sûreté présentée dans le rapport de sûreté (RdS).

Le chapitre III des RGE de l'EPR FA3 correspond aux spécifications techniques d'exploitation (STE) qui fixent en particulier les limites du fonctionnement normal de l'installation afin de garantir le respect des hypothèses de conception et de dimensionnement du réacteur vis-à-vis des incidents et des accidents étudiés dans le RdS. Les STE prescrivent également des conduites à tenir en cas de dépassement d'une limite du fonctionnement normal ou d'indisponibilité d'une fonction de sûreté requise.

Le chapitre X des RGE prescrit les essais physiques de redémarrage à puissance nulle et en puissance après rechargement (REPR) qui seront mis en œuvre à chaque rechargement du combustible à partir du deuxième cycle de fonctionnement du réacteur. Pendant la phase comprise entre le premier chargement du combustible et la mise en service industrielle de l'installation, le programme de principe d'essais du cœur (PPE COR) prescrit les essais physiques à réaliser. Le chapitre X prescrit également les essais physiques à réaliser en cours de cycle (REPC) dès le premier cycle, après la mise en service industrielle.

MEMBRE DE
ETSON

Les essais prescrits par le PPE COR, les REPR et la REPC doivent permettre de vérifier le bon comportement physique du cœur. En particulier, ils permettent de valider la conformité du cœur au référentiel de conception par la comparaison des valeurs attendues (théoriques - calculées) aux valeurs mesurées des paramètres représentatifs du cœur. Ces programmes d'essais prescrivent également le calibrage de l'instrumentation nucléaire.

Les STE et les programmes d'essais physiques (chapitre X des RGE) du réacteur n° 3 de la centrale nucléaire de Flamanville (EPR FA3) ont fait l'objet d'expertises de l'IRSN et de demandes formulées par l'ASN en références [2], [3] et [4] :

- demandes D1 et D2 [4], liées à la conduite à tenir en cas d'indisponibilité des chaînes neutroniques de niveau intermédiaire (CNI) et à la suffisance des évolutions apportées dans la documentation ;
- demande C10-2-MES [2], liée à la justification de l'incertitude de mesure du déséquilibre axial (axial-offset) en puissance (AOP) du cœur par carte de flux considérée pour vérifier le bon dimensionnement de la chaîne de surveillance de l'AO élaboré à partir des signaux des collectrons¹ ;
- demande C10-3-MES [2], liée à la justification des incertitudes de mesures manuelles de la concentration en bore (CB) du circuit primaire considérées pour vérifier la réactivité du cœur et définir les critères du PPE COR et de la REPR ;
- demande D8 [3], liée à la justification de la sûreté lors de la réalisation d'essais physiques des mesures de réactivité représentatifs de l'effet Doppler² en puissance ;
- demande D11 [3], liée à la justification des seuils de la chaîne de protection « puissance nucléaire élevée » sur les chaînes neutroniques de niveau puissance (CNP) lors de la première montée en puissance après (re)chargement ;
- demande D13 [3], liée à l'impact de l'indisponibilité de sondes de température en branches chaudes sur la chaîne de surveillance de la puissance thermique ;
- demande D14 [3], liée à la justification de la sûreté en cas de dilution homogène avec absence de fermeture d'une vanne réglante du système de décharge à l'atmosphère (VDA) lors des essais COR à puissance nulle.

EDF a apporté des réponses aux demandes de l'ASN dont l'échéance a été fixée en amont de la première divergence du réacteur. Par la lettre citée en référence [1], l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur ces réponses. L'avis de l'IRSN est présenté dans les paragraphes 2 à 8 ci-dessous.

2. CONDUITES A TENIR EN CAS DE CNI INDISPONIBLES

L'indisponibilité de plusieurs CNI (événements STE) peut mettre en cause la disponibilité des chaînes de protection « haut flux nucléaire » sur les CNI et « puissance thermique élevée » valorisées pour démontrer la sûreté respectivement lors des essais physiques de démarrage à puissance nulle et lors de la première montée en puissance après rechargement jusqu'à 25 %Pn. Les conduites à tenir prescrites par les programmes d'essais physiques pour ces situations n'amènent pas de remarque de la part de l'IRSN.

Des différences de formulation de ces conduites à tenir ont été identifiées entre le PPE COR et la REPR à puissance nulle. EDF a prévu d'homogénéiser la formulation de ces conduites dans la REPR afin de lever toute difficulté

¹ L'EPR FA3 dispose d'un système de mesure du flux neutronique « incore » fixe composé de 72 détecteurs neutroniques au cobalt appelés « collectrons ». Ils sont répartis de façon homogène dans tout le volume du cœur au moyen de 12 « cannes », comportant chacune 6 collectrons. Chacune des 12 cannes est insérée dans un tube guide de grappe d'un assemblage.

