

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

**Avis**

**relatif à la démonstration de la tenue en service des cuves  
des réacteurs de 900 MWe après leur troisième visite  
décennale**

## I

Conformément à la demande du président de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), par sa lettre CODEP-DEP-2010-015922 du 2 avril 2010, le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires s'est réuni les 16 et 30 juin 2010 pour examiner la démonstration apportée par EDF en vue de justifier la tenue en service des cuves des réacteurs de 900 MWe pendant la période décennale suivant leur troisième visite décennale (VD3). Cet examen a tenu compte des indications présentes dans la zone de cœur de certains réacteurs, ainsi que des demandes formulées par l'ASN à la suite de la précédente réunion du groupe d'experts compétent qui s'est tenue en 2005.

Au cours de cet examen, le Groupe permanent a examiné la suffisance de la démonstration et des actions effectuées par EDF dans le cadre défini par la réglementation française et précisé par l'ASN qui vise notamment à justifier le maintien de l'intégrité de l'équipement dans toutes les catégories de situations :

- en mettant en œuvre des moyens permettant de détecter suffisamment tôt des défauts préjudiciables à l'intégrité de la structure ainsi que des dispositions de surveillance de l'irradiation et de conduite du réacteur ;
- en développant, le cas échéant, une justification spécifique du maintien en l'état d'un tel type de défaut ;
- en appliquant les coefficients de sécurité prévus par 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.

C'est dans ce cadre, qui impose la mise en œuvre d'une méthode de démonstration déterministe, qu'EDF a développé la démonstration qui a fait l'objet de l'examen dont les conclusions sont présentées dans cet avis.

## II

Le Groupe permanent a pris connaissance de l'analyse, par les services de l'ASN et son appui technique l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), des dispositions prises par EDF afin de répondre aux demandes précédemment formulées par l'ASN et de justifier l'aptitude au service des cuves des réacteurs de 900 MWe pendant la période décennale suivant leur VD3.

Le Groupe permanent a notamment entendu les conclusions du rapporteur sur les sujets suivants :

- le suivi de la fluence reçue par les cuves,
- l'identification des transitoires conduisant à des situations pénalisantes pour la cuve et les calculs thermohydrauliques réalisés en vue de déterminer les chargements mécaniques et thermiques sur les cuves ;
- les méthodes de prévision des effets de l'irradiation et la justification de leur caractère conservatif ainsi que les résultats du suivi du vieillissement ;
- l'analyse mécanique réalisée par EDF en vue de démontrer la tenue des cuves, pour toutes les catégories de situations, en présence de défauts avérés ou dont la présence ne peut être exclue eu égard aux performances des procédés de contrôle mis en œuvre ;
- le suivi en service des cuves ;
- la démarche de gestion du vieillissement appliquée aux cuves des réacteurs de 900 MWe ;

Le dossier présenté par EDF s'appuie sur la justification de la tenue mécanique, dans toutes les catégories de situations, y compris accidentelles :

- d'un défaut hypothétique de dimensions supérieures aux plus grands défauts dont la détection n'est pas garantie par les procédés de contrôles utilisés ;
- des défauts observés lors des examens décennaux réalisés sur les cuves des réacteurs.

Le Groupe permanent note que dans l'objectif de fournir les éléments permettant de justifier la tenue mécanique de l'ensemble des cuves des réacteurs de 900 MWe pendant la période décennale suivant leur VD3, EDF s'est engagé à compléter sa démonstration sur les aspects suivants :

- quantification des incertitudes liées à l'utilisation des codes de calcul de thermo-hydraulique ;
- compréhension du comportement mécanique du métal de la cuve en présence de ségrégation majeure et du phénomène potentiel de ségrégation du phosphore ;
- détermination des contraintes résiduelles dans les joints soudés des viroles des cuves ;

et s'engage à accompagner les futures évolutions de la démonstration par une analyse de leur impact sur les résultats présentés.

### III

Le Groupe Permanent a examiné les différentes étapes de la démonstration d'EDF :

#### **Suivi de la fluence reçue par les cuves**

Le Groupe permanent note que la mise en place de plans de chargement à faible fluence a permis de réduire de façon significative l'irradiation des cuves, contribuant à une moindre fragilisation de ces équipements. Il considère qu'EDF doit poursuivre ses efforts en ce sens, en particulier pour les cuves sur lesquelles des défauts de taille supérieure au défaut pris en compte dans l'analyse générique ont été détectés. Il formule par ailleurs la recommandation n°1 sur le suivi de la fluence.

#### **Identification des transitoires les plus sévères et calculs thermo-hydrauliques**

Le Groupe permanent souligne le travail fourni par EDF en vue de déterminer et de caractériser les transitoires conduisant à des situations pénalisantes pour la cuve, et les actions mises en œuvre pour « pratiquement exclure » le risque de surpression à froid.

