

Monsieur le Directeur de la Direction des équipements sous pression

Fontenay-aux-Roses, le 31 mars 2025

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00026 DU 31 MARS 2025

Objet : EDF – REP – Poursuite de l'exploitation jusqu'à VD4 + 10 ans du réacteur N° 4 de Dampierre – Analyse de la tenue à la rupture brutale de la cuve – Dossier Cuve « Zone de cœur ».

Références : [1] Avis IRSN n° 2020-00099 du 26 juin 2020.
[2] Courrier ASN – CODEP-DEP-2020-045660 du 7 décembre 2020.
[3] Saisine ASN – CODEP-DEP-2024-048987 du 10 septembre 2024.

À la suite de l'expertise réalisée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), à l'occasion du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe (RP4 900) [1], relatif à la justification de la tenue en service des cuves de ces réacteurs, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé à EDF, par sa lettre en référence [2], de prendre en compte les résultats atypiques du programme de surveillance de l'irradiation¹ (PSI) du réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Dampierre (Dampierre 4) dans son analyse du risque de rupture brutale avant la fin de sa quatrième visite décennale (VD4). Dans ce cadre, EDF a transmis à l'ASN un dossier de justification de la tenue en service de la cuve de Dampierre 4.

Par la lettre citée en référence [3], l'ASN a demandé l'avis de l'IRSN sur ce dossier, notamment pour ce qui concerne l'analyse du risque de rupture brutale et les évolutions d'hypothèses et de méthodes par rapport au dossier, dit dossier générique, expertisé par l'IRSN dans le cadre du RP4 900.

Deux évolutions d'hypothèses pour l'analyse mécanique de la tenue en service de la cuve de Dampierre 4 sont à noter par rapport au dossier générique du RP4 900 :

- EDF retient un décalage de la température de transition fragile-ductile (RT_{NDT}) du matériau de la cuve dû au vieillissement par irradiation établi sur la base des dépassements observés par le PSI de la cuve de Dampierre 4 ;
- EDF maintient la température de la bache PTR² au-dessus de 25 °C à partir de la VD4 de Dampierre 4.

Lors de cette expertise, il a été examiné les points suivants :

- l'évaluation de la fluence neutronique projetée à 10 ans après la VD4 de Dampierre 4 ;
- le choix de la valeur de la RT_{NDT} du matériau de la cuve ;
- la sélection des transitoires thermohydrauliques retenus pour le présent dossier et la pertinence des évolutions de caractérisations de ces transitoires par rapport au dossier générique ;

¹ Le programme de surveillance de l'irradiation a pour objectif de contrôler le conservatisme des hypothèses relatives à la fragilisation des matériaux retenues dans les études du risque de rupture brutale.

² La bache PTR est un réservoir utilisé pour fournir en eau le système d'injection de sécurité, système de sauvegarde qui injecte de l'eau borée dans le circuit primaire principal du réacteur pour refroidir le cœur en cas de brèche sur le circuit primaire. La température minimale de l'eau de la bache PTR influe donc directement sur l'intensité de chocs froids sur la cuve.

- les méthodes numériques mises en œuvre pour les calculs mécaniques comparativement aux dossiers antérieurs ;
- les résultats des études mécaniques de justification d'absence de risque de rupture brutale.

Au 1^{er} janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). Le présent avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR vient en réponse à la saisine précitée.

De l'évaluation des documents transmis et des informations apportées par EDF au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté retient les principaux éléments suivants.

1. FLUENCE REÇUE PAR LA CUVE

Le niveau d'irradiation neutronique reçue par la cuve au cours du temps, appelée fluence, fait partie des données d'entrée nécessaires pour évaluer le risque de rupture brutale des cuves des réacteurs.

La méthode de détermination de la fluence mise en œuvre par EDF ayant déjà été expertisée dans le cadre du dossier générique du RP4 900, **la Direction de l'expertise en sûreté n'a pas de remarque quant à son utilisation.**

Cependant, les hypothèses retenues ne tiennent pas compte d'une possible évolution de la gestion de combustible de Dampierre 4 (passage de la gestion Parité MOX³ à la gestion CAMOX⁴), qui est susceptible d'affecter le conservatisme de la fluence projetée à dix ans après sa quatrième visite décennale. Au cours de l'expertise, EDF a fourni des éléments pour statuer sur le caractère enveloppe de la projection de fluence en gestion CAMOX. Toutefois, ces éléments sont incomplets.

En conséquence, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF vérifie que l'hypothèse retenue sur le flux neutronique au niveau de la cuve (distribution azimutale et axiale) est bien enveloppe du flux moyen de chaque cycle de conception de la gestion de combustible CAMOX, si cette gestion est déployée sur le réacteur n° 4 de Dampierre avant sa prochaine visite décennale (cf. recommandation rappelée en annexe au présent avis d'expertise).

2. VIEILLISSEMENT DES MATÉRIAUX PAR IRRADIATION ET PSI

La fragilisation par irradiation de l'acier de cuve est surveillée en comparant les résultats d'une formule empirique, appelée formule de fragilisation par irradiation (FFI), avec les résultats expérimentaux tirés de l'exploitation d'éprouvettes d'essais mécaniques insérées dans la cuve du réacteur dans le cadre du PSI.