² L'effet Doppler est la variation de réactivité du cœur induite par une variation de la température du combustible. Ce phénomène contribue à garantir la stabilité du cœur en cas d'augmentation de la puissance du réacteur.

d'interprétation, ce qui fait l'objet de l'engagement n°1 présenté en annexe. L'IRSN estime acceptable cet engagement.

L'IRSN estime acceptables les réponses d'EDF aux demandes D1 et D2 de l'ASN sous réserve que l'engagement susmentionné soit pris en compte.

3. VERIFICATION DU BON DIMENSIONNEMENT DES SEUILS DE LA CHAÎNE DE SURVEILLANCE DE L'AXIAL-OFFSET

Les critères des programmes d'essais physiques relatifs à la vérification du bon dimensionnement des seuils de la chaîne de surveillance de l'axial-offset sont élaborés en tenant compte de l'incertitude de mesure de ce paramètre physique par carte de flux (mesure de la distribution de puissance dans le cœur du réacteur). La méthodologie d'évaluation de cette incertitude est complexe et comporte de nombreuses approximations. EDF a mené un travail conséquent pour quantifier cette incertitude, ce qui constitue une spécificité de l'EPR FA3, aucune évaluation équivalente n'ayant été menée pour les réacteurs du parc en exploitation. Dans ces conditions, l'IRSN estime qu'une évaluation complémentaire, basée sur une méthodologie différente, devrait être menée afin de confirmer les résultats disponibles.

À ce titre, l'IRSN estime qu'EDF devrait mener une campagne de mesures d'axial-offset lors de la première montée en puissance du réacteur ou en cours de cycle afin de consolider les valeurs de l'incertitude de mesure de ce paramètre.

4. VERIFICATION DE LA REACTIVITE DU CŒUR

La vérification de la réactivité du cœur est menée à partir d'une évaluation expérimentale de la concentration en bore 10 dans le circuit primaire lors des essais physiques. Les critères des programmes d'essais physiques associés à cette vérification sont établis en tenant compte de l'incertitude de mesure de cette concentration. L'IRSN considère acceptable la démarche d'évaluation des incertitudes sur la concentration en bore 10 compte tenu de son caractère enveloppe.

L'IRSN estime acceptable la réponse d'EDF à la demande C10-3-MES de l'ASN.

5. JUSTIFICATION DE LA SURETE LORS DES ESSAIS DOPPLER

Le PPE COR prescrit la réalisation d'essais Doppler à 80 %Pn et à 100 %Pn. La réalisation de ces essais conduit à un dépassement des limites de fonctionnement relatives à la température moyenne du circuit primaire. EDF prévoit de transmettre des éléments techniques complémentaires afin de justifier que les conditions de ces essais ne mettent pas en cause les exigences relatives à la conception thermohydraulique³ du cœur, ce qui fait l'objet de l'engagement n°2 présenté en annexe.

L'IRSN n'a pas d'autres remarques sur les justifications apportées par EDF et estime acceptable la réponse d'EDF à la demande D8 de l'ASN sous réserve que l'engagement susmentionné soit pris en compte.

³ La conception thermohydraulique vise à garantir un transfert de chaleur et une répartition de la production de chaleur dans le cœur, telle que l'évacuation de la chaleur par le circuit primaire ou le circuit d'injection de sécurité assure la protection du cœur contre les risques d'entrée en crise d'ébullition et de fusion du combustible. Cet objectif est atteint, entre autres, via le dimensionnement des seuils des chaînes de surveillance et de protection « puissance linéique élevée » et « bas rapport de flux thermique critique ».

6. JUSTIFICATION DES SEUILS DE LA CHAÎNE DE PROTECTION PUISSANCE NUCLEAIRE ELEVEE

Les CNP sont calibrées au fur et à mesure de la première montée en puissance après (re)chargement. Les conditions de calibrage à puissance intermédiaire sont susceptibles de mettre en cause la pertinence du seuil générique de la chaîne de protection « puissance nucléaire élevée » valorisée pour démontrer la sûreté.

EDF a mené une évaluation de l'incertitude globale de la chaîne de protection en considérant un calibrage des CNP réalisé à puissance nominale. Cette évaluation amène EDF à considérer que l'augmentation attendue de cette incertitude à puissance intermédiaire n'est pas susceptible de mettre en cause les valeurs des seuils de protection devant être implantés dans le système de protection au fur et à mesure de la première montée en puissance après (re)chargement. L'IRSN considère que les éléments techniques transmis par EDF permettent en effet de justifier le conservatisme des réglages du seuil prévus.

L'IRSN estime acceptable la réponse d'EDF à la demande D11 de l'ASN.

