

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

**Avis relatif  
à la démarche proposée par AREVA pour justifier de la  
ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de  
la cuve de l'EPR de Flamanville 3**

Réunion tenue à Montrouge le 30/09/2015

**I**

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), par sa lettre CODEP-DEP-2015-038781 du 22 septembre 2015, le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires s'est réuni le 30 septembre 2015 avec la participation de membres du groupe permanent pour les réacteurs et en présence des observateurs invités par l'ASN pour analyser la démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3. Cette justification fait suite à l'obtention, dans le cadre de la démonstration du respect de la qualification technique, de valeurs de résilience inférieures aux critères fixés par le point 4 de l'annexe 1 de l'arrêté du 12 décembre 2005.

**II**

Le Groupe permanent a pris connaissance des conclusions de l'examen, par le rapporteur, des éléments apportés par AREVA concernant la démarche adoptée pour justifier de la ténacité suffisante du matériau des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville. Le Groupe permanent a notamment examiné :

- 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 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.

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

Le Groupe permanent constate 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 par AREVA et son fournisseur Creusot Forge, utilisant des lingots de fort tonnage sans élimination suffisante des ségrégations dans le composant final.

Le Groupe permanent 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 en 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 %.

Le Groupe permanent note que d'autres procédés de fabrication, notamment celui mis en œuvre pour les calottes de cuve de l'EPR finlandais, auraient permis d'éviter le phénomène de ségrégation majeure positive constaté.

Le Groupe permanent considère que le dossier de qualification technique présenté par AREVA pour les calottes du fond et du couvercle de la cuve de Flamanville 3 montre que le risque d'hétérogénéité dû aux ségrégations résiduelles positives, phénomène métallurgique connu, a été mal apprécié et ses conséquences mal quantifiées. La qualification technique n'a pas abouti à des résultats conformes aux standards résultant des travaux du début des années 2010 sur ce sujet.

## **B. Principe de la démarche de justification**

Le Groupe permanent considère que le principe de justification proposé par AREVA qui consiste à déterminer une ténacité suffisante et à vérifier qu'elle est inférieure à la ténacité du matériau est approprié, pour autant que le phénomène en cause soit connu et maîtrisé et qu'une connaissance suffisante des propriétés mécaniques existe.

## **C. Détermination de la ténacité suffisante**

### **Etat des calottes**

Le Groupe permanent note que les contrôles réalisés n'ont pas conduit à la détection de défauts dans les calottes concernées, ce qui constituera un élément important dans l'appréciation de la situation.

Il n'a pas de remarque particulière sur les essais non destructifs réalisés par AREVA pour la détection de défauts non débouchants et leurs performances.

Le Groupe permanent formule toutefois la recommandation n° 1 en ce qui concerne les contrôles de surface.

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

#### Situations et charges

Le Groupe permanent note que, à ce stade, la liste des situations à examiner pour s'assurer du respect des critères associés à la seconde barrière n'est pas validée.

Le Groupe permanent souligne de plus que la sélection des situations limitatives et des chargements sollicitants présentée par AREVA a été menée en supposant que la baisse de ténacité due à la zone ségréguée s'étend de la surface externe de chaque calotte jusqu'à la mi-épaisseur.

Le Groupe permanent considère que l'hypothèse selon laquelle les propriétés mécaniques des calottes à partir de la mi-épaisseur vers l'intérieur de la cuve sont supérieures à 60 joules devra être validée par le programme d'essais. A défaut, d'autres transitoires devront être analysés et la démarche de justification complétée.

#### Vieillessement

Le Groupe permanent partage la position d'AREVA sur le fait que la fluence dans les zones considérées n'est pas de nature à conduire à des dommages dus à l'irradiation. Il note qu'AREVA s'engage, en lien avec EDF, à fournir 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. Le Groupe permanent réexaminera cette question s'il apparaît que le matériau considéré est mal couvert par les essais disponibles.

### **Analyse dans le domaine ductile**

Le Groupe permanent considère nécessaire de s'assurer que le matériau présente dans le domaine ductile un comportement suffisamment ductile et tenace compatible avec les règles de conception utilisées.

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

### **Représentativité de la calotte supérieure UK**

Le Groupe permanent considère que la calotte supérieure UK est représentative 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.

Le Groupe permanent note que les mesures de concentration en carbone réalisées jusqu'alors ne permettent pas d'apprécier la profondeur de la zone ségrégée positive dans la calotte inférieure destinée à Flamanville 3. Par ailleurs, le Groupe permanent considère que le programme de caractérisation des propriétés mécaniques de la zone ségrégée ne peut se borner à déterminer les propriétés d'un matériau issu d'un seul composant.

A cet égard, le Groupe permanent estime satisfaisant l'engagement d'AREVA 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.

