

## Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaire

### Tenue en service des cuves des réacteurs de 900 MWe après leur troisième visite décennale

#### Séances des 16 et 30 juin 2010 - Synthèse du rapport-

L'intégrité de la cuve du réacteur constitue un élément essentiel de la démonstration de sûreté des centrales nucléaires à eau sous pression. La rupture de cet équipement, dont les conséquences seraient très graves, n'est en effet pas prise en compte dans les études de sûreté et c'est la raison pour laquelle toutes les dispositions doivent être prises dès la conception de l'équipement afin de garantir sa tenue pendant toute la durée d'exploitation du réacteur.

EDF met à jour périodiquement les études justifiant la tenue en service des cuves. A la suite du dernier examen de la démonstration de tenue en service des cuves en 2005, dont les résultats ont été présentés à la section permanente nucléaire (SPN) de la commission centrale des appareils à pression (CCAP), l'ASN a formulé des demandes concernant la réalisation de travaux complémentaires visant à conforter les analyses menées sur :

- la fluence reçue par la cuve,
- les calculs thermohydrauliques permettant la détermination des chargements mécaniques subis par la cuve,
- les propriétés mécaniques des matériaux irradiés,
- la stratégie de suivi en service des cuves.

Les réponses fournies par EDF aux demandes formulées par l'ASN en 2006 ont été instruites par l'ASN et son appui technique l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), en vue de statuer sur la suffisance de la démonstration apportée pour assurer la tenue en service des cuves des réacteurs du palier 900 MWe au-delà des troisièmes visites décennales (VD3). Au cours de cette instruction, plusieurs questions ont été soulevées et des besoins de compléments de démonstration identifiés qui ont fait l'objet de plusieurs recommandations de la part du rapporteur. La fourniture d'éléments complétant la démonstration actuelle a donc été considérée comme un élément préalable à la prise de position de l'ASN sur l'aptitude au service des cuves pendant l'intégralité de la période de dix ans suivant les VD3.

Au cours de l'instruction, EDF a donc complété le dossier de justification en quantifiant l'impact de plusieurs améliorations concernant les procédés de contrôle et la température de l'injection de sécurité qui ont permis de mettre en évidence des marges par rapport aux critères réglementaires<sup>1</sup> que le rapporteur a jugé suffisantes pour assurer la tenue en service de l'ensemble des cuves de 900 MWe pendant l'intégralité de la période décennale suivant les VD3.

---

<sup>1</sup> Les critères réglementaires précisés par l'arrêté du 10 novembre 1999 incluent eux-mêmes l'utilisation de coefficients de sécurité.

## Principes de la démonstration de tenue en service des cuves

La réglementation en vigueur impose notamment à l'exploitant :

- d'identifier les situations ayant un impact sur l'équipement ;
- de prendre des mesures afin de connaître l'effet du vieillissement sur les propriétés des matériaux ;
- de mettre en œuvre des moyens lui permettant de détecter suffisamment tôt des défauts préjudiciables à l'intégrité de la structure ;
- d'éliminer toute fissure détectée, ou en cas d'impossibilité, d'apporter une justification spécifique appropriée au maintien en l'état d'un tel type de défaut.

L'irradiation entraîne une modification des propriétés mécaniques de l'acier des cuves dont la résistance à la rupture brutale en présence d'un défaut est amoindrie par le vieillissement. La démarche retenue par EDF pour justifier l'absence de risque de rupture brutale d'une cuve consiste à vérifier qu'un défaut observé, ou dont la présence ne peut être exclue eu égard aux performances des procédés de contrôle disponibles, présente des marges suffisantes vis-à-vis de l'amorçage et de la propagation d'une fissure de rupture fragile ou ductile en toutes situations. Dans chaque catégorie de situations, EDF identifie donc les transitoires qu'il estime les plus pénalisants vis-à-vis de la tenue mécanique.

La fragilisation de l'acier se traduit par un décalage de la température de transition fragile-ductile ( $RT_{NDT}$ ). Ce décalage peut être évalué à partir de formules de prévision empiriques qui font intervenir la fluence et les teneurs en éléments fragilisant de l'acier de cuve. Cette prévision est complétée par une vérification de la fragilisation effective de l'acier de cuve faite au moyen d'éprouvettes de résilience du programme de surveillance de l'irradiation (PSI), placées dans les cuves des réacteurs en fonctionnement.

