



DIRECTION DES ÉQUIPEMENTS  
SOUS PRESSION NUCLÉAIRES

Montrouge, le 14 décembre 2015

N° Réf : **CODEP-DEP-2015-043888**

Monsieur le Président d'AREVA  
Tour AREVA  
92084 PARIS LA DEFENSE cedex

**Objet :** Evaluation de la conformité de la cuve de l'EPR de Flamanville 3  
Démarche de justification de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve

**Références :** Voir annexe 1.

Monsieur le Président,

Dans le cadre de la qualification technique des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3, la mise en évidence de valeurs de résilience inférieures aux critères fixés par le point 4 de l'annexe 1 de l'arrêté en référence [1] vous ont amené à proposer à l'ASN une démarche destinée à justifier la ténacité suffisante du matériau de ces composants.

J'ai demandé au Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires de me faire part de son avis sur :

- l'acceptabilité, sur le principe, d'une démarche visant à justifier du caractère suffisant de la ténacité des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 ;
- la notion de la ténacité suffisante du matériau proposée par AREVA et sa méthode de détermination ;
- la méthode de détermination de la ténacité minimale du matériau qui repose notamment sur un programme d'essais, en particulier sur la transposabilité aux calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 des résultats obtenus sur d'autres calottes ;
- la démarche de comparaison de la ténacité minimale du matériau et de la ténacité suffisante, notamment les critères associés.

Le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires s'est réuni le 30 septembre 2015 et a fait part à l'ASN de son avis et de ses recommandations en référence [2].

Vous trouverez en annexe les demandes détaillées de l'ASN qui en résultent.

\*  
\* \*

Vous avez proposé une démarche visant à justifier le caractère suffisant de la ténacité du matériau des calottes de l'EPR de Flamanville 3. L'ASN considère que la démarche de justification proposée, qui consiste à déterminer une ténacité suffisante et à vérifier qu'elle est inférieure à la ténacité du matériau, est appropriée pour autant que le phénomène en cause soit identifié et expliqué et que la connaissance des propriétés mécaniques soit suffisante.

Toutefois, l'ASN souligne que la démarche de justification proposée repose sur l'hypothèse de propriétés mécaniques satisfaisantes à mi-épaisseur, notamment en matière de résilience. Dans le cas où cette hypothèse ne serait pas confirmée par les résultats des essais réalisés sur les calottes sacrificielles, votre dossier de justification devra être revu.

\*  
\* \*

L'ASN considère que le programme d'essais proposé sur deux calottes sacrificielles devrait permettre d'apprécier l'étendue et la profondeur de la zone ségréguée ainsi que son influence sur les propriétés mécaniques.

Ainsi, sous réserve de la prise en compte des éléments figurant en annexe, je considère acceptable dans son principe la démarche que vous proposez pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 et je ne formule pas d'objection au lancement du programme d'essais tel que prévu dans les notes en références [3] à [8].

Je vous informe que l'ASN mandatera un organisme pour la surveillance de l'ensemble des opérations appelées par votre démarche de justification.

Je vous demande de tenir l'ASN informée dans les meilleurs délais de toute anomalie dans le déroulement des opérations du programme d'essais et, de manière globale, de l'avancement et des résultats au fur et à mesure de la mise en œuvre de la démarche.

\*  
\* \*

Je note que vous envisagez de poursuivre les opérations de fabrication sur le couvercle (épreuve hydraulique, soudage des fermetures d'adaptateurs d'instrumentation, expédition sur site, habillage, calorifugeage...) sans attendre les résultats des essais qui seront réalisés sur les calottes sacrificielles.

Je note également que les conditions opératoires spécifiques prévues pour l'épreuve hydraulique du couvercle ont été définies pour tenir compte de la présence de ségrégations majeures positives.

Je partage votre constat selon lequel aucun contrôle complémentaire à ceux déjà réalisés, en lien avec la démarche de justification de la présence de ségrégations majeures positives, n'est envisageable sur le couvercle de la cuve.

Ainsi, sans préjuger des résultats de la démarche de justification de son aptitude au service, je n'ai pas d'objection à la poursuite des opérations de fabrication sur le couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3. Je vous rappelle toutefois qu'on ne peut pas exclure que l'instruction conduise à ne pas accepter le couvercle et le fond de cuve.

C'est pourquoi je considère nécessaire que vous étudiez dès à présent l'ensemble des scénarios techniques alternatifs, tels que le remplacement du fond de cuve et la fabrication d'un nouveau couvercle.

