

Avis de l'IRSN sur la tenue en service des cuves des réacteurs de 900 MWe - Réponses aux demandes de la section permanente nucléaire de décembre 2005 - Volet mécanique

A l'issue de la réunion de la section permanente nucléaire en décembre 2005 sur la tenue en service des cuves du palier 900 MWe, l'ASN a formulé trois demandes à EDF relativement au comportement mécanique des cuves :

- de réviser son dossier pour que les études de nocivité des défauts spécifiques et génériques respectent les dispositions de l'article 13 de l'arrêté du 10 novembre 1999,
- de réviser les études mécaniques du palier CPY pour prendre en compte les transitoires du palier CPY,
- d'apporter des justifications pour les cas où le défaut étudié atteint une taille qui ne permet pas de garantir le caractère conservatif de la méthode simplifiée d'analyse de nocivité du défaut.

Par lettre du 19 février 2009, l'ASN a demandé à l'IRSN son avis sur les études de défauts et plus particulièrement sur les nouveaux modèles proposés par EDF pour la correction de plasticité en fond de défaut et la prise en compte des contraintes résiduelles.

En ce qui concerne les méthodes analytiques de calcul de la nocivité d'un défaut, l'IRSN note qu'EDF a proposé de nouveaux modèles de correction de la plasticité en fond de défaut. Le domaine de validité de ces nouveaux modèles a été analysé par EDF et par l'IRSN à l'aide de calculs élasto-plastiques par éléments finis sur des modèles bidimensionnels et tridimensionnels. **Compte tenu des hypothèses retenues dans les calculs, l'IRSN estime que les nouveaux modèles fournissent des corrections de plasticité pouvant être considérées comme enveloppes pour un défaut d'une hauteur comprise entre 6 et 18 mm et d'une longueur inférieure ou égale à 10 fois sa hauteur.**

En ce qui concerne les contraintes résiduelles, en l'état des connaissances actuelles, l'IRSN estime que la prise en compte de contraintes résiduelles de l'ordre de 200 MPa dans le revêtement et de 0 MPa dans la ZAT est recevable. Par contre, dans le ou les joints soudés des viroles de cœur, en l'absence de justifications d'EDF, l'IRSN n'exclut pas la présence de contraintes résiduelles de traction. Par conséquent, l'IRSN recommande qu'EDF apporte la justification de l'amplitude des contraintes résiduelles retenue dans les joints soudés après le détensionnement thermique et l'épreuve hydraulique de la cuve.

L'arrêté du 10 novembre 1999 demande que soit considéré un coefficient multiplicateur sur le chargement dans les analyses de risque de rupture. Dans le dossier de 2002 d'analyse des marges à la rupture des cuves du palier 900 MWe, EDF a considéré ce coefficient sur la ténacité du matériau. En réponse à la demande de l'ASN, EDF a étudié l'influence de la prise en compte de ce coefficient sur le chargement pour le cas où la marge à la rupture est la plus faible (cas du défaut sous revêtement de 6 mm × 60 mm soumis aux transitoires induits par l'accident de perte de réfrigérant primaire). Pour l'IRSN, les résultats de cette étude montrent qu'appliquer le coefficient de sécurité sur le chargement ou l'appliquer sur la ténacité a peu d'influence quand le niveau de plastification en fond de défaut est faible. L'IRSN rappelle que cette question avait déjà été débattue et tranchée par les groupes de travail sur la version 95-7-8 du RSE-M.

Les notes révisées d'études de défauts ont été transmises par EDF à l'IRSN dans le courant du deuxième semestre 2008. Ces notes traitent les cas des défauts génériques (qui sont des défauts postulés) et des défauts spécifiques (qui sont les défauts détectés sur les cuves). L'IRSN a noté que :

- les nouveaux modèles de correction de plasticité ont été utilisés dans les calculs de nocivité de défaut,
- les coefficients de sécurité ont été appliqués sur les chargements conformément à l'article 13 de l'arrêté du 10 novembre 1999,
- les transitoires ont été appliqués en fonction du palier CP0 ou CPY,
- la fluence et la température de transition fragile-ductile (RT_{NDT}) sont considérées à 40 ans.

Pour EDF, les marges à la rupture pour 40 ans d'exploitation, pour les défauts postulés et pour les défauts détectés, sont supérieures ou égales à 1 en toute catégorie de situations. Toutefois, l'IRSN considère que les marges à l'égard du risque de rupture par clivage sont inférieures à celles mentionnées dans le dossier d'EDF.

