

Avis de l'IRSN sur la tenue en service des cuves des réacteurs de 900 MWe, aspect neutronique et thermohydraulique

Par lettre du 19 février 2009, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé l'avis de l'IRSN sur les réponses apportées par EDF aux demandes de la Section Permanente Nucléaire (SPN) de la Commission Centrale des Appareils à Pression (CCAP) relatives à la tenue en service des cuves du palier de 900 MWe.

La démonstration par EDF de la tenue en service des cuves des réacteurs du palier de 900 MWe repose, pour ce qui concerne les zones du cœur, sur un certain nombre d'études regroupées dans une « affaire Parc ». L'examen de ces études a fait l'objet en 1999 puis en 2005 de deux réunions de la SPN. Cet examen et les suites données par l'ASN ont fait apparaître la nécessité de conforter les conclusions des analyses sur les points suivants :

- la neutronique,
- la thermohydraulique,
- le comportement des matériaux irradiés,
- le comportement mécanique.

En 2008, EDF a fourni un certain nombre d'éléments techniques destinés à compléter le dossier de tenue en service des cuves 900 MWe. L'analyse des réponses apportées par EDF aux demandes de l'ASN relatives au comportement des matériaux irradiés et au comportement mécanique a déjà fait l'objet de l'avis DSR 2009-369 du 15 décembre 2009.

Le présent avis complète cet avis en répondant au souhait de l'ASN de recueillir l'avis de l'IRSN aux deux premiers points, notamment :

- pour ce qui concerne la neutronique, sur l'actualisation des fluences reçues par les cuves ;
- pour ce qui concerne la thermohydraulique, sur l'exhaustivité des transitoires, les analyses de sensibilité et la qualification des codes de calcul. Par ailleurs, l'IRSN a analysé la robustesse de la démonstration de sûreté.

1- NEUTRONIQUE

EDF a transmis des éléments visant à justifier le respect de la valeur limite de fluence de $6,5 \cdot 10^{19} \text{n/cm}^2$ correspondant à une durée de fonctionnement de 40 ans pour toutes les cuves de réacteur du palier 900 MWe. EDF a également transmis des calculs de projections de fluence, aux échéances des troisièmes et quatrièmes visites décennales (VD3 et VD4). Par ailleurs, EDF a précisé sa stratégie de suivi de la fluence à partir des résultats actualisés à la VD3.

L'IRSN note que, selon les cuves, les valeurs d'augmentation de fluence actualisées sur la période entre 1997 et mi-2007 ont été inférieures de 25 % à 45 % aux valeurs attendues. L'IRSN considère donc que la mise en œuvre des plans de chargement visant à réduire la fluence a permis sur cette période de réduire significativement l'augmentation de la fluence.

L'IRSN note la proposition d'EDF de fournir tous les 3 ans, à partir de 2014, un bilan actualisé de fluence reçue pour toutes les cuves. EDF s'engage par ailleurs à actualiser la fluence à l'échéance de la VD3 de chaque cuve. Dans ce cadre, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF transmette la valeur moyenne du coefficient K_p évaluée sur les 5 dernières campagnes précédant la VD3 de chaque tranche.

L'IRSN considère que le nouveau programme d'EDF permet de réaliser un suivi affiné de l'évolution de la fluence et permet d'anticiper le risque de dépassement de la valeur limite de fluence à l'échéance des quatrièmes visites décennales.

Cependant, l'IRSN estime nécessaire de disposer, pour chaque cuve à l'échéance VD3, des éléments suivants :

- valeurs maximale, moyenne et minimale, pour chaque tranche, du coefficient de production K_p évaluées sur les 5 dernières campagnes précédant la VD3,
- valeurs maximale, moyenne et minimale, pour chaque tranche, du flux au point chaud sur les 5 dernières campagnes précédant la VD3.

Dans le cadre du suivi de l'irradiation après la VD3, l'IRSN estime nécessaire, pour l'ensemble des tranches, de disposer, selon le planning de réactualisation des tranches, aux échéances VD3 + 4, VD3 + 5 ou VD3 + 6 ans :

- des valeurs maximale, moyenne et minimale, pour chaque tranche, du coefficient K_p sur les 5 dernières campagnes,
- des valeurs maximale, moyenne et minimale, pour chaque tranche, du flux au point chaud sur les 5 dernières campagnes,

Ces résultats devront être transmis par EDF par lots regroupant les tranches par année calendaire de visite décennale. Concernant les calculs de projection effectués tous les 3 ans à partir de 2014, l'IRSN estime qu'il doit s'agir de projections à VD3+11 ans et non à VD4.

