

Source : <https://www.sortirdunucleaire.org/Commentaires-sur-la-cuve-de-l-EPR-de-Flamanville>

Réseau Sortir du nucléaire > Informez

vous > Nos dossiers et analyses > Réacteur EPR : un fiasco monumental > **Commentaires sur la cuve de l'EPR de Flamanville**

12 juillet 2017

# Commentaires sur la cuve de l'EPR de Flamanville

Par le Réseau "Sortir du nucléaire "

**Porté par les représentants des groupes participants à la journée de dialogue technique Anccli - IRSN - ASN - Cli de Flamanville du 5 juillet 2017 : Aceve, SDN Touraine, SDN Berry-Giennois-Puisaye, STOP EPR.**

Ce document compile plusieurs commentaires et observations faites sur la base des données fournies par Areva, l'ASN et l'IRSN concernant l'analyse des conséquences des anomalies de la cuve destinée au réacteur EPR de Flamanville.

En reprenant différentes citations issues des documents techniques mis à disposition du public (documents listés ci-dessous), nous tenons à **mettre en avant la faiblesse de la qualité scientifique** des démonstrations qui y sont présentées. Les **approximations** contenues dans ces documents et les **incertitudes** inhérentes aux justifications avancées et aux méthodes choisies sont **si nombreuses qu'il n'est pas possible d'accepter un fonctionnement avec cette cuve**. Si l'on adopte la devise de l'Anccli, « La sûreté n'a pas de prix », il n'est tout simplement pas possible d'accepter cet état de sûreté dégradée, connu de tous, et s'il y a un accident, soyons certains que cet accident pourra être majeur.

---

Documents sur lesquels sont basés ces commentaires :

- ▶ [Rapport ASN-IRSN au groupe permanent d'experts](#) (26 juin)
- ▶ [Avis du groupe d'experts](#) (27 juin)
- ▶ [Fiche pédagogique de l'IRSN](#) (28 juin)

▶ [Fiche technique de l'IRSN](#) (28 juin)

▶ [Note AREVA : synthèse sur la ténacité des calottes de la cuve EPR](#)

Pour faciliter la lecture, ces commentaires sont présentés sur la base de la fiche pédagogique de l'IRSN, le paragraphe incriminé étant reproduit dans cette note. Mais, à chaque étape, le commentaire s'appuiera sur des citations issues des autres documents (dont la référence est clairement indiquée).

**Les commentaires présentés dans ce document sont articulés en 4 parties :**

- ▶ Sur la teneur en carbone des calottes ;
- ▶ Sur la représentativité des calottes sacrificielles ;
- ▶ Sur la ténacité et la résilience de l'acier des calottes ;
- ▶ Sur l'évaluation du risque de rupture brutale

## **1. SUR LA TENEUR EN CARBONE DES CALOTTES DE CUVE**

---

### **1.1 Ségrégation du carbone et teneur en carbone**

Ces deux termes sont régulièrement utilisés dans le document.

La **ségrégation du carbone** est le taux de carbone dans l'acier dans une pièce ou un endroit de cette pièce, ramené à la valeur moyenne de ce taux de la coulée du lingot de l'acier de la pièce considérée [1]. Cette grandeur peut donc être positive ou négative.

La **teneur en carbone** dans une pièce ou une partie de cette pièce est le pourcentage en masse du carbone dans cette pièce ou cet élément.

Le **taux de ségrégation** est la valeur en % du rapport de la valeur de la teneur en carbone d'une pièce ou d'une partie de pièce à la valeur de référence de la teneur en carbone de la coulée.

Le document « Note AREVA » (pgr 2.1) indique que les lingots de l'acier « comportent des hétérogénéités macroscopiques correspondant à la ségrégation majeure du carbone, essentiellement, et des autres éléments d'alliage dans une bien moindre mesure ». Il signale également la possibilité de « veines sombres » dans l'acier, causées par la présence de manganèse et de nickel [2].

