



Fontenay-aux-Roses, le 26 avril 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00083

Objet	Réacteurs électronucléaires – EDF – Flamanville 3 – Démonstration de sûreté et suffisance du programme d'essais physiques
Réf.	[1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2022-010164 du 18 mars 2022. [2] Avis IRSN N° 2017-00060 du 15 février 2017. [3] Lettre ASN – CODEP-DCN-2018-002008 du 6 juillet 2018. [4] Lettre ASN – CODEP-DCN-2014-057234 du 18 décembre 2014.

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 Électricité de France (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 le chapitre X des règles générales d'exploitation (RGE).

1. CONTEXTE

1.1. OBJECTIFS DES RGE ET DES PROGRAMMES D'ESSAIS PHYSIQUES

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 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. Pendant la phase comprise entre le premier chargement du combustible et la mise en service industrielle de l'installation, c'est le programme de principe d'essais du cœur (PPE COR) qui 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.

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 de la physique du cœur. Ces programmes d'essais prescrivent également le calibrage de l'instrumentation nucléaire.

Le réacteur EPR FA3 présente des évolutions significatives par rapport aux réacteurs du parc en exploitation pour ce qui concerne l'instrumentaire nucléaire de référence de mesure du flux neutronique en cœur, les systèmes de surveillance et de protection du cœur ainsi que les caractéristiques du cœur (la grande taille du cœur et la présence d'un réflecteur lourd en acier). Le chapitre X et le PPE COR de l'EPR FA3 doivent être conçus de façon à confirmer que ce réacteur se comporte de façon similaire aux réacteurs du parc en exploitation du point de vue de la physique du cœur et que ses spécificités ont bien été appréhendées dans les études de conception. L'atteinte de cet objectif ne pourra être confirmée qu'à l'issue de l'analyse du retour d'expérience (REX) des essais physiques prescrits par l'ensemble des programmes d'essais.

1.2. CADRAGE DE L'EXPERTISE DE L'IRSN

Les RGE de l'EPR FA3 ont fait l'objet de l'avis de l'IRSN en référence [2] et de la lettre de l'ASN en référence [3]. Ces courriers traitaient en particulier du chapitre X des RGE et du PPE COR. EDF a depuis apporté des évolutions au chapitre X des RGE et au PPE COR qui résultaient de la prise en compte des engagements pris par EDF au cours des échanges techniques avec l'IRSN [2] et de demandes de l'ASN [3]. L'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur ces évolutions et en particulier sur la suffisance des programmes d'essais du réacteur EPR FA3 ainsi que sur la démonstration de sûreté lors des essais¹.

L'expertise de l'IRSN a porté sur la pertinence des essais et des critères associés, sur l'exhaustivité des programmes d'essais et sur la démonstration de sûreté lors de ces essais. De manière générale, l'IRSN estime acceptable la plupart des évolutions du chapitre X des RGE et du PPE COR. Il estime en outre satisfaisants les engagements pris par EDF au cours de l'expertise qui sont de nature à consolider les éléments techniques transmis pour justifier la pertinence des critères d'essais, l'exhaustivité des programmes d'essais et la démonstration de sûreté lors des essais. Dans la suite de l'avis, seuls les points faisant l'objet de remarques notables ou de réserves sont présentés.

L'impact du REX du comportement du cœur et de l'instrumentation nucléaire du premier EPR mis en service sur le chapitre X et la démonstration de sûreté fera l'objet d'un avis ultérieur.

2. PERTINENCE DES ESSAIS ET DES CRITERES ASSOCIES

La doctrine de conception du chapitre X des RGE requiert que les critères associés à la vérification d'hypothèses de la démonstration de sûreté soient classés S. La REPR à puissance nulle requiert de vérifier l'incertitude de calcul sur le coefficient de température modérateur² considérée dans la démonstration de sûreté. Or, le critère associé à la vérification de cette incertitude est actuellement classé C³. À ce titre, l'IRSN formule la recommandation n° 1 en annexe 1.

En cas de remplacement de l'instrumentation nucléaire pendant un arrêt pour déchargement puis renouvellement d'une partie du combustible, les programmes d'essais physiques prescrivent des contrôles à réaliser au titre de la requalification fonctionnelle de l'instrumentation neuve. Dans l'ensemble, l'IRSN constate que ces contrôles sont cohérents avec les programmes de requalification mis en œuvre sur les réacteurs du parc

¹ Certaines configurations du cœur rencontrées lors de la réalisation de ces essais ne sont pas couvertes par les études de sûreté du RdS. Dès lors, pour démontrer la sûreté du réacteur en cas de transitoire incidentel ou accidentel survenant dans ces configurations, il est nécessaire d'apporter des éléments complémentaires.