2 - THERMOHYDRAULIQUE

EDF rappelle que le dossier mis à jour en 2008 pour répondre à la demande issue de la SPN de 2005 a nécessité un important travail impliquant le constructeur, la R&D et l'ingénierie d'EDF, mettant en œuvre les meilleurs outils et connaissances en thermohydraulique (CATHARE, maquette HYBISCUS 1, recueil et dépouillement d'essais UPTF, calculs CFD avec STAR CD, calcul surface libre avec NEPTUNE_CFD, dossier de validation, sélection des transitoires, liaisons avec les études de surpression à froid, avec les études DRR, note sur le réchauffement de l'IS par la vapeur, etc). EDF estime que les éléments apportés en 2008 répondent aux demandes de la SPN de 2005.

EDF a également rappelé que, dans le cadre de son programme de travail « durée de fonctionnement », il développe avec AREVA les méthodes d'analyse des cuves pour la mise à niveau du dossier des cuves 1300 MWe à l'échéance de 2012 (en vue de leurs VD3), puis logiquement pour le dossier de fonctionnement au-delà de la VD4 des cuves de 900 MWe. Ces développements incluent certaines améliorations souhaitées par l'IRSN notamment pour la sélection des transitoires. EDF précise enfin que les améliorations complémentaires sur le volet thermohydraulique nécessitent des travaux difficiles dont l'aboutissement ne peut être immédiat.

L'IRSN souligne l'effort important consenti par EDF pour compléter le dossier de tenue en service des cuves entre 2005 et 2008 et prend note de la poursuite de son programme de travail relatif au palier de 1300 MWe. L'IRSN souligne que les résultats de ce programme de travail auront certainement des retombées génériques au niveau de la validation des codes et méthodes notamment. Toutefois, l'IRSN s'interroge sur la possibilité de valoriser à court terme ces développements pour la démonstration de sûreté de la tenue des cuves du palier 900 MWe.

2.1 - EXHAUSTIVITE DES TRANSITOIRES

Pour ce qui concerne l'exhaustivité des transitoires à prendre en compte dans la démonstration de tenue en service des cuves, l'IRSN estime :

- qu'EDF doit utiliser une approche systématique similaire à celle employée dans les EPS qui soit basée sur une analyse fonctionnelle et des arbres de défaillance, afin d'identifier toute combinaison d'évènements qui donnerait lieu à des transitoires de nature à solliciter la cuve. La mise en place de cette démarche permettrait d'assurer l'exhaustivité des transitoires à considérer.
- que la prise en compte de l'impact des modifications matérielles sur les transitoires doit faire l'objet d'un examen systématique. A cet égard, il conviendrait qu'EDF se fixe une règle de reprise des analyses quantitatives : la simulation de l'impact d'une modification matérielle devra être réalisée si la marge au critère de sûreté avant évolution est inférieure ou égale à une valeur prédéterminée.
- qu'EDF doit veiller à la cohérence du dossier « tenue en service des cuves » avec les dossiers dits « connexes » DRR (Dossier de référence Réglementaire), DDS (Dossier Des Situations), SAF (Surpressions à Froid) et RdS (Rapport de Sûreté), en particulier pour ce qui concerne l'intervalle des tailles des petites brèches primaires de 3ème catégorie à

considérer. En conséquence, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF complète, à la lumière de l'analyse réalisée pour le spectre de 2 à 3 pouces, son dossier de tenue en service des cuves par l'étude de brèches de diamètre équivalent allant jusqu'à 4 pouces.

2.2 - ETUDES DE SENSIBILITE

Pour ce qui concerne les études de sensibilité relatives aux scénarios de brèches primaires, l'IRSN tient à souligner l'évolution positive de l'ensemble du dossier au prix d'efforts importants de la part d'EDF.

Les études de sensibilité CATHARE ont notamment permis d'identifier 3 types de scénarios de choc froid (monophasiques ou faiblement diphasiques, fortement diphasiques et fortement diphasiques avec renoyage). Toutefois, l'IRSN estime que les études de sensibilité réalisées par EDF ne sont pas encore suffisamment exhaustives pour permettre de s'assurer du caractère enveloppe des transitoires retenus. L'IRSN note qu'EDF élaborera une méthode permettant d'identifier les paramètres thermohydrauliques et les configurations les plus sévères au regard de la sollicitation mécanique de la cuve.