Notons que le « dans une moindre mesure » n'est pas quantifié et qu'il n'est fait mention nulle part dans ce document des effets éventuels de ces corps sur la ténacité et la résilience, en particulier dans les différences possibles entre l'acier des calottes de FA3 et de celui des pièces sacrificielles.

Les valeurs des ségrégations et des concentrations de carbone sont très utilisées dans ce document, notamment lors des comparaisons entre les pièces sacrificielles entre elles et celles de FA3. On suppose alors que les ségrégations de carbone des coulées (et une teneur en carbone proche de 0,18%) sont les mêmes pour les différentes pièces étudiées (en tout cas c'est ce qui apparaît dans le rapport). Peut-on en être certain et, sinon, une marge d'incertitude ne devrait-elle pas être introduite dans ces comparaisons.

### **1.2 Teneur en carbone**

Les résultats obtenus fin 2014 ont révélé la présence, dans l'acier des calottes utilisées pour fabriquer le couvercle et le fond de la cuve de ce réacteur, d'une zone présentant une concentration de carbone excessive (teneur atteignant localement 0,32 % pour une teneur attendue d'au maximum 0,22 %), et des valeurs de résilience (indicateur de la capacité d'un matériau à résister à une rupture) inférieures aux critères fixés dans l'arrêté.

↳ **L'arrêté ESPN :**

L'arrêté relatif aux équipements sous pression nucléaires, dit « arrêté ESPN », définit les exigences à respecter lors de la conception, de la fabrication et du suivi en service des équipements sous pression nucléaires.

Cet arrêté comporte des exigences en matière de prévention du risque d'hétérogénéité des pièces.

Or, on trouve en page 21 du rapport ASN-IRSN le paragraphe suivant :

La teneur normale en carbone d'un acier de type 16MND5 comme celui de l'acier de la cuve du réacteur EPR de Flamanville est de 0,16 %. Le code RCC-M définit une teneur maximale de 0,20 % à la coulée et une teneur maximale sur pièce de 0,22 %<sup>4</sup>. Dans le cadre de ce dossier, le volume de matière d'intérêt pour apprécier les propriétés mécaniques du matériau de la zone de ségrégation majeure positive a été défini comme celui présentant une teneur en carbone supérieure à 0,25 % [5].

Si la teneur « maximale attendue » est de 0,22%, la référence devrait être la « teneur normale » pour ce type d'acier, soit 0,16%. Alors, on constate que la teneur en zone défectueuse serait le double de la teneur normale.

Inversement, si la teneur moyenne en carbone de la coulée n'est pas 0,16% mais 0,18%, alors l'acier n'est pas de type 16MND5 mais 18MND5, ce qui pose question.

**Et, page 65** du rapport ASN-IRSN

La figure 22 indique une ségrégation maximale de 70% dans les calottes sacrificielles.

Si la teneur en carbone de la coulée est de 0,20% (teneur maximale du code RCC-M), alors la teneur en carbone correspondant à cette valeur de la ségrégation devrait être de 0,34%.

## 2. SUR LA REPRÉSENTATIVITÉ DES CALOTTES SACRIFICIELLES

### 2.1 Page 67 du rapport ASN-IRSN

Finalement, même si le rapporteur considère que les garanties apportées sur la représentativité sont satisfaisantes, le travail réalisé par Areva NP met néanmoins en évidence certaines différences entre les calottes étudiées, difficiles à juger au plan quantitatif. Le rapporteur identifie en particulier certains éléments défavorables :

- les différentes calottes ont été fabriquées à des périodes différentes (voir Tableau 26) et pour des clients différents ;
- les fabrications de ces calottes n'ont pas fait l'objet d'une surveillance mandatée par l'ASN et, pour les calottes sacrificielles, la surveillance exercée par le client n'a pas été réalisée en application des dispositions applicables pour les installations nucléaires de base françaises. Par ailleurs, le rapporteur n'a pas eu accès aux conclusions de cette surveillance ;
- les teneurs en carbone dans l'épaisseur et les propriétés mécaniques en zone de ségrégation majeure positive des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville ne sont pas disponibles. Les comparaisons des différentes calottes ne peuvent donc

pas être menées sur les grandeurs d'intérêt direct et se concentrent sur des paramètres relais ;

