

**GROUPE PERMANENT D'EXPERTS POUR LES EQUIPEMENTS SOUS
PRESSION NUCLEAIRES**

**Avis relatif à la tenue en service de la zone de cœur des cuves
des réacteurs de 1300 MWe pendant la période de 10 ans suivant
leur quatrième visite décennale et aux méthodes d'évaluation
pour l'actualisation des dossiers de référence réglementaire**

Réunion tenue à Montrouge et en visioconférence, les 17 et 18 décembre 2024

I

Conformément à la saisine du 19 novembre 2024 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) référencée CODEP-DEP-2024-063144, le groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GPESPN) s'est réuni les 17 et 18 décembre 2024 pour examiner les justifications apportées par EDF quant à la tenue en service de la zone de cœur des cuves des réacteurs de 1300 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur quatrième visite décennale et à certaines méthodes d'évaluation pour l'actualisation des dossiers de référence réglementaire¹ (DRR) du circuit primaire principal (CPP) et des circuits secondaires principaux (CSP) de ces réacteurs en vue de leur quatrième réexamen périodique (RP4 1300).

Au cours de cette réunion, le groupe permanent a pris connaissance de l'expertise réalisée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la base du dossier transmis par Electricité de France (EDF), des éléments complémentaires qu'il a recueillis au cours de l'expertise et des engagements pris par EDF dans ce cadre. Il a par ailleurs entendu les explications et commentaires présentés en séance par EDF.

II

Comme demandé par l'ASN dans la saisine précitée, le groupe permanent a examiné les points ci-après. Pour ce qui concerne les méthodes de calcul mobilisées dans les DRR :

- l'acceptabilité de la méthode de calcul des contraintes dans les tuyauteries dite « méthode Roche alternative », qui permet de diminuer le niveau de contrainte, issu d'un calcul élastique, en prenant en compte un effet de ressort, et son cadre d'application ;
- l'acceptabilité de la méthode de relaxation des moments secondaires, qui permet de réduire ceux-ci sur les boucles primaires pour l'évaluation du risque de rupture brutale, ainsi que la validation des moments à relaxer, associés à des remplacements de composants primaires ;
- la transposabilité, des réacteurs de 900 MWe aux réacteurs de 1300 MWe, de la méthode de prise en compte des effets de l'environnement primaire dans les études du risque de fissuration par fatigue, ainsi que la simplification, issue du retour d'expérience de l'établissement des DRR des réacteurs de 900 MWe à l'état VD4, de l'étape de recensement des zones à prendre en compte dans les études de fatigue.

Pour ce qui concerne la tenue en service de la zone de cœur des cuves des réacteurs de 1300 MWe au-delà de leur 4^{ème} visite décennale :

- l'extension de la zone de cœur ;
- la détermination des caractéristiques des matériaux qui sont considérées dans les études de rupture brutale ;
- la sélection et la caractérisation des transitoires thermohydrauliques les plus sollicitants ;
- les hypothèses et résultats des études de justification d'absence de risque de rupture brutale.

¹ Prévus par l'article 4 de l'arrêté du 10 novembre 1999 relatif à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression.

III

Méthode dite « Roche alternative »

La méthode dite « Roche alternative » est développée par EDF à partir d'une méthode codifiée dans le code RCC-MRx², pour évaluer de manière plus réaliste les conséquences des efforts sismiques inertiels. Elle s'applique aux lignes auxiliaires en acier inoxydable austénitique du CPP et aux lignes des CSP. Elle permet de déterminer un coefficient d'abattement et la part des moments sismiques inertiels à laquelle ce coefficient est appliqué en vue de définir les sollicitations à prendre en compte pour vérifier la prévention du risque de rupture brutale et le dimensionnement des supportages de tuyauteries. Le groupe permanent juge acceptable le développement de la méthode « Roche alternative » et satisfaisante, dans son principe, sa démarche de validation.

Les tronçons des lignes de tuyauteries ramifiées sont regroupés suivant les règles de l'art en matière de calcul des tuyauteries. Pour chaque regroupement le coefficient d'abattement minimal est retenu.

Le groupe permanent a constaté que le choix de découpage en tronçons dans le cas des lignes de tuyauteries ramifiées est susceptible de conduire à un non-conservatisme de la méthode. En outre, le choix effectué pour approcher la loi de comportement des aciers ferritiques constitutifs de certaines lignes peut mener à une légère surestimation du coefficient d'abattement des moments sismiques inertiels. Il a également noté l'action engagée par EDF d'accompagner la mise en œuvre de la méthode par un guide d'application.