7. IMPACT DE L'INDISPONIBILITE DE SONDAS DE TEMPERATURE SUR LA SURVEILLANCE DE LA PUISSANCE THERMIQUE

La puissance thermique est élaborée à partir de plusieurs mesures de température dans les branches chaudes du circuit primaire. Les incertitudes globales des chaînes de surveillance et de protection « puissance thermique élevée », permettant de définir les seuils site à partir des seuils considérés dans les études de la démonstration de sûreté, sont évaluées en supposant la disponibilité de l'ensemble des sondes de température. L'indisponibilité d'une ou plusieurs sondes de température peut mettre en cause ces incertitudes.

L'indisponibilité d'une sonde est prise en compte par le système de protection via la mise en œuvre d'une pénalisation des mesures de température. EDF justifie l'absence de pénalisation de la température moyenne en branche chaude utilisée par la chaîne de surveillance « puissance thermique élevée » en indiquant que cette chaîne utilise une moyenne des mesures des 16 sondes de température (4 sondes par boucle). L'IRSN a vérifié que la perte d'une sonde de température a un impact négligeable sur le calcul de la puissance thermique. L'IRSN estime donc acceptable la position d'EDF.

EDF convient avoir répondu partiellement à la demande D13 de l'ASN, étant donné que la justification susmentionnée tient compte uniquement de la situation où une seule sonde de température est indisponible. En conséquence, EDF prévoit d'apporter un complément de réponse qui précisera l'évènement STE à prendre en compte en cas d'indisponibilité de plusieurs sondes de température en branches chaudes, ce qui fait l'objet de l'engagement n°3 présenté en annexe. L'IRSN considère acceptable cet engagement.

8. JUSTIFICATION DE LA SURETE EN CAS DE DILUTION AVEC ABSENCE DE FERMETURE D'UNE VANNE VDA

La démonstration de sûreté en cas de dilution homogène du circuit primaire avec absence de fermeture de l'une des quatre vannes réglantes du système de décharge à l'atmosphère (VDA) lors des essais COR s'appuie sur un transitoire conduisant à un retour en puissance significatif et de longue durée, ce qui n'est pas conforme aux directives techniques de conception de l'EPR et à l'exigence de maintien de la sous-criticité du cœur après l'intervention de l'arrêt automatique du réacteur au cours d'un transitoire incidentel de catégorie 2⁴. Il s'avère cependant que les hypothèses retenues pour réaliser la simulation de ce transitoire sont fortement pénalisantes

⁴ Transitoire dont la fréquence d'occurrence estimée est supérieure à 10⁻² par réacteur et par an.

par rapport aux conditions de réalisation des essais. L'IRSN considère que la prise en compte d'hypothèses plus représentatives des conditions d'essais conduirait à limiter fortement l'excursion de puissance, voire à maintenir le cœur du réacteur sous-critique.

Ainsi, l'IRSN estime acceptable la réponse d'EDF à la demande D14 de l'ASN.

9. CONCLUSIONS

L'expertise de l'IRSN a porté sur les réponses d'EDF à certaines demandes formulées par l'ASN en références [2], [3] et [4] dans le cadre de l'examen des chapitres III et X des RGE de l'EPR FA3.

L'IRSN estime acceptable la plupart des réponses transmises.

Toutefois, l'IRSN estime qu'EDF devrait mener une campagne de mesures d'axial-offset lors de la première montée en puissance du réacteur ou en cours de cycle afin de consolider les valeurs d'incertitude prises en compte pour élaborer certains critères des programmes d'essais physiques.

Enfin, l'IRSN considère satisfaisants les engagements pris par EDF au cours de l'expertise qui permettront de clarifier les conduites à tenir en cas d'indisponibilité de CNI, de confirmer le respect des seuils de surveillance du cœur lors des essais Doppler et de préciser l'évènement STE à prendre en compte en cas d'indisponibilité de plusieurs sondes de température en branches chaudes.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Olivier DUBOIS

Directeur adjoint de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2023-00109 DU 6 JUILLET 2023

Engagements d'EDF

Engagement n° 1

Afin de lever toute ambiguïté d'interprétation des conduites à tenir prescrites par la règle des essais physiques à puissance nulle en cas de chaîne(s) neutronique(s) de niveau intermédiaire indisponible(s), EDF s'engage à les reformuler à l'échéance de la prochaine mise à jour prévue de cette règle d'essais.

Engagement n° 2

EDF s'engage à transmettre, à l'échéance de la 1^{ère} quinzaine de juillet 2023, la procédure des essais Doppler qui « *présentera pour l'essai initié à 100 %Pn, les évolutions des paramètres (puissances thermiques et nucléaires, température modérateur, axial-offset, antiréactivité xénon, réactivité) ainsi que les marges opérationnelles sur la puissance linéique, le rapport de flux thermique critique et l'axial offset. Cette simulation de l'essai permettra de statuer sur la démonstration de sûreté lors des essais en cas de modifications temporaires des spécifications techniques d'exploitation* ».

Engagement n° 3

EDF s'engage à préciser « *l'évènement STE à prendre en compte en cas d'une ou plusieurs sondes de températures indisponibles* ».