² Ce coefficient rend compte de la variation de la réactivité du cœur induite par une modification de la température du modérateur. Ce phénomène physique contribue à garantir la stabilité du cœur en cas d'augmentation de la puissance du réacteur.

³ Les critères dont le non-respect ne met pas en cause une hypothèse ou un résultat de la démonstration de sûreté sont classés C.

en exploitation, ce qui est satisfaisant. Toutefois, l'IRSN estime qu'EDF devrait justifier, d'une part la suffisance des lignes de défense mises en œuvre lors de cette phase de requalification, et d'autre part l'exhaustivité des contrôles prescrits lors du remplacement d'une canne de collectrons⁴. En conséquence, l'IRSN formule l'observation n° 1 en annexe 2.

Les programmes d'essais physiques prescrivent les essais à réaliser, les critères à vérifier lors de ces essais ainsi que les conduites à tenir en cas de non-respect de ces critères. La justification de la pertinence des conduites à tenir s'appuie sur des analyses de sûreté qui tiennent compte d'hypothèses enveloppes des conditions de fonctionnement lors des essais. En particulier, la durée de fonctionnement lors d'essais COR associés à certaines configurations de grappes doit être limitée afin que la démonstration de sûreté lors de ces essais puisse être considérée acceptable. En cas de reprise de ce type d'essais du fait d'une difficulté de mesure (non-respect de protocole de mesure, défaillance matérielle), il convient alors de mener des analyses de sûreté complémentaires. Les essais concernés font l'objet d'une liste prescrite par le PPE COR. L'IRSN constate que cette liste ne comprend pas certains essais associés aux configurations de grappes⁵ P1 à P4 insérés et P1 à P5 insérés pourtant concernés. Il formule à cet égard l'observation n° 2 en annexe 2.

Le PPE COR précise que, en cas de non-respect du critère associé à la mesure de l'efficacité intégrale du groupe de régulation P4, la vérification de ce critère pourra également être menée à partir de la mesure de l'efficacité intégrale des groupes P1 à P4 en recouvrement. Or, les évaluations menées par l'IRSN tendent à montrer que ces deux vérifications ne sont pas équivalentes. Ceci conduit l'IRSN à formuler l'observation n° 3 en annexe 2.

3. EXHAUSTIVITE DES PROGRAMMES D'ESSAIS

Le PPE COR prescrit la vérification du bon dimensionnement des seuils des chaînes de surveillance et de protection du cœur utilisant les collectrons et les chaînes neutroniques de niveau puissance (CNP). Par sa lettre en référence [3], l'ASN avait demandé à EDF de vérifier périodiquement, par la réalisation d'essais d'oscillation axiale de puissance (situations dynamiques), le bon dimensionnement des seuils. Or, la REPC mise à jour prescrit au mieux un seul essai d'oscillation par cycle compte tenu des marges de fonctionnement disponibles par rapport aux seuils des chaînes de surveillance du cœur. L'IRSN estime ainsi qu'EDF n'a répondu que partiellement à la demande de l'ASN et considère qu'il doit dès lors valoriser les cartes⁶ de flux périodiques réalisées en situations statiques pour vérifier le bon dimensionnement des seuils à chaque cycle. Par ailleurs, EDF limite, sans le justifier, la réalisation d'un essai d'oscillation par cycle aux cinq premiers cycles de fonctionnement de l'EPR FA3. L'ensemble de ces points conduisent l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 en annexe 1.

EDF a intégré dans la REPR à puissance nulle un critère S visant à vérifier le bon dimensionnement des seuils associés à la chaîne de protection anti-dilution (PAD). Ce nouveau critère s'appuie sur la mesure de la concentration en bore du circuit primaire. L'IRSN considère qu'EDF doit justifier l'absence de prise en compte de l'incertitude associée à cette mesure pour définir ce critère. En conséquence, l'IRSN formule la recommandation n° 3 en annexe 1.

Par ailleurs, les critères du PPE COR permettant de vérifier le bon dimensionnement des seuils associés à la chaîne PAD ont été définis différemment de ceux permettant de vérifier le bon dimensionnement des seuils associés aux chaînes de surveillance et de protection utilisant les collectrons et les CNP. Cette différence provient du fait

⁴ 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.