Par ailleurs, l'IRSN constate que la méthode CREARE/VESTALE donne des résultats pénalisants mais qu'elle néglige un certain nombre de phénomènes physiques importants. De ce fait, elle ne permet pas de hiérarchiser les transitoires en fonction de leur sévérité et donc d'identifier les situations les plus limitatives. L'IRSN estime par conséquent nécessaire qu'EDF mette en œuvre une démarche permettant de hiérarchiser les transitoires et d'identifier les paramètres clés thermohydrauliques, à l'échéance de VD3 + 5 ans.

2.3 - VALIDATION DES CODES

L'évolution du dossier de validation du code STAR-CD est jugée positive par l'IRSN. En particulier, l'adoption d'une démarche de type « Identification des Phénomènes et Tabulation par Rang d'importance » (PIRT en anglais) combinée à une validation progressive de cas à complexité croissante est jugée très satisfaisante. Vis-à-vis de la cohérence des choix de modélisation, l'IRSN tient à souligner l'effort important consenti par EDF sur ce point tant au niveau des cas de validation qu'au niveau des cas d'application au réacteur.

La couverture des cas de validation par rapport aux phénomènes à simuler a été améliorée. Ainsi, des essais sur les boucles CREARE, DUPLEX, HYBISCUS et UPTF TRAM ont été exploités afin de valider la modélisation de différents phénomènes identifiés comme prépondérants vis-à-vis du choc froid. La capacité du code STAR-CD à simuler les phénomènes représentatifs du choc froid monophasique apparaît satisfaisante. Toutefois, l'IRSN note que certains compléments de validation restent à apporter, notamment vis-à-vis des écoulements tridimensionnels et des coefficients d'échange thermique à la paroi.

Par ailleurs, l'IRSN note que la simulation de l'essai UPTF joue un rôle fondamental dans la démonstration de la validation du code STAR-CD vis-à-vis du choc froid. L'IRSN estime que la validation de STAR-CD sur cette maquette requiert la maîtrise des paramètres clés, notamment le

débit de by-pass branche chaude/branche froide. En conséquence, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF apporte des éléments permettant de valider les valeurs de by-pass retenus dans les simulations de la maquette UPTF.

Enfin, l'IRSN estime que le dossier de validation du couplage Neptune_CFD - SYRTHES est encore insuffisant. En effet, il ne comporte qu'un seul cas de validation intégral, ce qui ne permet pas de s'assurer de la bonne réponse du code pour les différents phénomènes étudiés. L'IRSN estime que l'utilisation de ce code dans la démonstration de sûreté nécessitera au préalable qu'EDF complète son dossier de validation.

2.4 - DEMONSTRATION DE SURETE

La démonstration de sûreté repose sur l'innocuité des scénarios thermohydrauliques susceptibles d'affecter la résistance mécanique de la cuve. Les études réalisées par EDF ont permis d'identifier trois types de scénarios thermohydrauliques pénalisants :

- les scénarios monophasiques ou faiblement diphasiques (avec dénoyage limité de la branche froide) : Ces scénarios, réévalués à l'aide de simulations CFD (STAR-CD ou NEPTUNE_CFD - SYRTHES) considérées comme réalistes, permettent de démontrer le respect du critère suite à un gain notable sur les coefficients de sécurité minimaux atteints. L'IRSN estime que l'utilisation de codes réputés réalistes nécessite au préalable une évaluation des incertitudes associées. Dans l'attente de la quantification de ces incertitudes, il convient de pénaliser certains paramètres clés pour assurer le caractère enveloppe de la démonstration de sûreté. A ce titre, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF applique une pénalité sur les coefficients d'échange (paramètre clé) des simulations thermohydrauliques CFD afin de couvrir l'ensemble des incertitudes qu'elles introduisent. Le choix de la pénalité appliquée devra être justifié par EDF.
- les scénarios fortement dénoyés sans renoyage : l'IRSN note qu'aucune démonstration de sûreté n'est apportée pour ces scénarios. EDF estime que la prise en compte du réchauffement de l'IS par la vapeur présente dans les boucles du circuit primaire permettrait de respecter le critère. A cet égard, l'IRSN constate que ce réchauffement est difficile à apprécier et n'est aujourd'hui pas quantifié. Afin d'apporter la démonstration de sûreté, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF évalue, d'une part, quantitativement le réchauffement de l'IS par la vapeur sur la base des essais disponibles et, d'autre part, le réchauffement minimal de l'IS qui permettrait de respecter les critères pour les différents scénarios diphasiques identifiés. Les éléments permettant de juger du caractère transposable au réacteur des résultats expérimentaux devront aussi être apportés.
- les scénarios fortement dénoyés puis renoyés avec de l'eau froide : l'IRSN note qu'aucune démonstration de sûreté n'est apportée pour ces scénarios a priori les plus défavorables. L'IRSN estime nécessaire qu'EDF apporte la démonstration de l'exclusion de ces scénarios ou démontre que les critères sont respectés si l'exclusion ne peut être démontrée.

