

Fontenay-aux-Roses, le 19 décembre 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00191

Objet : EDF – REP – Quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe – Maîtrise du vieillissement – Examen des dossiers d'aptitude à la poursuite de l'exploitation de composants, des fiches d'analyse du vieillissement et des programmes d'investigations complémentaires.

Réf. : [1] Lettre ASN – CODEP-DCN-2023-036313 du 4 mars 2024.
[2] Avis IRSN n° 2018-00043 du 23 février 2018.
[3] Avis IRSN n° 2024-00171 du 29 novembre 2024.
[4] Avis IRSN n° 2024-00028 du 23 février 2024.

Le maintien dans le temps de la conformité des réacteurs de 1300 MWe à leur « référentiel de protection des intérêts » nécessite notamment la maîtrise du vieillissement de leurs systèmes, structures et composants (SSC). Cette démarche revêt une importance toute particulière dans le cas du quatrième réexamen périodique de ces réacteurs (RP4 1300). En effet, certains SSC seront amenés à fonctionner au-delà de leurs hypothèses initiales de conception. C'est notamment le cas des composants irremplaçables comme la cuve et l'enclume de confinement.

La démarche de maîtrise du vieillissement mise en œuvre par EDF est fondée sur un processus d'examen des SSC et de la manière dont leur intégrité ou leur fonctionnalité peut être affectée par un mécanisme de vieillissement. Elle tient compte des dispositions d'exploitation et de maintenance en vigueur, ainsi que des difficultés de réparation ou de remplacement. Le résultat de l'analyse des effets d'un mécanisme de vieillissement sur un SSC est consigné dans une fiche d'analyse du vieillissement (FAV). Tout SSC dont la réparation ou le remplacement est jugé difficile, voire impossible, fait l'objet d'un dossier d'aptitude à la poursuite de l'exploitation (DAPE), dit « DAPE de composant », comportant une analyse détaillée des différents mécanismes qui l'affectent et des actions ou études complémentaires nécessaires à la maîtrise du vieillissement.

Par ailleurs, le programme d'investigations complémentaires (PIC) a pour objectif de conforter, par sondage sur certains réacteurs lors d'un réexamen périodique de sûreté, que des zones non examinées au titre du programme de maintenance ne sont pas sujettes à des mécanismes de dégradation.

Dans le cadre du RP4 1300, par la lettre en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la pertinence des mises à jour des DAPE de composants, des FAV ainsi que sur la pertinence des PIC. Le périmètre de l'expertise porte sur les sujets suivants :

- l'analyse de certains phénomènes de dégradation des matériaux métalliques qui sont de nature à limiter la durée de vie de certains composants ;
- l'aptitude au fonctionnement et la surveillance des gros composants et des tuyauteries du circuit primaire principal (CPP), des matériels électriques, du génie civil et des équipements internes de cuve ;
- les FAV relatives à d'autres équipements dont le vieillissement nécessite une certaine attention, tels que le tube de transfert des assemblages de combustible entre les piscines du bâtiment réacteur (BR) et du bâtiment d'entreposage du combustible (BK), les peaux d'étanchéité de ces piscines, les bâches du circuit de traitement et de réfrigération de l'eau de ces piscines (PTR), et les tuyauteries des systèmes de sauvegarde ;
- les PIC relatifs au génie civil, aux matériels électriques, aux matériels mécaniques du CPP et des circuits secondaires principaux (CSP), ainsi qu'aux autres matériels mécaniques.

La présente expertise de l'IRSN a été réalisée au regard des spécificités des réacteurs de 1300 MWe et des évolutions de la documentation d'EDF relative au vieillissement depuis le troisième réexamen périodique de ces réacteurs. Les conclusions de l'expertise menée par l'IRSN sont présentées ci-après.