⁵ Le cœur du réacteur EPR FA3 est composé de 53 grappes d'arrêt, réparties en deux groupes nommés N1 et N2, qui s'insèrent uniquement en cas d'arrêt automatique du réacteur, et de 36 grappes de contrôle, réparties en cinq groupes (P1, P2, P3, P4, P5), qui s'insèrent ou s'extraient afin de contrôler certains paramètres physiques du cœur (température moyenne du circuit primaire...).

⁶ Une carte de flux fournit une image tridimensionnelle de la distribution de puissance dans le cœur. La reconstruction de cette image s'appuie sur le système AMS composé de 40 trains de billes d'acier constituées de Vanadium 51.

que la vérification du bon dimensionnement des seuils associés à la chaîne PAD s'appuie également sur la réalisation de contrôles périodiques, non-prescrits par les programmes d'essais physiques, ainsi que sur le conservatisme des incertitudes et du paramétrage de l'outil de mesure de la concentration en bore utilisé par la chaîne PAD. Cette spécificité devrait figurer explicitement dans les documents de conception des programmes d'essais physiques.

Pour les cycles ultérieurs au premier cycle, aucune vérification de la conformité de la distribution de puissance, même de manière qualitative (c'est-à-dire sans y associer la vérification de critères), n'est prescrite par les REPR avant l'atteinte du palier 25 % Pn lors de la première montée en puissance après rechargement. Or, les résultats de la démonstration de sûreté spécifique à cette phase de fonctionnement sont fortement dépendants des évaluations théoriques de la distribution de puissance. Dans ces conditions, la démonstration de sûreté lors de la première montée en puissance après rechargement entre 0 % Pn et 25 % Pn n'est pas formellement garantie. L'IRSN considère que la distribution de puissance doit être mesurée dès que l'instrumentation nucléaire de référence est disponible. La réalisation d'une carte de flux à 10 % Pn constitue un moyen pertinent permettant de détecter au plus tôt une anomalie du cœur, telle qu'une erreur de chargement des assemblages dans le cœur. À cet égard, le chapitre X des réacteurs du parc en exploitation prescrit la réalisation d'une carte de flux avant 10 % Pn lors de la première montée en puissance après rechargement du combustible. Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 4 en annexe 1.

La démonstration de sûreté prend en compte une incertitude de calcul de 20 % sur le coefficient de réactivité représentatif de l'effet Doppler⁷ en puissance. Des mesures du coefficient de réactivité représentatif de l'effet Doppler en puissance ont été réalisées au démarrage de certains réacteurs du parc en exploitation afin de vérifier cette incertitude. Par ailleurs, EDF prévoit de réaliser de nouvelles mesures sur certains réacteurs du palier 900 MWe dans le cadre de leur quatrième réexamen périodique. L'IRSN estime qu'EDF devrait réaliser de telles mesures sur l'EPR FA3 afin de consolider l'incertitude de calcul susmentionnée. En conséquence, l'IRSN formule l'observation n° 4 en annexe 2.

La REPR à puissance nulle prescrit de mesurer l'efficacité différentielle du bore et l'efficacité différentielle maximale d'un groupe. Par sa lettre en référence [3], l'ASN avait demandé à EDF de vérifier à partir de ces mesures les incertitudes de calcul associées à ces paramètres physiques. La REPR à puissance nulle mise à jour associe des critères C à ces vérifications. L'IRSN rappelle que ces incertitudes constituent des hypothèses de la démonstration de sûreté et que, en cohérence avec la doctrine de conception du chapitre X des RGE, ces critères devraient être classés S. À cet égard, l'ASN a d'ores et déjà formulé des demandes [3] portant sur le reclassement en catégorie S d'autres critères associés à la vérification d'hypothèses de la démonstration de sûreté. Ainsi, en l'état, l'IRSN estime incomplète la réponse d'EDF à la demande de l'ASN.

4. DEMONSTRATION DE SURETE LORS DES ESSAIS

La démonstration de sûreté lors de la montée en puissance entre 25 % Pn et 100 % Pn après chargement ou rechargement du combustible s'appuie sur des réglages spécifiques des seuils des chaînes de surveillance et de protection du cœur. Or, EDF n'a mené aucune évaluation quantitative permettant de justifier le bon dimensionnement du seuil de la chaîne de protection « puissance nucléaire élevée » lors de la montée en puissance entre 25 % Pn et 100 % Pn. Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 5 en annexe 1.