Pour obtenir la ténacité en fin de vie de la cuve en tenant compte de la fragilisation en cours de fonctionnement, l'approche retenue consiste à ajouter à la  $RT_{NDT}$  à l'état initial, le décalage de cette  $RT_{NDT}$  lié à l'irradiation, la  $RT_{NDT}$  à l'état initial étant déterminée avant la mise en service du réacteur.

La démarche globale retenue implique de disposer :

- des données correspondant à la fluence en fin de vie des cuves, source des dommages d'irradiation ;
- des sollicitations, donc des conditions de pression et de température données par les études thermohydrauliques de transitoires ;
- de formules prédictives permettant d'évaluer avec une bonne confiance les dommages d'irradiation liés à la fluence et leurs conséquences sur le comportement des matériaux sous irradiation ;
- des dimensions des éventuels défauts présents dans les structures ainsi que des limites de détection des procédés de contrôle ;
- de méthodes d'analyse mécanique permettant de prendre en compte les différents paramètres intervenant sur le comportement de défauts.

Cette démarche est utilisée dans le dossier dit « générique » qui présente la justification, en toute situation, de la tenue d'un défaut enveloppe (défaut hypothétique correspondant au plus grand défaut non détectable) placé au point le plus irradié tout en retenant la fluence maximale envisagée pour l'ensemble des cuves de réacteur du palier 900 MWe pour une durée de vie donnée, ici l'échéance de la période décennale suivant les VD3, et en considérant, parmi ces cuves, les propriétés de résistance à la rupture brutale du matériau le plus fragilisé. Il existe aussi des dossiers spécifiques pour les cuves sur lesquelles des défauts ont été mis en évidence lors des

inspections en service. Ces dossiers correspondent à une démarche de justification réaliste prenant en compte la position réelle du défaut et la fluence effective reçue par la cuve concernée.

## **Synthèse de l'instruction**

Le rapporteur note qu'EDF a mené d'importants travaux depuis 2005 dans le but de compléter le dossier relatif à la tenue en service des cuves. D'un point de vue général, le rapporteur considère que les réponses aux questions soulevées lors des instructions précédentes ont été apportées. Toutefois, l'instruction du dossier a soulevé de nouvelles questions et mis en évidence la nécessité de compléter les éléments fournis sur plusieurs aspects qui font l'objet de recommandations.

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

Le rapporteur note qu'EDF a révisé les données relatives aux prévisions de fluence à l'échéance d'une période de dix ans après les VD3 et a défini un critère permettant de déclencher un suivi particulier de l'irradiation de la cuve si la valeur de fluence se rapproche de celle prise en compte dans la démonstration de tenue en service des cuves. Cependant, le rapporteur remarque que la démonstration actuelle ne présente pas de marges importantes au-delà des critères réglementaires. Ainsi, le rapporteur considère que les hypothèses utilisées dans le calcul des projections de fluence réalisées par EDF, qui s'appuient sur des prévisions du flux d'irradiation et du coefficient de production au cours des prochaines années, sont acceptable mais doivent faire l'objet d'une attention particulière. Les modalités de transmission par EDF de données relatives aux paramètres de flux, de coefficient de production et de fluence doivent donc être complétées et adaptées en fonction de la situation de chaque cuve.

### *Calculs thermohydrauliques :*

La démonstration de la tenue en service des cuves nécessite de sélectionner les transitoires les plus pénalisants pour chaque catégorie de situation. L'analyse thermohydraulique a pour but, d'une part de calculer, pour chacun de ces transitoires, les conditions de pression et de température ainsi que leur évolution au cours du temps et, d'autre part, de s'assurer par des études de sensibilité du caractère pénalisant des scénarios retenus. Le rapporteur note qu'EDF a fourni dans ce domaine un travail de qualité, toutefois, des compléments demeurent nécessaires.

Le rapporteur note en effet que les incertitudes liées à l'utilisation des codes de calculs « CFD » n'ont pas été quantifiées, malgré leur importance dans la démonstration, alors qu'il est nécessaire de s'assurer que les calculs thermohydrauliques conduisent à une estimation enveloppe des chargements vus par la cuve dans toutes les catégories de situations. Ainsi, EDF devra couvrir l'ensemble des incertitudes liées aux codes de thermohydrauliques « CFD » et procéder soit à une quantification des incertitudes soit, en cas d'impossibilité, à une pénalisation du calcul, dont la suffisance devra être justifiée.