EDF applique la même démarche que celle mise en œuvre dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe (RP4 900). Cette démarche a été expertisée en 2018 dans le cadre du réexamen précité [2] et l'IRSN a notamment conclu que « *l'application rigoureuse du processus [de maîtrise du vieillissement, mis en œuvre par EDF] est de nature à permettre la maîtrise du vieillissement des réacteurs d'EDF dans une perspective d'exploitation au-delà de la VD4 [i.e. de la quatrième visite décennale]* ». Ainsi, dans le cadre du présent réexamen, l'IRSN n'a pas expertisé la démarche mise en œuvre par EDF, celle-ci ayant très peu évolué depuis le RP4 900.

1. MÉCANISMES PRÉPONDÉRANTS DE VIEILLISSEMENT

Deux mécanismes de vieillissement considérés par l'IRSN de nature à limiter la durée d'aptitude au fonctionnement des équipements mécaniques ont été particulièrement examinés : le vieillissement thermique et la fissuration par fatigue.

Pour ce qui concerne le vieillissement thermique des aciers ferritiques, les connaissances relatives à ce mécanisme présentées dans le dossier d'EDF correspondent à l'état de l'art. Concernant le vieillissement des liaisons bimétalliques¹, EDF réalise des essais pour confirmer les propriétés de ces liaisons pour la période de 10 ans après la quatrième visite décennale (VD4) des réacteurs. **Pour l'IRSN, les résultats obtenus à l'issue de ces essais permettront de compléter le dossier d'EDF de façon satisfaisante.**

Pour ce qui concerne la fissuration par fatigue, l'analyse de ce mécanisme est effectuée au moyen du calcul d'une grandeur appelée facteur d'usage². EDF définit une valeur seuil de cette grandeur afin de juger de la pertinence de ce mécanisme pour un composant donné. L'IRSN constate qu'EDF a modifié cette valeur seuil en 2022, celle-ci étant désormais égale à 1 pour une valeur initialement fixée à 0,1. Ainsi, pour les composants dont le facteur d'usage est inférieur à ce nouveau seuil, EDF ne prévoit plus la création de nouvelles FAV ou la mise à jour de

¹ Les liaisons bimétalliques concernées par le vieillissement thermique sont des soudures en acier inoxydable assurant la liaison entre un composant en acier ferritique et une tuyauterie en acier inoxydable.

² De manière simplifiée, le facteur d'usage est défini comme étant le rapport entre un nombre de cycles prévu et un nombre de cycles admissible avant l'amorçage d'une fissure de fatigue. La valeur du facteur d'usage est utilisée comme critère d'aptitude à la poursuite de l'exploitation des composants faisant l'objet de FAV relatives à la fatigue.

FAV existantes. L'IRSN rappelle qu'en pratique il a déjà été observé des défauts de fissuration dus à la fatigue sur des composants pour lesquels un facteur d'usage inférieur à 1 avait été calculé. Ce constat met en évidence la nécessité de considérer les valeurs de facteur d'usage avec prudence. Pour l'IRSN, la valeur seuil « historique » de 0,1 apparaît toujours comme adaptée. **De ce fait, l'IRSN estime que les nouvelles dispositions prises par EDF, en particulier la valeur du nouveau seuil, constituent un affaiblissement du processus de la maîtrise du vieillissement des composants sujets au risque de fissuration par fatigue. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 en annexe.**

2. APTITUDE AU FONCTIONNEMENT ET SURVEILLANCE DES GROS COMPOSANTS ET DES TUYAUTERIES DU CPP

L'IRSN a examiné l'aptitude au fonctionnement et la surveillance des gros composants du CPP au travers des trois DAPE et des FAV associées, relatifs à la cuve, au pressuriseur et aux générateurs de vapeur (GV) ainsi que les FAV relatives aux groupes motopompes primaires. Il a également examiné le DAPE et les FAV relatifs aux tuyauteries principales et les FAV des tuyauteries auxiliaires du CPP.