Le Groupe permanent note toutefois que des compléments de démonstration demeurent nécessaires sur plusieurs aspects. Il considère en particulier qu'EDF doit compléter sa justification de l'exhaustivité de la démarche d'identification des transitoires pouvant conduire à des situations pénalisantes pour la cuve, et formule en ce sens la recommandation n° 2.

Le Groupe permanent note que des méthodes conformes à l'état de l'art sont utilisées et qu'une démarche de qualification des codes de calculs a été menée par EDF. Il souligne également les actions actuellement mises en place afin d'améliorer les outils de simulation et de modélisation disponibles. Il formule toutefois la recommandation n°3.

Le Groupe permanent note par ailleurs qu'il existe des scénarios de brèche primaire de taille intermédiaire conduisant à un fort dénoyage de l'espace annulaire suivi d'un renoyage rapide, pour lesquels l'analyse mécanique n'est pas finalisée, même s'ils ne devraient pas être plus sévères que ceux considérés dans le cas d'un accident de perte de réfrigérant primaire de type « grosse brèche » : il formule donc la recommandation n° 4.

#### **Comportement des matériaux irradiés**

Le Groupe permanent note que, conformément aux demandes formulées par l'ASN, EDF a réévalué la formule de prévision à partir des données tirées du programme de suivi de l'irradiation (PSI), en les complétant par des résultats d'irradiation à forte fluence en réacteurs expérimentaux. Il note que la démarche mise en place par EDF repose en particulier sur des analyses statistiques approfondies.

Le Groupe permanent note également que l'hypothèse selon laquelle la ténacité des zones affectées thermiquement reste bornée par celle du métal de base avant et après irradiation est confirmée.

Le Groupe permanent rappelle que la formule de prévision des effets de l'irradiation doit permettre de s'assurer de la prise en compte dans la démonstration des incertitudes et de la variabilité des mesures. Il souligne la difficulté de séparer la contribution des différents paramètres contribuant à la dispersion des données et formule la recommandation n°5. Il considère que l'engagement d'EDF (poursuivre les travaux de compréhension du comportement mécanique du métal de la cuve en présence de ségrégation majeure et du phénomène potentiel de ségrégation de phosphore), devra aboutir à la justification de la prise en compte dans la démonstration des phénomènes métallurgiques non liés à l'irradiation ayant conduit à des cas de sur-fragilisation

En ce qui concerne les perspectives après les VD4 il formule la recommandation n°6.

#### **Analyse mécanique**

Le Groupe permanent note qu'EDF a adopté, dans son dossier de justification de la tenue en service des cuves, une méthode conforme aux dispositions de l'arrêté du 10 novembre 1999 et notamment son article 13 prescrivant l'utilisation de coefficients de sécurité sur les chargements mécaniques et thermiques. Il note également les améliorations apportées à la méthode de correction de plasticité par rapport à la version précédente de la démonstration.

Le Groupe permanent considère que les valeurs utilisées dans les analyses pour la prise en compte des contraintes résiduelles, dans les zones affectées thermiquement ne sont pas remises en cause.

Le Groupe permanent souhaite que soit approfondi le caractère enveloppe de l'utilisation des propriétés mécaniques déterminées pour le métal de base en présence de veines sombres.

Considérant que l'analyse mécanique doit utiliser des données d'entrée assurant le caractère conservatif de la méthode, il estime que la méthodologie choisie par EDF pour prendre en compte les effets d'échelle, à travers l'utilisation d'un coefficient de correction sur la ténacité, n'est pas utilisable telle quelle dans le cadre de la démonstration de tenue en service des cuves, et formule la recommandation n° 7. A titre conservatoire, le Groupe permanent a donc élaboré son jugement, présenté au IV. du présent avis, sans tenir compte de l'effet d'échelle.

#### **Programme de contrôles et de suivi en service**

Le Groupe permanent note que les dispositions relatives au suivi en service ont été examinées par l'ASN, qui les a jugées satisfaisantes, dans le cadre de l'instruction réglementaire des programmes de maintenance. Le Groupe permanent considère que ces dispositions doivent être maintenues concernant la zone de cœur si une exploitation après l'échéance des VD4 est envisagée par EDF.

#### **Gestion du vieillissement**

Le Groupe permanent note que la démarche de gestion du vieillissement examinée par l'ASN et le Groupe permanent pour les réacteurs nucléaires en 2006 est appliquée à la cuve.

### **IV**

En conclusion, le Groupe permanent souligne l'important travail réalisé par EDF en vue de justifier la tenue en service des cuves pendant la période décennale suivant les VD3.

Le Groupe permanent juge qu'à partir des éléments actuellement disponibles, et sous réserve que les points mentionnés au III. ne remettent pas en cause ceux-ci, la tenue mécanique des cuves 900 MWe vis-à-vis d'un défaut générique correspondant au plus grand défaut non détectable est démontrée pendant la période décennale suivant la VD3.