Les chaînes de surveillance et de protection « puissance thermique élevée » utilisent les mesures des sondes de température situées dans les branches chaudes du circuit primaire. Les seuils de ces chaînes ont été définis en

⁷ L'effet Doppler est la variation de réactivité du cœur induite par une variation de la température du combustible. Ce phénomène physique contribue à garantir la stabilité du cœur en cas d'augmentation de la puissance du réacteur.

considérant l'effet d'hétérogénéité⁸ de température en branche chaude. Alors que l'indisponibilité d'une sonde de température conduit à mettre en œuvre une pénalisation de la température moyenne, associée à la branche chaude concernée par cette indisponibilité, utilisée par la chaîne de protection « puissance thermique élevée », ce n'est pas le cas pour la chaîne de surveillance « puissance thermique élevée ». L'IRSN considère qu'EDF doit apporter des éléments de justification sur ce point.

Par ailleurs, les programmes d'essais physiques prescrivent de calibrer⁹ périodiquement la puissance thermique du cœur. À la différence de la REPR en puissance et de la REPC, le PPE COR ne prescrit pas d'inhiber manuellement les sondes de température indisponibles lors de l'actualisation du calibrage de la puissance thermique.

L'ensemble de ces éléments conduisent l'IRSN à formuler la recommandation n° 6 en annexe 1.

Les évaluations menées par EDF montrent que, durant les essais COR, un retour critique suivi d'un retour en puissance ne peut pas être évité en cas de dilution homogène du circuit primaire avec absence de fermeture de l'une des quatre vannes réglantes du système VDA, hypothèse prise en compte au titre de la règle¹⁰ de l'aggravant. La puissance atteinte dans le cœur du réacteur pourrait alors être significative (entre 10 et 20 % Pn) et de longue durée (environ 700 secondes), ce qui n'est pas acceptable au regard de l'objectif de maîtrise de la réactivité formulé par l'ASN dans la lettre en référence [4] pour cette situation. Dans ces conditions, l'IRSN estime que la mise en œuvre de préconisations particulières (essais de manœuvrabilité des vannes VDA complémentaires, surveillance accrue de la concentration en bore du circuit primaire, isolement des sources de dilution...) est nécessaire afin de renforcer la démonstration de sûreté lors des essais COR. Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 7 en annexe 1.

5. CONCLUSIONS

Les programmes d'essais physiques de l'EPR FA3 (PPE COR et chapitre X des RGE) doivent permettre de vérifier que le comportement physique du cœur est conforme à celui considéré dans les études de conception et qu'il est similaire à celui des réacteurs du parc en exploitation.

L'expertise de l'IRSN a porté sur la pertinence des essais et des critères associés, sur l'exhaustivité des programmes d'essais et sur la démonstration de sûreté lors de ces essais.

De manière générale, l'IRSN estime acceptable la plupart des évolutions du chapitre X des RGE et du PPE COR. Il estime en outre satisfaisants les engagements pris par EDF au cours de l'expertise qui sont de nature à consolider les éléments techniques transmis pour justifier la pertinence des critères d'essais, l'exhaustivité des programmes d'essais et la démonstration de sûreté lors des essais.

Toutefois, l'examen du chapitre X des RGE et du PPE COR amène l'IRSN à formuler un certain nombre de recommandations et d'observations.

En particulier, l'IRSN considère que la pertinence de certains critères d'essais physiques en lien avec la vérification d'hypothèses de la démonstration de sûreté reste à démontrer. Par ailleurs, des compléments devraient être apportés afin de justifier la conduite à tenir en cas de non-respect de certains critères d'essais ainsi que les

⁸ L'hétérogénéité de température en sortie du cœur (zone contenant les assemblages de combustible) conduit à une hétérogénéité de température dans les branches chaudes et ce malgré les mélanges dans le plénum supérieur et le long des branches chaudes jusqu'aux points de mesure des températures.

⁹ Le calibrage de la puissance thermique consiste à recalibrer la puissance thermique primaire, évaluée à partir des conditions thermohydrauliques du circuit primaire (températures dans les branches chaudes et froides, pression au pressuriseur) et de la vitesse des pompes primaires, sur la puissance thermique évacuée au niveau des générateurs de vapeur.

¹⁰ L'étude des conditions de fonctionnement PCC requiert de tenir compte d'un « aggravant » : il s'agit d'une défaillance, indépendante de l'incident, qui affecte tout ou partie d'un équipement utilisé pour ses effets bénéfiques pour la sûreté. L'absence de fermeture de l'une des quatre vannes réglantes du système VDA (en situation accidentelle, le système VDA assure notamment le refroidissement du circuit primaire) constitue un aggravant.

conditions de requalification de l'instrumentation nucléaire en cas de remplacement pendant un arrêt pour rechargement.