- malgré des paramètres de fabrication très proches, les caractéristiques mécaniques présentent une variabilité naturelle induisant une certaine incertitude à prendre en considération lorsque l'on réalise des comparaisons.

| Calotte              | UK sup | UA inf    | UA sup | FA3 sup | FA3 inf |
|----------------------|--------|-----------|--------|---------|---------|
| Année de fabrication | 2013   | 2010/2011 | 2009   | 2006    | 2007    |

Tableau 26 : Années de fabrication des calottes

Le rapporteur considère en conséquence que l'appréciation des propriétés du matériau des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, à travers les essais réalisés sur des éprouvettes prélevées sur les calottes représentatives sélectionnées par Areva NP doit se faire selon une démarche dont le conservatisme présente des garanties éprouvées par la pratique. Ces propriétés peuvent ensuite être utilisées comme données d'entrée des analyses de rupture brutale, dont la méthode est codifiée, et qui présente ses propres conservatismes.

## Les différences de propriétés entre les aciers des pièces sacrificielles sont illustrées par le tableau 30, page 76 du rapport ASN-IRSN :

La  $RT_{NDT}$  en zone de recette est comprise entre -20 °C et -45 °C pour l'ensemble des calottes expertisées (Tableau 30). En zone de recette, la teneur en carbone est de l'ordre de 0,18 %.

| Calotte                   | FA3 Sup | FA3 Inf | UK Sup | UA Inf | UA Sup |
|---------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| $T_{NDT} = RT_{NDT}$ (°C) | -30     | -20     | -45    | -30    | -35    |

Tableau 30 : Température de transition en zone de recette

## On constate bien des différences très importantes.

Sur cette question la note de synthèse d'AREVA indique en page 59 :

Sur cette base, il est décidé d'appliquer une correction de +25°C sur les températures d'indexation des caractéristiques mécaniques des calottes sacrificielles afin de les transposer aux calottes de FA3.

### Il paraît bien difficile

**d'accepter simplement l'addition de 25°C sans aucune explication de ce phénomène** dont la compréhension pourrait mettre en évidence d'autres différences plus structurelles entre les différentes pièces étudiées.

## 2.2 Page 38 de la note de synthèse AREVA (paragraphe 3.3)

Le document dit en 3.3.1 : « la comparaison des divers paramètres de coulée et de solidification... n'a pas mis en évidence d'écart qui pourrait impacter l'intensité et la répartition des macro-ségrégations dans les lingots coulés ». Ensuite la comparaison des conditions de forgeage et d'emboutissage a utilisé des simulations avec le logiciel Forge qui ont indiqué un faible effet sur la profondeur de ségrégation.

Dans les deux cas, quels sont les écarts et n'introduisent-ils pas de nouvelles marges d'incertitude ?

Une fois de plus la conclusion repose sur l'adjectif « similaire » :

A ce stade, il est conclu que :

- les gammes de fabrication des calottes sont similaires vis-à-vis des impacts possibles sur l'intensité de la ségrégation à l'exception des taux de chute et usinages,
- les gammes de fabrication des calottes conduisent à des vitesses de trempe très similaires

**On trouve cependant des différences non négligeables entre les taux de ségrégation et les**

**teneurs en carbone entre les trois pièces sacrificielles** (figures 11 et 12). Ces différences sont confirmées par la figure 13 (page 42).

**Il paraît difficile d'accepter la conclusion** en haut de page 43 : il y a bien « similitude » de comportement, mais des valeurs assez nettement différentes.

### 3. SUR LA TENACITE ET LA RESILIENCE DE L'ACIER DES CALOTTES

---

#### 3.1 Ténacité et résilience

L'introduction du rapport ASN-IRSN pose bien les termes de l'évaluation de la cuve de l'EPR de Flamanville :

Les calottes du couvercle et du fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville ont été fabriquées en 2006 et 2007 par forgeage par l'usine Creusot Forge d'Areva NP.