Concernant la cuve et le pressuriseur, pour les mécanismes de vieillissement autres que ceux examinés dans la Partie 1, l'analyse des deux DAPE et des FAV associées n'appelle pas de remarque de l'IRSN. En outre, l'IRSN indique que la justification de la tenue à la rupture brutale de la zone de cœur³ de la cuve a fait l'objet d'une expertise dédiée [3].

Pour ce qui concerne les GV, l'IRSN considère que l'approvisionnement anticipatif de 40 GV (soit l'équivalent de 10 réacteurs) de remplacement pour les réacteurs de 1300 MWe est une disposition satisfaisante. L'IRSN note toutefois qu'au-delà des trois remplacements prévus avant 2030, le programme de remplacement des GV n'est pas connu à ce jour.

La poursuite de l'exploitation des piquages inclinés du CPP connectés aux lignes d'injection de sécurité après la VD4 des réacteurs de 1300 MWe a fait l'objet d'une expertise de l'IRSN [4]. Dans le cadre de cet avis, l'IRSN avait indiqué avoir « *la raisonnable assurance que les actions programmées par EDF (remplacement des piquages RIS des réacteurs n° 1 et n° 2 de Paluel en VD4) [...] sont de nature à maîtriser la poursuite d'exploitation des piquages RIS des réacteurs du palier 1300 MWe au-delà de la VD4 et jusqu'à VD4 + 10 ans* ». L'IRSN prend note de l'intention d'EDF de reporter, après la quatrième visite décennale des réacteurs n° 1 et n° 2 de Paluel, le remplacement de ces piquages. Les éléments de justification de ce report sont en cours d'examen par l'ASN. Par ailleurs, l'IRSN considère que les dispositions mises en œuvre par EDF pour assurer la maîtrise du vieillissement des tuyauteries primaires principales sont satisfaisantes.

Pour ce qui concerne les FAV relatives aux groupes motopompes primaires et aux tuyauteries auxiliaires du CPP, les dispositions mises en œuvre par EDF pour assurer la maîtrise du vieillissement de ces composants sont satisfaisantes en vue de la poursuite de l'exploitation des réacteurs de 1300 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur VD4. En particulier, pour les groupes motopompes primaires, l'IRSN souligne les travaux mis en œuvre par EDF dans le cadre du programme de remplacement des roues et des arbres de pompe depuis 2015. Par ailleurs, l'IRSN note positivement la prise en compte, par EDF, du retour d'expérience de la corrosion sous contrainte détectée depuis 2021 sur les lignes d'injection de sécurité des réacteurs en exploitation dans sa démonstration de la maîtrise du vieillissement des tuyauteries auxiliaires du CPP.

³ La zone de cœur correspond aux parties de la cuve pour lesquelles la dose d'irradiation reçue lors de l'exploitation du réacteur dépasse une valeur seuil.

En conclusion, hormis le report du remplacement des piquages des lignes d'injection de sécurité sur les réacteurs n° 1 et 2 de Paluel, **l'IRSN considère que les dispositions mises en œuvre par EDF pour assurer la maîtrise du vieillissement des gros composants et des tuyauteries du CPP sont satisfaisantes** en vue de la poursuite de l'exploitation des réacteurs de 1300 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur VD4.

3. APTITUDE AU FONCTIONNEMENT ET SURVEILLANCE D'ÉQUIPEMENTS HORS CPP

L'IRSN a examiné l'aptitude au fonctionnement et la surveillance des équipements hors CPP au travers des six DAPE relatifs aux équipements internes de cuve, aux câbles électriques, au contrôle commande et aux traversées électriques⁴, à l'enceinte de confinement et aux risques de gonflement du béton. D'autres équipements, ne faisant pas l'objet d'un DAPE, ont été également examinés.