Cette conviction a été acquise sur la base d'une analyse particularisée à chaque cuve, qu'EDF devra confirmer et en notant que les contrôles seront effectués en VD3 avec une limite de détection de 5 mm. Si des défauts sont nouvellement détectés, leur tenue devra faire l'objet d'une justification spécifique.

Le Groupe permanent juge également, sous les mêmes réserves relatives au point III., que la tenue des défauts actuellement détectés a été justifiée à l'horizon des VD4, sous réserve que la température de la bache PTR de Saint Laurent B1 soit portée à 20°C garantis, comme c'est déjà le cas pour les réacteurs de Fessenheim 2 et Tricastin 1, au plus tard à la VD3 de ce réacteur.

Le Groupe permanent considère par ailleurs que si la prise en compte des points mentionnés au III. conduisait à remettre en cause le respect à l'horizon de la VD4 des critères réglementaires relatifs à la démonstration de la tenue en service des cuves, EDF devrait corriger cette situation en temps utile, et pourra notamment mettre en place des dispositions visant à garantir une température de l'eau de la bache PTR supérieure à 20°C, même si les cuves éventuellement concernées ne présentent pas de défauts de taille supérieure à 5mm.

## **Recommandations**

### **Recommandation n°1**

Afin d'assurer le suivi de la fluence reçue par les cuves, le Groupe permanent recommande qu'EDF transmette à l'ASN, tous les 3 ans, à partir de 2014, pour l'ensemble des réacteurs de 900 MWe:

- la valeur de fluence conduisant à la température de transition maximale permettant de respecter les critères réglementaires, à l'échéance de VD3+11 ans, pour un défaut générique et, le cas échéant, pour les défauts réels ;
- la valeur moyenne du coefficient de production sur les 5 dernières campagnes précédant l'échéance considérée ;
- la nouvelle projection de fluence à VD3+11 ans en précisant les hypothèses de calcul en termes de coefficient de production et de flux neutronique

### **Recommandation n°2**

Le Groupe permanent considère nécessaire qu'EDF complète la démonstration de l'exhaustivité de la recherche des scénarii conduisant à des situations pénalisantes pour la cuve en procédant à une mise à jour de la liste des transitoires qui permettra entre autres de s'assurer que l'ensemble des situations les plus sévères vis-à-vis de leur impact sur la tenue mécanique de la cuve ont bien été prises en compte. Les scénarii issus du domaine complémentaire sont à étudier sans coefficients de sécurité, avec des hypothèses réalistes.

### **Recommandation n°3**

Le Groupe permanent considère qu'en cas d'impossibilité de quantifier certaines incertitudes dans les codes de thermohydraulique, EDF devra justifier le conservatisme de la démarche thermohydraulique.

### **Recommandation n°4**

Le Groupe permanent recommande qu'EDF complète les analyses réalisées dans le cadre de l'étude de sensibilité des petites brèches primaires en caractérisant les transitoires pouvant conduire à des phénomènes de fort dénoyage puis de renoyage. Le Groupe permanent considère qu'une analyse mécanique devra être effectuée pour de tels transitoires, pour le défaut générique et les défauts réels, en prenant en compte les coefficients de sécurité associés aux types de transitoires correspondants.

### **Recommandation n°5**

En l'état actuel des connaissances concernant la fragilisation et la dispersion des mesures, le Groupe permanent considère que la détermination de l'écart type de la formule de prévision de la fragilisation à partir d'un échantillon dit « à effet de prélèvement réduit » ne permet pas de s'assurer du caractère enveloppe de la  $RT_{NDT}$  déterminée pour le métal de base et qu'il est nécessaire, dans cette détermination, de prendre en compte les points du PSI jugés valides. Le Groupe permanent considère acceptable l'absence de prise en compte de certaines données du PSI conduisant à des sur-fragilisations ou sous-fragilisations, s'il est prouvé qu'elles sont liées à des phénomènes métallurgiques non liés à l'irradiation et déjà pris en compte dans une étape de la démonstration.

### **Recommandation n°6**

Le Groupe permanent considère qu'EDF devra réexaminer la formule utilisée dès que les résultats des capsules complémentaires du programme de suivi de l'irradiation permettant de couvrir les fluences supérieures à  $7.10^{19}$  seront disponibles. Cet examen devra survenir en tout état de cause à une échéance compatible avec son instruction avant les VD4.

### **Recommandation n°7**

Le Groupe permanent considère que la correction des effets d'échelle a été prise en compte de manière insuffisamment justifiée et recommande qu'EDF :

- corrige le sous-conservatisme induit par son utilisation ;
- vérifie, pour l'ensemble des étapes de la démonstration, la cohérence de la prise en compte de cet effet générique pour le métal de base ;
- et réétudie, pour le joint soudé, la pertinence du modèle.