2.5 - CONCLUSION

En conclusion, compte tenu des réserves quant à la démarche et à la suffisance de la démonstration de sûreté exprimées ci-dessus, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF conforte le dossier de tenue en service des cuves en répondant aux recommandations formulées en annexe. Pour ce qui concerne les recommandations relatives à la démonstration de sûreté, l'IRSN estime qu'elles devraient être traitées sous 12 mois. Pour les autres recommandations, il serait souhaitable que leur instruction soit engagée sans tarder selon un échéancier à proposer par EDF afin qu'elle puisse avoir abouti à l'échéance VD3+5 ans.

ANNEXE 1 - RECOMMANDATIONS

Exhaustivité des transitoires

Recommandation n° 1 L'IRSN recommande qu'afin de s'assurer de l'exhaustivité des transitoires à prendre en compte dans la démonstration de « tenue en service des cuves », EDF mette en œuvre une approche systématique similaire à celle employée dans les EPS.

Recommandation n° 2 L'IRSN recommande qu'EDF précise les règles de reprise des analyses quantitatives en cas de modification impactant les transitoires. La simulation de l'impact d'une modification matérielle devra être réalisée si la marge au critère de sûreté avant évolution est inférieure ou égale à une valeur prédéterminée.

Etudes de sensibilité

Recommandation n° 3 L'IRSN constate que les études de sensibilité réalisées ne permettent pas de s'assurer du caractère enveloppe des transitoires retenus et que la méthode CREARE/VESTALE ne permet pas de hiérarchiser les transitoires en fonction de leur sévérité. En conséquence, l'IRSN recommande qu'EDF reprenne son analyse des transitoires pénalisants en améliorant sa méthode de hiérarchisation et complète ses études de sensibilité pour prendre en compte l'ensemble des paramètres influents, comprenant en particulier la taille de brèche (qui devrait aller jusqu'à 4 pouces) et les modèles pertinents de CATHARE.

Validation des codes

Recommandation n° 4 L'IRSN recommande qu'EDF complète la validation de la capacité du code STAR-CD à simuler les coefficients d'échange thermique à la paroi et les écoulements tridimensionnels dans les différentes zones d'intérêt, à savoir les branches froides et la descente annulaire.

Recommandation n° 5 Compte tenu du rôle fondamental de l'essai UPTF dans la validation du code STAR-CD vis-à-vis du choc froid, l'IRSN recommande qu'EDF apporte des éléments permettant de valider les valeurs de by-pass branches chaudes/branches froides retenues dans les simulations de la maquette UPTF.

Démonstration de sûreté

Recommandation n° 6 Dans l'attente de la quantification des incertitudes associées à l'utilisation de simulations thermohydrauliques CFD réputées réalistes, l'IRSN estime qu'il convient de pénaliser certains paramètres clés pour assurer le caractère enveloppe de la démonstration de sûreté. Ainsi, l'IRSN recommande que, pour les cas monophasiques ou faiblement dénoyés, EDF applique une pénalité sur les coefficients d'échange afin de couvrir l'ensemble des incertitudes liées aux simulations CFD. Le choix de la pénalité appliquée devra être justifié par EDF.

Recommandation n°7 L'IRSN recommande qu'EDF évalue, pour tous les scénarios diphasiques identifiés par le biais des études de sensibilité CATHARE, le réchauffement minimal de l'IS par la vapeur permettant de respecter les critères. En outre, l'IRSN recommande que, pour compléter la démonstration de sûreté pour ces cas, EDF évalue quantitativement ce réchauffement à partir des essais disponibles et le situe par rapport aux cas réacteurs pertinents en apportant les éléments de validation nécessaires à la transposition des résultats d'essais au réacteur.

Recommandation n°8 L'IRSN recommande qu'EDF apporte la démonstration de l'exclusion des scénarios avec fort dénoyage suivi d'un renoyage par de l'eau froide ou apporte la démonstration du respect des critères si ces scénarios ne peuvent être exclus.