Ces composants sont soumis à l'exigence de qualification technique<sup>1</sup> de l'arrêté ESPN en référence [3] car ils présentent un risque d'hétérogénéité de leurs caractéristiques.

Dans le cadre de cette qualification technique, Areva NP a mesuré des valeurs de résilience<sup>2</sup> inférieures aux valeurs mentionnées par le point 4 de l'annexe I de l'arrêté ESPN en référence [3], ce qui l'a amené en 2015 à proposer à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) une démarche destinée à justifier le caractère suffisant de la ténacité du matériau de ces composants, basée sur un programme d'essais sur des calottes sacrificielles et des analyses de mécanique du risque de rupture brutale.

**La résilience** est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie quand il se déforme sous l'effet d'un choc.

**La ténacité** est la capacité d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure. Il s'agit de la propriété qui intervient dans le phénomène de rupture brutale.

#### ***Sur la résilience des calottes de l'EPR de Flamanville (Rapport ASN-IRSN page 19)***

Fin 2014, Areva NP a informé l'ASN de résultats d'essais de résilience plus faibles qu'attendu. Les essais ont été réalisés dans le cadre de la qualification technique, sur des éprouvettes prélevées sur une calotte destinée initialement à un projet de réacteur EPR aux États-Unis, dénommée calotte supérieure UA, *a priori* représentative de celles destinées à la cuve du réacteur EPR de Flamanville. Les valeurs mesurées à 0 °C sur deux séries de trois éprouvettes présentaient une valeur minimale de 36 J et une valeur moyenne de 52 J ne permettant pas d'atteindre la qualité alors attendue par Areva NP. Ces valeurs sont également inférieures à la valeur de résilience de 60 J mentionnée au point 4 de l'annexe I de l'arrêté ESPN en référence [3].

***Dans ces conditions, comme le souligne l'avis du Groupe d'experts (page 3), « la valeur de la résilience citée par la réglementation n'est pas atteinte en zone ségréguée ».***

#### ***Sur la ténacité des calottes (Fiche pédagogique de l'IRSN, page 2) :***

De fortes concentrations en carbone dans une pièce ont pour conséquence une diminution des propriétés de ténacité de l'acier, c'est-à-dire de la capacité du matériau à résister à la propagation d'une fissure en cas de défaut préexistant. La ténacité d'un matériau peut être mesurée sur des échantillons (appelés éprouvettes) et correspond à la force ou la quantité d'énergie qu'un matériau peut absorber avant de se fissurer et de rompre.

#### **3.2 Page 2, 3 et 4 de la fiche pédagogique de l'IRSN : la démarche**

Fin 2014, Areva NP a informé l'ASN de résultats d'essais de résilience plus faibles qu'attendu. Les essais ont été réalisés dans le cadre de la qualification technique, sur des éprouvettes prélevées sur une calotte destinée initialement à un projet de réacteur EPR aux États-Unis, dénommée calotte supérieure UA, *a priori* représentative de celles destinées à la cuve du réacteur EPR de Flamanville. Les valeurs mesurées à 0 °C sur deux séries de trois éprouvettes présentaient une valeur minimale de 36 J et une valeur moyenne de 52 J ne permettant pas d'atteindre la qualité alors attendue par Areva NP. Ces valeurs sont également inférieures à la valeur de résilience de 60 J mentionnée au point 4 de l'annexe I de l'arrêté ESPN en référence [3].

De fortes concentrations en carbone dans une pièce ont pour conséquence une diminution des propriétés de ténacité de l'acier, c'est-à-dire de la capacité du matériau à résister à la propagation d'une fissure en cas de défaut préexistant. La ténacité d'un matériau peut être mesurée sur des échantillons (appelés éprouvettes) et correspond à la force ou la quantité d'énergie qu'un matériau peut absorber avant de se fissurer et de rompre.