Équipements internes de cuve

Les équipements internes de cuve servent notamment à maintenir les assemblages de combustible dans la cuve. Ces équipements sont maintenus en position dans la cuve grâce à des organes de guidage et d'alignement qui sont sujets à l'usure. Pour le palier 1300 MWe, les mesures d'usure de ces organes de guidage et d'alignement sont prévues tardivement, en 2032, sur le réacteur n° 1 de Paluel⁵ alors que sa quatrième visite décennale est prévue en 2026. EDF envisage uniquement la réalisation d'examens télévisuels des organes de guidage lors de la VD4 de ce réacteur. Pour l'IRSN, ces examens télévisuels ne sont pas suffisants, car ils ne permettent pas de disposer de mesures quantifiées de l'usure des organes de guidage. Ces mesures sont nécessaires afin de s'assurer que les hypothèses retenues dans les études justificatives de tenue des équipements internes de cuve restent valides. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 en annexe.**

À l'exception du point précité, l'IRSN estime pertinente l'analyse réalisée par EDF pour les composants des équipements internes de cuve soumis notamment à l'irradiation et à la fatigue en vue de la poursuite de l'exploitation des réacteurs de 1300 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur VD4.

Matériels électriques

Les dispositions mises en œuvre par EDF pour assurer la maîtrise du vieillissement des traversées électriques, des câbles électriques et du contrôle-commande en vue de la poursuite de l'exploitation des réacteurs de 1300 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur VD4 n'appellent pas de remarque de l'IRSN.

Les matériels électromécaniques⁶ de la salle de commande et du panneau de repli ne font pas l'objet d'un DAPE. EDF justifie la maîtrise du vieillissement de ces équipements par l'existence d'essais périodiques fréquents. Cependant, selon EDF, des défaillances de ces équipements sont à prévoir pour la période de 10 ans suivant la VD4 de ces réacteurs sans remettre en cause les fonctions de sûreté de la salle de commande et du panneau de repli.

Pour l'IRSN, des essais périodiques ne peuvent pas se substituer à des actions de maintenance préventive. De plus, une maintenance préventive inspirée des actions réalisées habituellement par les sites pour traiter les

⁴ La dernière version du DAPE des traversées électriques date de 2018. Les autres DAPE ont été mis à jour en 2023.

⁵ Le réacteur n° 1 de Paluel est le premier à passer la quatrième visite décennale des réacteurs de 1300 MWe.

⁶ Cette catégorie de matériels comprend des tourner-pousser lumineux, des touches, des commutateurs, des indicateurs, des mécanismes de verrouillage à clef et des relais de commande à main.

événements fortuits, permettra d'apporter des garanties de prévention des défaillances constituant potentiellement des modes communs. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 en annexe.**

Enceinte de confinement

La surveillance du comportement mécanique des enceintes de confinement des réacteurs de 1300 MWe est assurée à travers la réalisation de mesures et par des extrapolations faites à partir de modèles numériques. L'IRSN considère, comme EDF, que le comportement mécanique des enceintes devrait se traduire par des déformations limitées et compatibles avec les exigences de comportement visées pendant la période de 10 ans suivant la VD4 de ces réacteurs.

L'IRSN relève cependant que seules huit enceintes de confinement ont été réévaluées par EDF, à partir d'hypothèses dont le conservatisme n'est pas avéré. Par conséquent, pour l'IRSN, il appartiendra à EDF de réévaluer, au plus tard pour le cinquième réexamen périodique, le comportement à 60 ans de l'ensemble des enceintes de confinement des réacteurs de 1300 MWe, en fonctionnement normal et en situations accidentelles. Cette réévaluation pourra être réalisée en considérant, pour chaque enceinte, des mesures de déformations mises à jour et des modules d'Young⁷ conservatifs afin de s'assurer que les projections établies pour le quatrième réexamen périodique sont toujours pertinentes pour valider le comportement des enceintes dans le temps.