Les fragilisations expérimentales estimées à partir des éprouvettes du PSI de Dampierre 4 ont montré des dépassements significatifs par rapport aux prévisions de la formule FFI. EDF a alors réalisé des expertises métallurgiques et des analyses chimiques pour déterminer si ces dépassements correspondent à une fragilisation par irradiation atypique ou s'ils proviennent de phénomènes métallurgiques sans lien avec l'irradiation. Ces investigations, toujours en cours, n'ont pas permis d'expliquer à ce jour les fragilisations expérimentales observées. Par conséquent, EDF a intégré les dépassements observés en donnée d'entrée de la définition de la ténacité⁵ de l'acier à l'échéance VD4 + 10 ans, **ce qui est satisfaisant.**

Ainsi, pour la Direction de l'expertise en sûreté, les valeurs de ténacité retenues par EDF en donnée d'entrée des analyses mécaniques d'évaluation du risque de rupture brutale à l'échéance VD4 + 10 ans sont pertinentes.

³ La gestion Parité MOX correspond à une gestion pour laquelle, à chaque rechargement, 40 nouveaux assemblages sont introduits dans le cœur dont 12 assemblages MOX (mélange de dioxyde de plutonium et d'uranium appauvri) et 28 assemblages UO2 (dioxyde d'uranium enrichi), le cœur entier contenant au total 157 assemblages. La longueur du cycle d'irradiation est d'environ 12 mois.

⁴ Dans l'objectif d'allonger la longueur des cycles d'irradiation de 12 à 16 mois, EDF envisage une nouvelle gestion, appelée CAMOX, correspondant à une gestion pour laquelle, à chaque rechargement, 56 nouveaux assemblages sont introduits dans le cœur dont 16 assemblages MOX et 40 assemblages UO2, pour un total de 157 qui reste inchangé.

⁵ La ténacité est la capacité d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure.

3. TRANSITOIRES RETENUS POUR LES ANALYSES ET CARACTÉRISATIONS

Les transitoires thermohydrauliques définissent les chargements thermomécaniques utilisés dans l'analyse du risque de rupture brutale. Les transitoires les plus pénalisants pour chaque catégorie de situations ont été identifiés et caractérisés dans le cadre du dossier générique du RP4 900. Afin d'évaluer l'impact de la nouvelle RT_{NDT} projetée à VD4 + 10 ans et du chauffage de la bâche PTR, permettant d'assurer une température minimale de 25 °C, sur le risque de rupture brutale de la zone de cœur de la cuve de Dampierre 4, EDF a sélectionné certains transitoires sur la base de la liste des transitoires pénalisants retenue à l'issue de l'expertise par l'IRSN du dossier générique du RP4 900.

S'agissant des situations dans lesquelles l'injection de sécurité est sollicitée, EDF n'avait considéré, dans son dossier initial, que les transitoires de petites brèches primaires de 3^e catégorie⁶, ce qui n'était pas satisfaisant. Au cours de l'expertise, EDF a complété son dossier en apportant des éléments pour le transitoire pénalisant de 4^e catégorie et pour les transitoires du domaine complémentaire. Par ailleurs, la mise à jour des caractérisations pour tenir compte de l'évolution de la température minimale de la bâche PTR est estimée satisfaisante, dans la mesure où elle a été réalisée avec les mêmes hypothèses que pour le dossier générique du RP4 900, excepté la température de la bâche PTR pour les transitoires de petites brèches primaires de 3^e catégorie, ou avec une méthode enveloppe pour les compléments demandés au cours de l'expertise.

Ainsi, la Direction de l'expertise en sûreté note qu'EDF a, *in fine*, considéré l'ensemble des situations les plus pénalisantes identifiées à l'issue de l'expertise du dossier générique du RP4 900. De plus, elle estime satisfaisante la mise à jour des caractérisations visant à prendre en compte l'augmentation de la température minimale de la bâche PTR.

4. ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE BRUTALE DE LA CUVE

La méthodologie et les principales hypothèses de justification de l'absence de risque de rupture brutale de la zone de cœur irradiée de la cuve de Dampierre 4 sont reconduites du dossier générique du RP4 900, à l'exception des valeurs de RT_{NDT} et de la température minimale de 25 °C de la bâche PTR.

L'application de la méthodologie de calcul mécanique des marges à la rupture brutale à l'aide d'une méthode tridimensionnelle élastoplastique, ainsi que les données d'entrée utilisées, n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.

Concernant les résultats des analyses du risque de rupture brutale associé au défaut générique, les facteurs de marge obtenus sont tous supérieurs à 1, ce qui permet de justifier l'absence de risque de rupture brutale de la cuve de Dampierre 4 à l'échéance de VD4 + 10 ans.

⁶ La démonstration de sûreté d'un réacteur électronucléaire (hors EPR) inclut le domaine « de dimensionnement », divisé en catégories, complété par un domaine « complémentaire » qui couvre d'autres situations plausibles identifiées par les études probabilistes de sûreté.

5. CONCLUSION

À l'issue de son expertise, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'EDF a, sous réserve de la prise en compte de la recommandation formulée en annexe au présent avis d'expertise, justifié l'absence de risque de rupture brutale de la cuve de Dampierre 4 et que l'aptitude au service de cette cuve est démontrée jusqu'en VD4 + 10 ans avec la prise en compte de la température minimale de 25 °C de la bâche PTR.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté

ANNEXE

Recommandation de la Direction de l'expertise en sûreté

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF vérifie que l'hypothèse retenue sur le flux neutronique au niveau de la cuve (distribution azimutale et axiale) est bien enveloppe du flux moyen de chaque cycle de conception de la gestion de combustible CAMOX, si cette gestion est déployée sur le réacteur n° 4 de Dampierre avant sa prochaine visite décennale.