\*  
\* \*

La présence des ségrégations, à l'origine du non-respect des valeurs de résilience mentionnées dans l'arrêté en référence [1], découle du procédé, retenu par AREVA et son fournisseur Creusot Forge. Celui-ci repose sur l'utilisation de lingots de fort tonnage et conduit à une élimination insuffisante des ségrégations dans le composant final pour garantir les propriétés minimales attendues pour la conception de l'équipement.

Je considère que le dossier de qualification technique que vous avez présenté pour les calottes du fond et du couvercle de la cuve de Flamanville 3 montre que le risque d'hétérogénéité dû aux ségrégations majeures positives résiduelles, phénomène métallurgique connu, a été mal apprécié et ses conséquences mal quantifiées.

Je considère donc que l'exigence de qualification technique n'est pas respectée et que vous n'avez pas fait le choix de la meilleure technique disponible pour la réalisation des calottes de la cuve de l'EPR. Vous devrez en conséquence déposer une demande au titre de l'article R. 557-1-3 du code de l'environnement. Cette demande devra être justifiée au regard de solutions alternatives telles que le remplacement du fond de cuve et la fabrication d'un nouveau couvercle, et devra intégrer des mesures compensatoires vis-à-vis de l'impact de ces écarts sur le premier niveau de la défense en profondeur.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de ma considération distinguée.

**Le Président  
de l'Autorité de sûreté nucléaire**

SIGNE PAR

**Pierre-Franck CHEVET**

## Annexe 1 à la lettre CODEP-DEP-2015-043888

### Références

- [1] Arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux équipements sous pression nucléaires
- [2] Lettre CODEP-MEA-2015-040055 du 1<sup>er</sup> octobre 2015 – Avis et recommandations du Groupe permanent d'experts « Equipements sous pression nucléaires » du 30 septembre 2015
- [3] Note TTZSGN/NCR0003 révision A : « Procédure de traitement thermique de détensionnement simulé »
- [4] Note PFCSGN/NCR0003 révision B : « Programme d'essais sur pièce sacrificielle : première phase »
- [5] Note MDHTDM DT 15.020 révision A : « Programme d'essais sur calotte sacrificielle: détermination de la zone ségréguée majeure positive en carbone dans l'épaisseur »
- [6] Note PFCSGN/NCR0002 révision D : « Programme d'essais sur calotte sacrificielle: essais mécaniques »
- [7] Note PFCSGN/NCR0004 révision A : « Découpe de la zone ségréguée UK supérieure pour cartographie Carbone »
- [8] Note PFCSGN/NCR0005 révision A : « Première étape du programme d'essai sur pièce sacrificielle UA inférieure »
- [9] ARR-DEP-2015-00354 du 11 septembre 2015 – Engagements AREVA relatif au projet de rapport au GP ESPN

**Demandes complémentaires**

**A. Qualification technique et choix du procédé de fabrication des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3**

L'ASN considère que la présence d'une zone de ségrégation majeure positive dans les calottes du fond et du couvercle de cuve de l'EPR de Flamanville 3 découle du procédé retenu, qui n'a pas permis de garantir les propriétés minimales attendues pour la conception de l'équipement.

L'ASN note que le procédé retenu, même si une réflexion a été menée pour placer la zone de ségrégation, dans chacune des deux calottes, à un endroit minimisant les inconvénients, a conduit à la présence dans la pièce finie d'une zone de ségrégation majeure positive atteignant un taux de ségrégation de 50 %.

L'ASN note que d'autres procédés de fabrication, notamment celui mis en œuvre pour les calottes de cuve de l'EPR d'Olkiluoto 3, auraient permis d'éviter le phénomène de ségrégation majeure positive constaté.

L'ASN considère que le dossier de qualification technique des calottes du fond et du couvercle de la cuve de Flamanville 3 montre que le risque d'hétérogénéité dû aux ségrégations majeures positives résiduelles, phénomène métallurgique connu, a été mal apprécié et ses conséquences mal quantifiées.

**L'ASN considère que l'exigence de qualification technique n'est pas respectée et qu'AREVA n'a pas fait le choix de la meilleure technique disponible pour la réalisation des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3. Ces constatations affectent le premier niveau de défense en profondeur, qui vise à assurer la garantie d'un haut niveau de qualité de conception et de fabrication de la cuve destinée à l'EPR de Flamanville 3.**

**B. Détermination de la ténacité suffisante**

***1. Etat des calottes de l'EPR de Flamanville 3***

L'ASN note que les contrôles réalisés n'ont pas conduit à la détection de défauts dans les calottes de l'EPR de Flamanville 3.

L'ASN n'a pas de remarque particulière sur les essais non destructifs que vous avez réalisés pour la détection de défauts non débouchants et leurs performances.