On note l'importance des calculs (de leurs données, de leurs hypothèses et de leurs marges d'incertitude). **3.3 Page 5 : Sur les propriétés mécaniques du matériau**

Il ressort de l'analyse que :

- ▶ les différences dans l'élaboration des différentes calottes conduisent à des variations sur les propriétés mécaniques qu'il est difficile d'évaluer précisément mais qui restent limitées. Ainsi, l'appréciation des propriétés du matériau doit se faire selon une démarche prudente ;
- ▶ la présence d'une ségrégation résiduelle du carbone est bien à l'origine de la modification des propriétés mécaniques. Le comportement observé reste toutefois celui attendu pour ce type d'acier (acier ferritique), utilisé pour la fabrication de l'ensemble des cuves des réacteurs en fonctionnement. La modification des propriétés mécaniques se traduit principalement par une augmentation de la température de transition entre le comportement fragile du matériau et son comportement ductile, de l'ordre d'une dizaine à quelques dizaines de degrés. En conséquence, le fait qu'Areva NP retienne une ténacité cohérente avec l'augmentation de la température de transition constatée à l'issue des essais réalisés est satisfaisant. EDF s'est par ailleurs engagé à réaliser un programme d'essais afin de conforter les hypothèses retenues pour tenir compte du vieillissement thermique du matériau, ce qui est satisfaisant.

Ce texte appelle trois remarques :

a) Il est difficile d'évaluer précisément les variations des propriétés mécaniques mais elles restent limitées : **on ne saurait être plus vague et cela met un doute**, d'autant plus qu'il y a effectivement des différences importantes entre les calottes sacrificielles, notamment en termes de température de transition (voir ci-dessus).

b) On lit : que l'augmentation de la température de transition serait de l'ordre d'**une dizaine à quelques dizaines de degrés**. Cela ne veut strictement rien dire car « quelques dizaines de degrés » est sans signification : on s'étonne d'une telle expression dans un document qui se veut scientifique. Cette expression traduit toutefois l'existence d'incertitudes très importantes.

c) Une phrase qui démontre le fait que **l'on n'a pas les éléments suffisants pour arriver à un jugement pertinent** : « EDF s'est par ailleurs engagé... ». Le morceau de phrase « ...d'essais afin de conforter les hypothèses... » signifie que les résultats de ces essais sont anticipés de façon favorable à la thèse d'Areva et EDF : on ne voit pas alors leur utilité.

Et si ces essais ne confortaient pas ?

### 3.3 Autres éléments de jugement extraits du rapport ASN-IRSN

**Page 29 :** Difficulté de contrôle non destructif sur la calotte supérieure de FA3

Sur la calotte supérieure de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, Areva NP a pu réaliser un contrôle par magnétoscopie sur la partie périphérique en dehors de la zone d'implantation des adaptateurs. Dans la zone centrale où se situent les adaptateurs, qui est également celle où se trouve la ségrégation majeure positive, ce contrôle n'a pas été réalisé pour des raisons d'accessibilité et compte tenu du risque d'introduire du produit de contrôle (liqueur magnétique) dans les interstices entre les adaptateurs et le couvercle.

**Page 37 :**

Il faut noter que, pour la calotte supérieure de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, l'ASN avait, dans sa lettre en référence [7], partagé le constat du fabricant « selon lequel aucun contrôle complémentaire à ceux déjà réalisés, en lien avec la démarche de justification de la présence de ségrégation majeure positive, n'est envisageable sur le couvercle de cuve ». Bien que le risque de présence de défauts débouchants est faible sur la calotte du couvercle de cuve du réacteur EPR de Flamanville, le rapporteur considère que l'absence de contrôle complémentaire de la surface externe de cette calotte n'a pas permis de vérifier l'absence de défauts débouchants, en particulier si ceux-ci sont remplis d'oxydes. La calotte supérieure de la cuve du réacteur EPR de Flamanville présente par conséquent un niveau de garantie d'absence de défauts de ce type moindre que la calotte inférieure.