Il est par ailleurs nécessaire de compléter l'analyse pour certains scénarios insuffisamment pris en compte dans la démonstration de tenue mécanique des cuves. Le rapporteur note en effet 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 la justification n'est pas complète. Le rapporteur note qu'EDF considère que les chargements induits par ces situations peuvent se rapprocher de ceux induits par certaines situations de 3<sup>ème</sup> catégorie déjà étudiées mais considère que la démonstration doit être complétée. Toutefois, ces chargements ne devraient pas être plus sévères que ceux considérés dans le cas d'un accident de perte de réfrigérant primaire de type « grosse brèche » classé en 4<sup>ème</sup> catégorie et pris en compte dans le dossier de justification. Le

rapporteur rappelle cependant que ces seuls éléments ne peuvent, en l'état, constituer une démonstration acceptable puisque la comparaison avec les cas déjà étudiés doit être complétée et que les critères à respecter dans le cas d'une brèche intermédiaire, dont la probabilité d'occurrence est plus élevée qu'une brèche de 4<sup>ème</sup> catégorie, doivent être plus contraignants. Il est donc nécessaire qu'une analyse mécanique adéquate soit réalisée pour ces scénarios.

Le rapporteur souligne toutefois l'importance des travaux réalisés par EDF afin de qualifier les codes de calculs utilisés. Les efforts devront être poursuivis dans ce sens et le rapporteur note que des travaux ont déjà été engagés afin d'améliorer les outils de simulation et de modélisation actuellement disponibles.

#### Prévision des effets de l'irradiation :

Afin de déterminer les propriétés des matériaux constitutifs de la cuve après irradiation, EDF a établi une formule de prévision des effets de l'irradiation. Conformément aux demandes de l'ASN formulées après la SPN de 2005, EDF a réévalué cette formule de prévision à partir des données tirées du PSI, en les complétant par des résultats d'irradiation à forte fluence en réacteurs expérimentaux. La démarche mise en place par EDF, qui repose sur des analyses statistiques approfondies, est jugée de bonne qualité mais le rapporteur recommande qu'EDF révise la détermination de la formule dite « enveloppe » afin de mieux rendre compte de la forte dispersion des données du PSI et de minimiser les cas de sous-prévision de la fragilisation.

Le rapporteur considère en effet que la prise en compte d'un échantillon de données dit à « effet de prélèvement réduit », pour la détermination d'un écart type permettant la définition de la formule dite « enveloppe », n'est pas acceptable en l'état actuel des connaissances. Le rapporteur considère que si la totalité de la variabilité des essais n'est pas liée à l'irradiation, les connaissances actuelles ne permettent pas de justifier du caractère enveloppe d'un écart type « réduit ».

La prise en compte d'un écart type intégrant les résultats du PSI conduira à une formule satisfaisante jusqu'aux fluences correspondant à une exploitation jusqu'à la VD4 mais la formule devra être réexaminée pour le cas des fortes fluences dès mise à disposition de données du PSI concernant des irradiations importantes. Le rapporteur considère qu'il est également nécessaire de disposer d'éléments complémentaires relatifs à la prise en compte des zones de ségrégations majeures et du phénomène potentiel de ségrégation du phosphore.

Le rapporteur considère également que certaines dispositions concernant l'analyse des résultats du programme de suivi de l'irradiation, et notamment la définition de la fragilisation utilisée dans ce cadre, doivent être modifiées pour offrir un niveau de garantie supérieure quant à la détection et l'analyse des éventuels cas de sur-fragilisation pouvant survenir à l'avenir.

Le rapporteur note enfin que les éléments transmis par EDF en vue de justifier l'hypothèse selon laquelle la ténacité des zones affectées thermiquement reste bornée par celle du métal de base avant et après irradiation sont satisfaisants.

#### Calculs mécaniques :

Le rapporteur note qu'EDF a adopté, dans son dossier de justification de la tenue en service des cuves, une méthode conforme aux dispositions de l'article 13 de l'arrêté du 10 novembre 1999 en prenant en compte des coefficients de sécurité réglementaires sur les chargements mécaniques. Le rapporteur constate également qu'EDF a modifié la méthode de correction de plasticité et démontré le caractère enveloppe de la méthode simplifiée ainsi réévaluée.