Toutefois, l'ASN considère que le contrôle par ressuage que vous avez réalisé ne permet pas de s'assurer de l'absence de défauts débouchants de faibles dimensions, désorientés, éventuellement remplis d'oxyde et pouvant présenter une surface lisse.

**Demande n° 1 : L'ASN vous demande de réaliser sur le fond de cuve des essais non destructifs de surface, autres que le ressuage, complémentaires de ceux déjà réalisés dans le cadre de la fabrication pour conforter l'absence de défauts, avec une démarche de type qualification conventionnelle d'essai non destructif.**

## ***2. Analyse dans le domaine fragile et dans le domaine de la transition fragile-ductile***

### **a. Défaut analysé**

L'ASN considère que « l'analyse détaillée » de l'annexe ZG du RCC-M est acceptable pour déterminer une ténacité suffisante permettant de déduire la température minimale pour se prémunir du risque de rupture brutale en situation d'épreuve hydraulique.

**A ce titre, l'ASN note que vous avez prévu de déterminer la température des épreuves hydrauliques sur la base d'une « analyse détaillée », conformément à l'annexe ZG 4000 du code RCC-M, dans la mesure où une « analyse conventionnelle », conformément à l'annexe ZG 3000, conduirait à une température industriellement contraignante ou présentant des risques pour la sécurité des intervenants.**

L'ASN note également votre engagement en référence [9] visant à compléter le dossier d'analyse de risque de rupture brutale par des évaluations des situations de fonctionnement prenant en compte un défaut correspondant à une « analyse conventionnelle » au titre d'études de sensibilité.

### **b. Situations et charges**

L'ASN prendra ultérieurement position sur la liste des situations à examiner pour s'assurer du respect des critères associés à la démonstration de la tenue en service de la seconde barrière de confinement.

L'ASN souligne d'ores et déjà que la sélection des situations limitatives et des chargements sollicitants a été menée par AREVA en supposant que l'impact de la zone ségréguée s'étend depuis la surface externe de chaque calotte sans dépasser la mi-épaisseur.

**Demande n° 2: L'ASN vous demande de valider, au travers du programme d'essais, l'hypothèse selon laquelle les propriétés mécaniques de résilience des calottes à partir de la mi-épaisseur vers l'intérieur de la cuve sont supérieures à 60 joules à 0°C. A défaut, l'ASN vous demande de compléter la liste des situations et le dossier de justification, en analysant notamment d'autres transitoires.**

### **c. Vieillissement**

L'ASN note que la fluence dans les zones considérées n'est pas de nature à conduire à des dommages dus à l'irradiation.

L'ASN note votre engagement en référence [9] de fournir, en lien avec EDF, un dossier fondé sur des résultats d'essais, permettant de statuer sur la nécessité d'engager un programme spécifique sur le vieillissement thermique des pièces fortement ségréguées.

## ***3. Analyse dans le domaine ductile***

**Demande n° 3: L'ASN vous demande de démontrer au travers des résultats d'essais que le matériau présente dans le domaine ductile un comportement suffisamment ductile et tenace compatible avec les règles de conception utilisées.**

## **C. Détermination de la ténacité minimale et des propriétés mécaniques du matériau**

### ***1. Représentativité de la calotte supérieure UK et de la calotte inférieure UA***

L'ASN considère que les calottes supérieure UK et inférieure UA sont représentatives de la calotte supérieure de Flamanville 3 au vu de leur composition chimique à la coulée et mesurée sur pièce, de leur gamme de fabrication et des niveaux de carbone relevés en surface.

L'ASN note que les mesures de concentration en carbone réalisées jusqu'à présent ne permettent pas d'apprécier la profondeur de la zone ségréguée dans la calotte inférieure destinée à l'EPR de Flamanville 3. Par ailleurs, l'ASN considère que le programme de caractérisation des propriétés mécaniques de la zone ségréguée ne peut se limiter à déterminer les propriétés d'un matériau issu d'un seul composant.

**Ainsi, l'ASN note votre engagement en référence [9] visant à réaliser une caractérisation chimique et un programme d'essais mécaniques sur la calotte inférieure UA identiques à ceux qui seront réalisés sur la calotte supérieure UK.**

Si les résultats d'essais mettent en évidence que les propriétés mécaniques sont affectées par un autre phénomène que la présence d'une ségrégation majeure positive, l'ASN considère que vous devrez apporter la démonstration que les calottes UK et UA sont représentatives de celles de Flamanville 3 au regard du nouveau phénomène constaté.