## 4. SUR L'ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE BRUTALE

**4.1 Page 8 :** Après un exposé détaillé sur l'éventualité de chocs thermiques chauds ou froids, la fiche technique de l'IRSN est très brève sur le calcul de la ténacité :

### *Evaluation du risque de rupture brutale*

L'évaluation du risque de rupture brutale réalisée pour le fond et le couvercle de la cuve du réacteur EPR de Flamanville est cohérente avec la démarche prescrite par le code définissant les règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires (RCC-M), tant par le choix des défauts analysés, que par la définition de la ténacité minimale et l'évaluation des facteurs d'intensité de contraintes. Les marges obtenues, tout en étant plus faibles que celles qui seraient obtenues pour un matériau exempt de ségrégation positive de carbone, restent en effet supérieures aux critères de conception.

Les conclusions de cette analyse montrent que les propriétés mécaniques du matériau en zone ségrégée sont suffisantes pour prévenir le risque de rupture brutale.

La fiche technique de l'ASN n'en dit guère plus :

Areva NP a comparé la ténacité de l'acier aux contraintes induites par les chargements thermomécaniques sur une fissure, en intégrant un coefficient de sécurité et a calculé un facteur de marge :

$$F_m = \frac{\text{Ténacité}}{\text{Coefficient de sécurité} \times \text{Contrainte}}$$

Les facteurs de marge sont supérieurs à 1, ce qui assure la résistance mécanique du fond et du couvercle de la cuve. L'excès de carbone les réduit toutefois sensiblement.

### 4.2 Dans le rapport ASN-IRSN (page 107)

### 6.1. Démarche d'évaluation du risque de rupture brutale

Le risque de rupture brutale des calottes est évalué au regard du risque d'amorçage de la rupture à partir d'un défaut potentiellement présent dans les zones les plus contraintes des calottes. Ce risque est considéré comme exclu si la ténacité de l'acier des calottes est suffisante pour empêcher l'amorçage de ce défaut sous l'ensemble des sollicitations subies par la calotte considérée, majorées d'un coefficient de sécurité ( $\alpha$ ) dépendant de la probabilité d'occurrence de la sollicitation (Tableau 42). Ceci revient à vérifier que le facteur d'intensité de contraintes ( $K_{IC}$ ) au niveau du défaut reste inférieur à la ténacité ( $K_{IC}$ ) quelle que soit la sollicitation, ce qui s'écrit :

$$F_m = K_{IC} / (\alpha \cdot K_{ICP}) \geq 1 \quad \text{ou} \quad RT_{NDT} \leq RT_{NDT \text{ admissible}}$$

La  $RT_{NDT \text{ admissible}}$  est la  $RT_{NDT}$  pour laquelle le facteur de marge  $F_m$  est égal à 1.

Dans la première formule, on voit que le facteur de marge  $F_m$  doit être supérieur à 1.

On note qu'au dénominateur du rapport donnant la valeur de  $F_m$  figure le coefficient « alpha », coefficient de sûreté qui est donné dans le tableau suivant (page 108) :

| Situations                             | Classement  | Probabilité d'occurrence /année réacteur | Coefficient de sécurité $\alpha$ |
|--|-------------|--|----------------------------------|
| Normales et perturbées                 | Catégorie 2 | $f > 10^{-2}$                            | 2                                |
| Incidentelles et épreuves hydrauliques | Catégorie 3 | $10^{-4} < f < 10^{-2}$                  | 1,6                              |
| Accidentelles                          | Catégorie 4 | $10^{-4} < f < 10^{-4}$                  | 1,2                              |

Tableau 42 : Coefficient de sécurité de l'annexe ZG 3230 du code RCC-M

Ces coefficients sont définis pour les trois catégories indiquées ci-dessus dans l'article 13 de l'arrêté du 10 novembre 1999 relatif à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pressions. Ils n'ont pas été modifiés depuis 1999 et existaient probablement avant. Arrêté qui précise en avant du tableau des coefficients : « Un défaut ne peut être laissé en service que s'il ne présente pas de risque d'instabilité dans les situations de deuxième, troisième et quatrième catégories, ni de risque d'amorçage à la déchirure en situation de deuxième et troisième catégories. Les chargements à considérer vis-à-vis du dommage à éviter sont multipliés pour l'analyse par les coefficients minimaux suivants ».