En effet, dans les analyses du risque de rupture par clivage, l'IRSN note qu'EDF prend en compte un facteur correctif sur la ténacité afin de s'affranchir des effets d'échelle dans le domaine de comportement fragile-ductile de l'acier de cuve. L'étude menée par l'IRSN montre que l'application de ce facteur correctif sur la ténacité n'est pas justifiée. En effet, la ténacité est obtenue sur la courbe de ténacité du code RCC-M. Or, cette courbe a été construite pour constituer une borne inférieure de données de ténacités obtenues sur des éprouvettes en acier ferritique à l'état non irradié dont les épaisseurs variaient entre 1'' et 11'' (25,4 à 279,4 mm) et étaient majoritairement inférieure ou égale à 2''. Une correction par rapport une éprouvette de référence d'épaisseur égale à 100 mm n'est pas justifiée. Par ailleurs, l'analyse comparative menée par l'IRSN montre que la courbe de ténacité corrigée ne constitue pas une courbe enveloppe pour les données de ténacité du Programme de Surveillance de l'Irradiation (PSI) contrairement à la courbe du RCC-M, en particulier dans le cas du défaut détecté sur la cuve de la tranche 5 de Bugey. Pour l'IRSN, les analyses déterministes doivent reposer sur des démonstrations enveloppes, a fortiori pour la cuve dont les conséquences de la rupture n'ont pas été prises en compte dans les analyses de sûreté. L'IRSN estime que la courbe de ténacité doit être enveloppe, et par conséquent, que l'application du

facteur correctif d'EDF sur la ténacité n'est pas recevable. L'IRSN recommande donc qu'EDF réévalue les marges obtenues à 40 ans à l'égard du risque de rupture par clivage en supprimant le facteur correctif appliqué sur la ténacité.

Suite à une demande de l'ASN en date du 4 mai 2010, l'IRSN a estimé avec les éléments à sa disposition les marges à la rupture à VD3+5 ans de chacune des cuves de réacteur du palier 900 MWe compte tenu des recommandations de l'IRSN à savoir :

- une correction de +3°C sur la loi moyenne de prédiction du décalage de la RT_{NDT} et une correction de +3,4°C sur l'écart-type associé à cette loi moyenne pour les viroles de cuve (soit 6,8 °C pour deux écart-types). Ceci conduit à majorer de 10°C les RT_{NDT} des viroles de cuve et de 3°C celles des joints soudés,
- une ténacité non corrigée par le facteur $(L_R/L_D)^{1/4}$, où L_R est une longueur de référence égale à 100 mm, L_D est la longueur du défaut considéré.

L'IRSN en conclut qu'à VD3 + 5 ans, le risque de rupture brutale n'est pas exclu pour les cuves des réacteurs de Dampierre 4, Cruas 1, Cruas 2, Saint-Laurent B1 et Chinon B2 en cas de situations incidentelles et accidentelles (transitoires de petite brèche primaire 2'' et 3'', RTE et accident de perte de réfrigérant primaire). Les marges à la rupture sont également insuffisantes à VD3 + 5 ans pour les cuves de Saint-Laurent B1 et de Bugey 5 qui sont affectées de défauts.

En conclusion, pour les cuves ne respectant pas les critères réglementaires et par conséquent, ne présentant pas de marges suffisantes à l'égard du risque de rupture, l'IRSN recommande qu'EDF prenne les dispositions nécessaires pour restaurer les marges.

ANNEXE

LISTE DES RECOMMANDATIONS DE L'IRSN

Recommandation n° 1 :

L'IRSN recommande qu'EDF apporte la justification de l'amplitude des contraintes résiduelles retenue dans les joints soudés après le détensionnement thermique et l'épreuve hydraulique de la cuve.

Recommandation n° 2 :

Pour les analyses du risque de rupture par clivage, l'IRSN a noté qu'EDF prend en compte un facteur correctif sur la ténacité afin de s'affranchir des effets d'échelle dans le domaine de comportement fragile-ductile de l'acier de cuve. L'analyse menée par l'IRSN montre que la courbe de ténacité corrigée ne constitue pas une courbe enveloppe pour les données de ténacité du Programme de Surveillance de l'Irradiation (PSI) contrairement à la courbe du RCC-M et en particulier dans le cas du défaut détecté sur la cuve de la tranche 5 de Bugey. Pour l'IRSN, les analyses déterministes doivent reposer sur des démonstrations enveloppes, a fortiori pour la cuve dont les conséquences de la rupture n'ont pas été prises en compte dans les analyses de sûreté. L'IRSN estime que la courbe de ténacité doit être enveloppe et par conséquent, que l'application du facteur correctif d'EDF sur la ténacité n'est pas recevable. Par conséquent, l'IRSN recommande qu'EDF réévalue les marges obtenues à l'égard du risque de rupture par clivage en supprimant le facteur correctif appliqué sur la ténacité.

Recommandation n° 3 :

Pour les cuves ne respectant pas les critères réglementaires et, par conséquent, ne présentant pas de marges suffisantes à l'égard du risque de rupture, l'IRSN recommande qu'EDF prenne les dispositions nécessaires pour restaurer les marges.