A cet égard, le groupe permanent formule la recommandation n° 1 en annexe.

IV

Méthode de relaxation des moments secondaires

Le groupe permanent considère que le développement de la méthode, ainsi que la démarche mise en œuvre pour sa validation sont globalement appropriés. Il note favorablement qu'EDF s'est engagé à apporter un complément de validation en vue de l'application de la méthode à la branche en U du CPP.

Le groupe permanent considère que la mise en œuvre de la méthode est susceptible de modifier significativement le conservatisme des résultats. Aussi, il considère que l'exploitant devrait :

- expliciter, sur quelques configurations représentatives, les différences de résultat avec une méthode sans relaxation des efforts induits par la dilatation thermique et une méthode élastoplastique ;
- veiller à rappeler, avec les résultats de calcul, la méthode utilisée pour les obtenir.

Par ailleurs, le groupe permanent a constaté que les torseurs d'efforts additionnels déterminés par EDF à considérer pour tenir compte des opérations de remplacement de composants primaires des réacteurs de 1300 MWe présentent un caractère enveloppe, ce qui est satisfaisant.

² Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des installations nucléaires hautes températures, expérimentales et de fusion.

V

Fatigue environnementale

Un facteur d'environnement a été introduit dans les DRR des réacteurs de 900 MWe lors de leur quatrième réexamen périodique (RP4 900) afin de prendre en compte les effets de l'environnement du circuit primaire dans les études de fatigue.

La méthode de prise en compte des effets de l'environnement primaire développée par EDF permet de recenser les zones dites « sentinelles » en vue de définir le programme de surveillance. Le groupe permanent considère que la méthode de sélection des zones sentinelles est transposable aux réacteurs de 1300 MWe et estime que la simplification introduite par EDF pour les réacteurs de 1300 MWe consistant à considérer des valeurs forfaitaires enveloppes du facteur d'environnement est acceptable. Le groupe permanent rappelle, eu égard à la surveillance des circuits sous pression, sa doctrine constante de ne pas fonder exclusivement la stratégie de surveillance sur les résultats de l'évaluation des facteurs d'usage.

VI

Tenue en service de la zone de cœur des cuves

Pour déterminer les limites de la zone de cœur, définie par l'atteinte d'un seuil en fluence, à l'échéance de 10 ans après la quatrième visite décennale des réacteurs de 1300 MWe, EDF a mis en œuvre une méthode que le groupe permanent juge satisfaisante. Il estime par ailleurs que les fluences, évaluées par EDF à l'échéance de dix ans après la VD4 de chaque réacteur, aux points chauds et au droit des défauts détectés dans les viroles de certaines cuves, sont suffisamment conservatives pour être retenues comme données d'entrée pour l'évaluation des caractéristiques des matériaux constitutifs de la zone de cœur. Ces projections tiennent compte de l'introduction, en périphérie du cœur, au droit des points chauds, de grappes neutrophages en hafnium, visant à limiter la fluence reçue par la cuve. Le groupe permanent note favorablement qu'EDF s'est engagé à confirmer le niveau de réduction de flux neutronique réellement obtenu à l'issue de l'expérimentation en cours dans le réacteur n°2 de Saint-Alban.

Le groupe permanent note que les examens non destructifs (END) réalisés dans la zone de cœur des cuves lors des dernières visites décennales n'ont pas détecté de nouveau défaut. Ils ont de plus indiqué que les dimensions des trois défauts sous revêtement (DSR) déjà identifiés dans trois cuves de réacteurs de 1300 MWe n'ont pas évolué, compte tenu des incertitudes de dimensionnement associées aux méthodes d'END. Il relève cependant, compte tenu de l'extension de la zone de cœur en RP4, que le voisinage des supports M, moins irradié que les viroles au droit du cœur, n'est pas couvert par le procédé d'END. A cet égard, EDF s'est engagé à réaliser une étude de sensibilité mécanique à la taille du défaut dans ces zones, à échéance de fin 2025. Le groupe permanent note cet engagement dont le résultat devra être mis en regard des types de défauts qui pourraient être occasionnés par les procédés d'assemblage spécifiques de cette zone.

Le groupe permanent note que, pour chaque réacteur, les valeurs de fluence déterminées à partir des capsules du programme de surveillance de l'irradiation (PSI) permettront de couvrir, l'évolution pour les 10 ans à venir après la VD4. De plus, le groupe permanent observe que la méthodologie d'établissement, sur base statistique, des valeurs expérimentales de fragilisation par irradiation des cuves des réacteurs de 1300 MWe n'a pas évolué depuis l'analyse réalisée pour le RP4 900.