Le rapporteur considère que les valeurs utilisées dans les analyses pour la prise en compte des contraintes résiduelles, dans les zones affectées thermiquement des joints soudés ou dans le revêtement, ne sont pas remises en causes. Néanmoins, des éléments complémentaires doivent être apportés lors de la prochaine révision du dossier, permettant d'estimer l'amplitude des contraintes résiduelles dans le joint soudé C1/C2 après le détensionnement thermique et l'épreuve hydraulique, afin de s'assurer de l'absence de contraintes résiduelles de traction. EDF s'est engagé à fournir ces éléments et présentera également lors de la prochaine révision du dossier une analyse portant sur les évolutions techniques afin de réduire les incertitudes sur l'amplitude des contraintes résiduelles induites par le revêtement de la cuve.

L'analyse des marges à la rupture a par ailleurs conduit le rapporteur à s'interroger sur l'utilisation d'un coefficient de correction sur la ténacité destiné à prendre en compte des « effets d'échelle » et dont le caractère enveloppe n'est pas suffisamment justifié. L'utilisation de ce coefficient introduit une multiplication de la ténacité du matériau par un coefficient pouvant aller jusqu'à 1,6 pour certains défauts détectés en service. En conséquence, le rapporteur considère qu'il est nécessaire qu'EDF revoie sa démonstration pour corriger le sous conservatisme induit par l'utilisation, sous sa forme actuelle, de ce coefficient.

#### Suivi en service :

Les dispositions relatives au suivi en service ont été examinées dans le cadre de l'instruction réglementaire des programmes de maintenance qui ont été jugés satisfaisants par l'ASN. Le rapporteur considère que les contrôles de la cuve devront se poursuivre si une exploitation après la VD4 est envisagée. Les dispositions relatives à la gestion du vieillissement ont également fait l'objet d'un examen dans le cadre d'un Groupe permanent dédié à la maîtrise du vieillissement. Ces dispositions sont appliquées à la cuve qui fait l'objet d'un dossier d'aptitude à la poursuite de l'exploitation.

### **Aptitude au fonctionnement des cuves pendant la période décennale suivant les VD3**

L'analyse de la démonstration présentée par EDF et des hypothèses utilisées a conduit le rapporteur à formuler des recommandations qui impliquent, notamment à court terme et en l'attente de certaines études, des pénalisations ou l'absence de valorisation, dans la démonstration, de certains effets bénéfiques. Afin de justifier la tenue en service de l'ensemble des cuves de 900 MWe pendant l'intégralité des dix années suivant la VD3, EDF a donc été amené à compléter son dossier en valorisant dans la démonstration de nouvelles hypothèses dont le caractère conservatif reste considéré comme acceptable par le rapporteur.

Au cours de l'instruction, EDF a complété sa démonstration en quantifiant l'impact de l'utilisation dans la démonstration « générique » d'un défaut de 5mm. Le rapporteur considère que l'amélioration des procédés de contrôle et leur qualification garantissent la détection de ce type de défaut, de taille inférieure à celle prise en compte dans les versions antérieures de la démonstration qui utilisaient les résultats de procédés d'examen moins performants. EDF a également chiffré l'influence d'un réchauffage de l'injection de sécurité (IS) sur les réacteurs présentant les marges les plus faibles. Le rapporteur note l'impact bénéfique de cette modification sur la tenue en service des cuves.

Au vu de ces résultats complémentaires, le rapporteur considère qu'EDF a transmis des éléments de justification suffisants pour démontrer la tenue en service de l'ensemble des cuves des

réacteurs de 900 MWe pendant l'intégralité de la période décennale suivant les VD3, sous réserve de la fourniture d'un nouveau dossier prenant en compte les recommandations proposées et de la mise en œuvre de disposition permettant le réchauffage de l'IS à 20°C sur certains réacteurs.

Dans ce cadre, le rapporteur note qu'EDF s'est engagé à compléter sa démonstration en quantifiant notamment les incertitudes liées aux codes de calculs, dont les résultats devront être transmis à l'ASN.