L'expertise menée par l'IRSN montre également que les programmes d'essais physiques ne sont pas exhaustifs. L'IRSN identifie des vérifications complémentaires à mener afin de renforcer la démonstration de la conformité du cœur au référentiel de conception.

Enfin, l'IRSN considère que le niveau de sûreté lors des essais physiques doit être amélioré en limitant le risque de retour en criticité après un arrêt automatique du réacteur et en consolidant la justification des paramètres des systèmes de surveillance et de protection.

En conclusion, l'IRSN estime acceptables, du point de vue de la sûreté, le PPE COR et le chapitre X des RGE, sous réserve de la prise en compte des recommandations formulées en annexe 1.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00083 DU 26 AVRIL 2022

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que le critère associé à la vérification de l'incertitude de calcul de 3,6 pcm/°C sur le coefficient de température modérateur, prescrit par la REPR à puissance nulle, soit classé S.

Recommandation n° 2

La vérification du bon dimensionnement des seuils des chaînes de surveillance et de protection du cœur utilisant les collectrons et les CNP étant un objectif majeur des programmes d'essais physiques, l'IRSN recommande que l'ensemble des cartes de flux prescrites par la REPR en puissance et la REPC soit valorisé afin d'atteindre cet objectif.

Par ailleurs, cette vérification devra être menée pour des configurations statiques (niveau et distribution de puissance stables) et dynamiques (oscillations axiales de puissance) et être maintenue au-delà des cinq premiers cycles de fonctionnement.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF transmette des éléments complémentaires permettant de justifier l'absence de prise en compte de l'incertitude de mesure manuelle de la concentration en bore du circuit primaire pour définir le critère de la REPR à puissance nulle associé à la vérification du bon dimensionnement de la protection anti-dilution.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF ajoute dans la REPR en puissance un essai de carte de flux à 10 % Pn. Cet essai devra permettre une analyse qualitative de la distribution de puissance du réacteur.

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande que, en préalable au démarrage de l'EPR FA3, EDF justifie la ou les valeurs du seuil de la chaîne de protection « puissance nucléaire élevée » utilisant les CNP à implanter au cours de la première montée en puissance après (re)chargement du combustible.

Recommandation n° 6

L'IRSN recommande que, en préalable au démarrage de l'EPR FA3, EDF :

- définisse la conduite à tenir pour actualiser le calibrage de la puissance thermique lors des essais COR en cas de sonde(s) de température en branches chaudes indisponible(s) ;
- justifie l'absence de pénalisation de la température moyenne en branches chaudes utilisée par la chaîne de surveillance de la puissance thermique en cas de sonde(s) de température en branches chaudes indisponible(s).

Recommandation n° 7

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre des préconisations particulières pour limiter, lors des essais physiques de premier démarrage, le risque de survenue d'une dilution homogène du circuit primaire avec absence de fermeture de l'une des quatre vannes réglantes du système VDA ou ses conséquences.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00083 DU 26 AVRIL 2022

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN estime qu'EDF devrait justifier :

- l'absence de modification en puissance des logiques de vote des chaînes de surveillance et de protection ainsi que des permissifs utilisant les signaux CNI, CNP ou collectrons en cas de remplacement de l'instrumentation nucléaire pendant l'arrêt pour renouvellement du combustible du réacteur et tant que la requalification fonctionnelle de l'instrumentation neuve n'est pas acquise ;
- que le rapport « courant collectron mesuré/activité reconstruite » dépend de la sensibilité des collectrons à la disparition du cobalt 59 et que les collectrons neufs ne sont ainsi comparables qu'entre eux.

Observation n° 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait prévoir une analyse complémentaire de sûreté en cas de reprise des essais de mesure de la concentration en bore critique du circuit primaire associés aux configurations de grappes P1 à P4 insérés et P1 à P5 insérés.

Observation n° 3

L'IRSN estime qu'EDF devrait justifier la conduite à tenir prescrite par le PPE COR en cas de non-respect du critère sur l'efficacité intégrale du groupe P4.

Observation n° 4

L'IRSN estime qu'EDF devrait réaliser dans le cadre des essais physiques des mesures du coefficient de réactivité représentatif de l'effet Doppler en puissance. Les écarts calcul/mesure obtenus devraient être valorisés afin de consolider l'incertitude de calcul sur ce paramètre considérée dans la démonstration de sûreté.