Certaines éprouvettes de résilience provenant du PSI du réacteur n° 1 de Penly dépassent les prévisions établies par la formule de fragilisation par l'irradiation (FFI) et, à ce jour, EDF poursuit ses investigations pour en expliquer l'origine. Le groupe permanent note cependant que le décalage de la température de transition pour cette cuve est couvert par celui retenu dans le dossier de justification du défaut générique.

S'agissant de la robustesse statistique de la formule FFI, le groupe permanent note que le taux de couverture des résultats expérimentaux du PSI par la FFI est légèrement inférieur au taux qu'elle doit assurer (94,1 par rapport à 95,4 %). Il prend acte de l'engagement d'EDF à réviser, à échéance de juin 2025, la formule de fragilisation par irradiation en intégrant l'ensemble des résultats provenant des capsules irradiées des réacteurs de 900 et 1300 MWe. Cependant, eu égard à son importance pour la sûreté, il estime que le taux de couverture des résultats expérimentaux par la FFI devrait être vérifié de manière périodique pour intégrer les nouveaux résultats du PSI. À cet égard, le groupe permanent formule la recommandation n°2 en annexe.

Concernant la sélection des transitoires thermohydrauliques, le groupe permanent estime, en l'état des connaissances, que les transitoires les plus sévères pour chaque catégorie de situations ont bien été identifiés. Pour toutes les catégories de situations, la caractérisation des transitoires les plus pénalisants est, de l'avis du groupe permanent, satisfaisante. Il note une évolution entre les référentiels RP3 et RP4 pour la 3^{ème} catégorie de situations où la localisation la plus pénalisante de la brèche postulée dans les calculs est passée de la branche chaude à la branche froide. A cet égard, le groupe permanent note l'influence des actions de l'opérateur dans cette évolution et souligne l'importance de s'assurer de la robustesse des hypothèses associées.

La méthodologie et les principales hypothèses de justification de l'absence de risque de rupture brutale de la zone de cœur des cuves des réacteurs de 1300 MWe sont reconduites des précédents réexamens périodiques des réacteurs de 900 et 1300 MWe. Un niveau de contraintes résiduelles de soudage dans les joints soudés des viroles de cuve de 70 MPa est pris en compte dans les analyses mécaniques du RP4 1300. La justification de cette valeur fait l'objet d'un programme d'essais par EDF, engagé à l'issue du RP4 900.

Les méthodologies de calcul des marges à la rupture brutale ainsi que les données d'entrée utilisées n'appellent pas de remarque du groupe permanent. Aussi, au vu des résultats des analyses du risque de rupture brutale associé tant au défaut générique qu'aux défauts avérés pour les cuves en étant affectées, le groupe permanent considère que les résultats des évaluations obtenus (facteurs de marge, tous supérieurs à 1) associés à la démarche de détermination des données d'entrées de ces évaluations, permettent de justifier l'absence de risque de rupture brutale dans la zone de cœur des cuves des réacteurs de 1300 MWe pendant la période de 10 ans à l'issue de leur requalification après la 4^{ème} visite décennale.

Annexe

Recommandation ° 1

Le groupe permanent recommande qu'EDF intègre dans sa méthode d'abattement de la part secondaire des moments sismiques inertiels des dispositions appropriées pour garantir son conservatisme en vue de son application aux lignes de tuyauteries pour l'établissement du dossier de justification d'absence de risque de rupture brutale et pour les calculs de dimensionnement des supports des réacteurs du palier 1300 MWe.

Recommandation n° 2

Le groupe permanent recommande qu'EDF vérifie, au minimum tous les cinq ans, que le taux de couverture des données de fragilisation par irradiation des matériaux de cuve par la loi de fragilisation par l'irradiation en vigueur au moment de cette vérification reste au moins égal à celui visé lors de l'élaboration de cette loi.

Membres du GPESPN ayant participé à la rédaction de l'avis

M.	SCHULER	Président
M.	SORRO	Vice-Président
M.	BALAHY	
M.	BILLON	
M.	BODINEAU	
M.	BUISINE	
M.	CASSAGNES	
M.	CHALLOT	
M.	CHAMPIGNY	
M.	COUPLET	
Mme	DROBYSZ	
M.	GIRAUD	
M.	GONDARD	
M.	LOISEAU	
M.	LONGIN	
M.	NEDELEC	
M.	PAYEN	
M.	PERRIN	
M.	PITOISET	
M.	ROUSSEL	