### ***2. Traitement thermique***

Dans la mesure où votre objectif est de déterminer les propriétés du matériau de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 dans le cadre de son exploitation, l'ASN considère qu'un traitement thermique équivalent à celui subi par cette cuve doit être appliqué aux pièces dans lesquelles seront prélevées les éprouvettes.

**A ce titre, l'ASN note votre engagement en référence [9] de réaliser un traitement thermique de détensionnement simulé sur les coupons d'essais issus des calottes UA inférieure et UK supérieure.**

### ***3. Suffisance du nombre d'essais***

L'ASN considère que les zones ségréguées doivent faire l'objet d'une caractérisation approfondie. L'ASN considère que la suffisance du programme d'essais ne pourra être complètement appréciée qu'*a posteriori*, après le dépouillement et l'interprétation des résultats d'essais.

**Demande n° 4: L'ASN vous demande d'identifier et conserver l'ensemble de la matière (éprouvettes, chutes...) issue des calottes pour d'éventuelles investigations complémentaires.**

### ***4. Interprétation des résultats d'essais***

L'ASN considère que les analyses chimiques prévues sur chaque éprouvette rompue au plus près de la zone de rupture permettront de s'assurer que le programme d'essais caractérise effectivement la zone ségréguée.

L'ASN considère que les macrographies et micrographies devront permettre de caractériser la structure du matériau ségrégué et qu'une analyse des faciès de rupture des éprouvettes doit être réalisée, pour s'assurer que l'on est en présence de structures et de comportements connus.

**Demande n° 5 :** L'ASN vous demande de préciser, avant l'engagement du programme d'essais et après la caractérisation de l'étendue de la zone ségréguée, la localisation des macrographies et micrographies. L'ASN vous demande également d'analyser les faciès de rupture des éprouvettes.

L'ASN note que les éprouvettes seront positionnées en tenant compte du résultat de la cartographie chimique par spectrométrie en surface des huit tranches destinées aux essais mécaniques (traction, résilience et ténacité).

**Demande n° 6 :** L'ASN vous demande de lui présenter, avant sa mise en œuvre, le plan de prélèvement que vous envisagerez à la suite de ces cartographies chimiques.

### ***5. Choix du laboratoire***

L'ASN considère que l'accréditation selon la norme NF EN ISO 17025 du laboratoire d'Erlangen, retenu par vos services pour les essais mécaniques à l'exception des essais Pellini, apporte des garanties satisfaisantes en matière de savoir-faire technique et de quantification des incertitudes. De plus, l'ASN note que ce laboratoire intervient dans des programmes d'expertise pour des réacteurs nucléaires étrangers (Doel 3, Tihange 2 et Olkiluoto 3 notamment).

L'ASN considère que les essais Pellini devront être réalisés dans des conditions permettant leur comparaison avec ceux réalisés précédemment sur le parc français en exploitation.

**Demande n° 7 :** L'ASN vous demande de faire réaliser les analyses chimiques par un laboratoire accrédité selon la norme NF EN ISO 17025.

L'ASN considère que la réalisation d'une partie des essais mécaniques par un laboratoire indépendant du groupe AREVA renforcerait la robustesse des résultats du programme d'essais et la confiance dans leur impartialité.

**Demande n° 8 :** L'ASN vous demande de faire réaliser une partie des essais mécaniques, à l'exception des essais Pellini, par un laboratoire accrédité selon la norme NF EN ISO 17025 indépendant du groupe AREVA.

\*\*\*\*\*

### **D. Comparaison de la ténacité minimale du matériau à la ténacité suffisante**

L'ASN considère qu'il convient de comparer les propriétés de l'acier des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 dans la zone ségréguée aux propriétés observées dans les zones de recette. Lors des essais de recette des calottes de cuve, il a pu être constaté que la  $RT_{NDT}^1$  est identique à la  $T_{NDT}^2$  comme cela est courant pour un acier de type 16MND5. L'ASN considère nécessaire de comparer la  $T_{NDT}$  mesurée localement dans la zone de ségrégation majeure positive à la valeur de  $RT_{NDT}$  mesurée dans la zone de recette.

Il convient par ailleurs de s'assurer que l'acier des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 dans la zone ségréguée présentera en fin de vie une ténacité suffisante.

---

<sup>1</sup> Température de référence de transition à ductilité nulle

<sup>2</sup> Température de transition à ductilité nulle



**Demande n° 9 :** L'ASN vous demande d'apprécier :

- le caractère enveloppe de la courbe ZG 6110 du RCC-M indexée sur la  $RT_{NDT}$  de fin de vie retenue à la conception, diminuée du décalage lié au vieillissement thermique et sous déformation ainsi que de la différence maximale entre la  $RT_{NDT}$  de recette des calottes de Flamanville 3 et celle de chacune des deux calottes sacrificielles, vis-à-vis des valeurs de ténacité mesurées ;
- la cohérence de la  $T_{NDT}$  locale avec la valeur retenue à la conception.