### **Traitement thermique**

Dans la mesure où l'objectif d'AREVA est de déterminer les propriétés du matériau de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 dans le cadre de son exploitation, le Groupe permanent considère qu'un traitement thermique équivalent à celui subi par cette cuve doit être appliqué à la pièce dans laquelle seront prélevées les éprouvettes. A ce titre, le Groupe permanent juge satisfaisant l'engagement d'AREVA.

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

Le Groupe permanent considère que les zones ségrégées doivent faire l'objet d'une caractérisation approfondie. Le Groupe permanent 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. Par ailleurs, le Groupe permanent considère que l'ensemble de la matière (éprouvettes, chutes...) issue des calottes supérieure UK et inférieure UA devra être identifié et conservé pour d'éventuelles investigations complémentaires.

### **Interprétation des résultats d'essais et choix des laboratoires**

Le Groupe permanent 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 bien la zone ségrégée.

Le Groupe permanent considère que les macrographies et micrographies prévues par AREVA devront permettre de caractériser la structure du matériau ségrégé, 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.

Si les résultats d'essais mettent en évidence que les propriétés mécaniques sont dégradées par un autre phénomène que la présence d'une ségrégation majeure positive, le Groupe permanent considère qu'AREVA devra montrer que les calottes UK et UA sont représentatives de celles de Flamanville 3 au regard du nouveau phénomène constaté.

Le Groupe permanent considère que l'accréditation du laboratoire d'Erlangen, retenu par AREVA 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, le Groupe permanent note que ce laboratoire intervient dans des programmes d'expertise et de recherche pour des réacteurs nucléaires étrangers (Doel 3, Tihange 2 et Olkiluoto 3).

Le Groupe permanent considère que les essais Pellini doivent être réalisés dans des conditions permettant leur comparaison avec ceux réalisés précédemment sur le parc français en exploitation.

Il note que l'ensemble des analyses et essais feront l'objet d'une surveillance spécifique par un organisme.

Il formule la recommandation n° 2.

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

Après analyse des propositions d'AREVA et des recommandations du rapporteur, le Groupe permanent formule les recommandations n° 3 et 4.

### **IV**

Sous réserve de la prise en compte des recommandations n° 1 à 4, le Groupe permanent considère acceptable la démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3.

Le respect du critère de ténacité dans le domaine de transition, le bon comportement au palier ductile, l'absence d'anomalie lors des essais et contrôles, le respect du critère de résilience à mi-épaisseur et l'adéquation du choix des situations étudiées sont des points restant à vérifier pour pouvoir conclure sur l'aptitude au service des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3.

Le Groupe permanent note que la démarche de justification qu'AREVA propose 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 pourrait mettre en évidence que le procédé de fabrication confère au matériau des propriétés mécaniques d'un niveau suffisant pour prévenir les risques redoutés.

Toutefois, le Groupe permanent considère que cela ne permettra pas de restaurer la garantie sur le premier niveau de défense en profondeur qu'aurait apportée une qualification technique conforme aux standards actuels.

Le Groupe permanent considère en conséquence, en cohérence avec son avis de 2011, que le dossier doit s'accompagner de propositions de mesures d'exploitation ou de suivi en service adaptées à la situation rencontrée et les reporter, le cas échéant, dans la notice d'instruction de l'équipement. Il souhaite les examiner à la lumière des résultats des essais qui seront réalisés.

## Recommandations

### Recommandation n°1

Le Groupe Permanent recommande qu'AREVA réalise 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, dans une démarche de type qualification conventionnelle d'essai non destructif.

### Recommandation n°2

Le Groupe permanent recommande qu'AREVA :

- précise, avant l'engagement du programme d'essais et après la caractérisation de l'étendue de la zone ségrégée, la localisation des macrographies et micrographies ;
- analyse les faciès de rupture des éprouvettes ;
- fasse réaliser les analyses chimiques par un laboratoire accrédité.

### Recommandation n°3

Le Groupe permanent recommande que la démarche de justification repose d'abord sur la vérification que les valeurs de ténacité restent enveloppées par la courbe ZG6110 du RCC-M indexée sur 0°C et que la TNDT locale reste cohérente avec les valeurs de conception.

### Recommandation n°4

Le Groupe permanent recommande qu'en cas d'échec de cette première démarche, AREVA détermine :

- une température d'indexation permettant d'envelopper les mesures de ténacité en zone ségrégée ;
- une température d'indexation résultant des essais Pellini en zone ségrégée ;
- une température d'indexation résultant des essais Charpy en zone ségrégée ;
- une température d'indexation résultant d'une température de réépreuve admissible en pratique avec les marges appropriées ;

et fournisse des éléments d'interprétation complémentaires au cas où ces quatre températures ne seraient pas classées dans cet ordre.