Par ailleurs, l'IRSN s'interroge sur les capacités d'EDF à détecter la rupture d'un ou de plusieurs câbles de précontrainte et à évaluer les conséquences associées sur le comportement de l'enceinte de confinement. Pour l'IRSN, il appartiendra à EDF de définir des critères permettant de détecter la perte d'un ou de plusieurs câbles de précontrainte et d'éventuelles mesures palliatives.

Enfin, l'IRSN estime pertinents les travaux de mise en œuvre de revêtement d'étanchéité supplémentaire, par EDF, pour maîtriser les taux de fuite globaux des enceintes de confinement. De ce fait, **l'IRSN estime que la maîtrise du vieillissement est assurée de façon satisfaisante pendant la période de 10 ans suivant la VD4 des réacteurs de 1300 MWe.**

Pathologies du béton

Les phénomènes de gonflement interne⁸ du béton sous l'effet de pathologies n'ont pas été considérés à la conception des ouvrages de génie civil des réacteurs de 1300 MWe et n'ont donc pas fait l'objet de précautions particulières à leur construction ; un DAPE a été créé. L'émergence possible de ces phénomènes de gonflement fait l'objet d'observations *in situ* au titre du programme de surveillance des structures de génie civil, ce qui est satisfaisant. Toutefois, l'IRSN estime qu'EDF doit évaluer la nocivité de ces phénomènes de gonflement du béton sur l'aptitude des structures de génie civil, classées importantes pour la sûreté, à satisfaire dans le temps leurs exigences de sûreté (résistance structurelle, supportage, confinement), en situations normale et accidentelle. EDF devra également établir un programme d'action visant à acquérir des connaissances complémentaires pour renforcer la robustesse des éléments techniques utilisés pour conforter la démonstration de la maîtrise des effets résultant de ces phénomènes de gonflement. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 4 en annexe.**

Autres équipements

Pour les SSC autres que ceux du CPP et ne faisant pas l'objet d'un DAPE, l'IRSN a mené une analyse sur un nombre limité de SSC particulièrement importants pour la sûreté et a examiné, pour ce faire, les FAV relatives au tube de

⁷ Module d'Young : propriété mécanique qui mesure la rigidité d'un matériau solide.

⁸ Les réactions de gonflement interne du béton désignent la réaction alcali-granulat (RAG) et la réaction sulfatique interne (RSI).

transfert entre les piscines du bâtiment du réacteur et du bâtiment d'entreposage du combustible, aux peaux d'étanchéité de ces piscines, aux bâches PTR⁹ et aux tuyauteries des systèmes de sauvegarde. **Pour ces matériels, l'IRSN considère que les dispositions prises par EDF sont de nature à maîtriser leur vieillissement pendant la période de 10 ans suivant la VD4 des réacteurs de 1300 MWe.**

4. PROGRAMMES D'INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES

La méthodologie retenue pour l'élaboration des PIC pour le RP4 1300 est la même que celle employée pour le RP4 900 en 2018. Tous les types de réacteurs (palier P4 ou P'4, bord de rivière ou bord de mer) sont couverts et les délais de réalisation des PIC s'étalent sur 4 ans. Pour l'IRSN, **ceci est satisfaisant.**

Dans le cadre du RP4 1300, les quatre PIC sont relatifs aux matériels électriques et de contrôle-commande, aux composants du CPP et des CSP, aux composants autres que ceux du CPP et des CSP et au génie civil. L'IRSN n'a pas de remarque concernant les trois premiers. S'agissant du PIC relatif au génie civil, EDF ne dispose pas de la liste exhaustive des éléments structuraux difficilement ou non-inspectables pour l'ensemble des réacteurs de 1300 MWe. En conséquence, EDF n'est pas en mesure d'établir à ce jour l'état du vieillissement de ces éléments. EDF s'est donc engagé à mettre à jour son processus associé aux fiches de non-inspection¹⁰ afin de centraliser et d'analyser les fiches des éléments structuraux difficilement ou non-inspectables. Toutefois, L'IRSN estime que la méthodologie proposée par EDF n'est pas satisfaisante, car elle ne prend pas en compte les exigences fonctionnelles des éléments structuraux non-inspectables. Aussi, l'IRSN considère que la démonstration de la conformité dans le temps, sur laquelle doit statuer ces fiches, reste à apporter en regard des exigences de sûreté attribuées à ces éléments. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 5 en annexe.**