Par ailleurs, les essais mécaniques qui seront réalisés sur le matériau en zone ségrégée des deux calottes sacrificielles permettront de déterminer différentes températures d'indexation, notamment :

- une température d'indexation permettant d'envelopper les mesures de ténacité en zone ségrégée (température la plus basse permettant à la courbe de l'annexe ZG 6110 du RCC-M d'envelopper les mesures réalisées en zone ségrégée) ;
- une température d'indexation résultant de la démarche figurant au paragraphe MC 1230 du code RCC-M (c'est-à-dire la température de transition à ductilité nulle  $T_{NDT}$  déterminée à l'aide d'essais Pellini,) en zone ségrégée ;
- une température d'indexation résultant de la démarche figurant au paragraphe MC 1240 du code RCC-M (c'est-à-dire la  $RT_{NDT}$ , déterminée à l'aide de la  $T_{NDT}$  et d'essais Charpy) en zone ségrégée.

**Demande n° 10 :** L'ASN vous demande de déterminer :

- la température d'indexation permettant d'envelopper les mesures de ténacité en zone ségrégée ;
- la température d'indexation résultant des essais Pellini en zone ségrégée ;
- la température d'indexation résultant des essais Charpy en zone ségrégée, dans le cas où la  $RT_{NDT}$  locale ne serait pas égale à la  $T_{NDT}$  locale.

L'ASN vous demande, le cas échéant, de fournir des éléments d'interprétation de la différence entre la  $T_{NDT}$  locale et la  $RT_{NDT}$  locale.

**Demande n° 11 :** L'ASN vous demande de vérifier que la température d'indexation permettant d'envelopper les mesures de ténacité en zone ségrégée est inférieure aux deux autres températures d'indexation mentionnées à la demande n° 10.

Les analyses de mécanique à la rupture permettront par ailleurs de déterminer par calcul une température d'indexation maximale admissible pour prévenir le risque de rupture brutale lors des épreuves hydrauliques avec les marges appropriées.

**Demande n° 12 :** L'ASN vous demande de vérifier que les températures d'indexation déterminées par le programme d'essais sont inférieures à la température d'indexation maximale admissible qui résulte des analyses de mécanique à la rupture.

L'ASN considère que le non-respect des critères mentionnés aux demandes n° 11 et 12 remettrait en cause les fondements de la démarche de justification proposée par AREVA.

### **E. Conséquence de la démarche de justification sur la déclinaison du principe de défense en profondeur**

L'ASN note que la démarche de justification que vous proposez est une analyse du comportement mécanique à la rupture brutale des calottes du fond et du couvercle de la cuve de Flamanville 3, fondée sur des essais menés sur deux pièces sacrificielles représentatives. Cette démarche est susceptible de mettre en évidence que le procédé de fabrication confère au matériau des propriétés mécaniques d'un niveau suffisant pour prévenir les risques redoutés.

Toutefois, l'ASN considère que cette démarche seule ne permettra pas de restaurer la garantie sur la robustesse du premier niveau de défense en profondeur qu'aurait apportée une qualification technique conforme aux standards actuels.

**Demande n° 13 :** L'ASN vous demande de proposer des mesures renforcées de contrôle de mise en service, d'exploitation et de suivi en service adaptées à la situation rencontrée et les reporter dans la notice d'instruction de l'équipement.

### **F. Autres demandes**

Etant donné les enjeux de sûreté associés à la cuve de l'EPR de Flamanville 3, et sans préjuger des résultats des essais qui sont à mener et de leur interprétation, l'ASN considère nécessaire d'étudier l'ensemble des scénarios techniques alternatifs.

**Demande n° 14 :** L'ASN vous demande de réaliser, en lien avec l'exploitant, une étude technique des scénarios d'extraction du corps de cuve du puits du bâtiment réacteur et de remplacement de la calotte du fond de la cuve. Cette étude devra analyser les avantages et inconvénients pour la qualité de réalisation et la sûreté de l'installation.

Par ailleurs, le couvercle de la cuve est un composant qui peut être remplacé.

**Demande n° 15 :** L'ASN vous demande, sans préjuger des résultats de la campagne d'essais mécaniques à venir, d'étudier dès à présent la fabrication d'un nouveau couvercle de cuve en tenant compte du retour d'expérience en matière de conception et de fabrication de l'actuel.