Pour ce qui concerne les joints d'étanchéité du tampon d'accès matériel et les joints entre les sas et les enceintes externes des sas, plusieurs retours d'expérience négatifs ont mis en évidence des dégradations et une recrudescence des fuites. Pour l'IRSN, un contrôle des joints est donc nécessaire, auquel EDF s'est engagé. En fonction de l'analyse des résultats des contrôles des joints, EDF redéfinira, le cas échéant, une périodicité de remplacement des joints adaptée. **Pour l'IRSN, ceci est satisfaisant.**

5. CONCLUSION

La démonstration de la maîtrise du vieillissement réalisée par EDF au travers des DAPE de composants et des FAV depuis les troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe, a été complétée en vue d'une prolongation de la durée de fonctionnement pendant la période de 10 ans suivant la VD4 de ces réacteurs. Des contrôles des zones non examinées au titre du programme de maintenance ont été proposés dans le cadre du PIC.

⁹ Les bâches PTR contiennent de l'eau additionnée d'acide borique destinée à remplir la piscine du réacteur lors du déchargement ou du rechargement du combustible, et à participer notamment au refroidissement du cœur du réacteur dans certaines situations accidentelles en alimentant en eau les systèmes de sauvegarde d'injection de sécurité et d'aspersion de l'enceinte de confinement.

¹⁰ Les « fiches de non-inspection » (FNI) sont des fiches descriptives utilisées par EDF afin de lister les éléments, équipements ou zones qui ne sont pas inspectables (à titre d'exemple, cela peut concerner des zones non accessibles car inondées et des équipements contaminés dont la dose émise est très élevée).

Compte tenu des engagements pris par EDF durant l'expertise et sous réserve de la prise en compte des recommandations formulées en annexe au présent avis, l'IRSN estime pertinentes les dispositions mises en œuvre ou prévues par EDF pour assurer la maîtrise du vieillissement des structures, systèmes et composants des réacteurs de 1300 MWe au-delà de leur quatrième visite décennale.

IRSN

Le Directeur général
Par délégation
Thierry PAYEN
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2024-00191 DU 19 DÉCEMBRE 2024

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF poursuive la création de FAV relatives à la fatigue des composants indépendamment de la valeur du facteur d'usage et conserve le seuil de 0,1 pour ce facteur afin de définir le caractère pertinent de ce mécanisme.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'à l'occasion de la VD4 du réacteur n° 1 de Paluel, EDF mesure les jeux des organes de guidage et d'alignement entre la cuve et les équipements internes de cuve afin de s'assurer de leur cohérence avec ceux retenus dans les études mécaniques.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF définisse les actions de maintenance préventive à mettre en œuvre sur les matériels électriques et de contrôle-commande de la salle de commande et du panneau de repli afin de prévenir les pannes liées au vieillissement.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF évalue la nocivité des phénomènes de gonflement du béton sur l'aptitude des structures de génie civil, classées importantes pour la sûreté, à satisfaire dans le temps leurs exigences de sûreté, en situations normale et accidentelle. En outre, EDF devra proposer un programme d'action visant à renforcer la robustesse de la quantification des effets de ces phénomènes et à caractériser leurs cinétiques sur la période de 10 ans après les VD4.

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF justifie la suffisance des dispositions pour s'assurer de la conformité des éléments structuraux difficilement ou non-inspectables sur l'ensemble des réacteurs de 1300 MWe, au minimum, pendant la période de 10 ans suivant leur VD4.