On a vu plus haut que ces coefficients dépendent de la probabilité d'occurrence de la situation envisagée.

Il nous paraît légitime de contester ces valeurs.

La question que l'on se pose est de savoir si l'équipement considéré (les calottes de l'EPR), dans une situation accidentelle donnée, quelle que soit sa catégorie, résiste à une agression extérieure, choc chaud ou choc froid. Si l'on a pris un coefficient 2 pour une situation normale ou perturbée, il n'y a aucune raison qui justifie de prendre un coefficient 1,6 pour une situation incidentelle ou une épreuve hydraulique et encore moins pour une situation accidentelle, pour laquelle on a toutes les chances pour que les contraintes soient supérieures : autant on peut décrire un incident, autant on sait bien qu'un accident majeur est en général la combinaison de plusieurs défaillances qui s'enchaînent.

C'est pourquoi nous considérons que les calculs doivent être effectués avec un coefficient 2 associé, a minima, à toutes les catégories.

Regardons maintenant ce que deviennent **les résultats avec un coefficient de sûreté de 2 pour toutes les catégories.**



## On trouve les résultats de ces calculs en page 54 de la note de synthèse d'AREVA

Le tableau 12 (page 54) indique que les valeurs minimales du rapport pour les défauts débouchant en peau externe sont respectivement de 2,29 Catégorie 3 et 2,87 Catégorie 4 pour la calotte inférieure. Si l'on prend un coefficient de sûreté de 2 dans les deux cas, ces valeurs deviennent respectivement 1,83 et 1,72. Les valeurs sont supérieures à 1 mais les marges sont nettement réduites par rapport au calcul d'AREVA.

**En page 67**, pgr 3.4.7 (« Sensibilité à la taille du défaut), le tableau 23 indique les valeurs minimales suivantes pour un défaut de 20 mm :

- ▶ Calotte supérieure, Catégorie 4 : 1,62
- ▶ Calotte inférieure Catégorie 4 : 1,28 Si l'on applique le coefficient de sûreté de 2, ces valeurs deviennent respectivement :
  - ▶ 0,91 pour la calotte supérieure Catégorie 4
  - ▶ 0,77 pour la calotte inférieure catégorie 4

### Dans les deux cas, le rapport Fm/FmT est nettement inférieur à 1.

Si l'on admet la pertinence de cette variante (sinon, pourquoi l'étudier), la calotte supérieure comme, surtout, la calotte inférieure, devraient être refusées.

Enfin, pour conclure l'ensemble de ces commentaires, rappelons 2 points mentionnés dans l'avis du groupe permanent ESPN (page 4) :

- ▶ « Toutefois, le Groupe permanent considère que les défaillances constatées concernant la qualification technique, l'utilisation d'un procédé de fabrication ne permettant pas de s'affranchir des risques liés à la ségrégation résiduelle de carbone et la réduction des marges pour le risque de rupture brutale, **affectent la robustesse du premier niveau de défense en profondeur**".
- ▶ « Le Groupe permanent note que **le dossier technique transmis par AREVA et EDF sur les contrôles de suivi en service est prospectif, succinct et qu'il n'apporte pas d'élément technique sur la faisabilité des contrôles, leur performance et les conditions d'intervention en termes de radioprotection**. Le Groupe permanent constate qu'EDF n'est actuellement pas en mesure de mettre en œuvre des contrôles par essais non destructifs du couvercle de même portée et aux mêmes échéances que pour le fond de la cuve.

### **Vous êtes membre d'une CLI, d'une association, ou un citoyen vigilant sur l'état de sûreté du parc nucléaire français ?**

Rejoignez le réseau de Surveillance citoyenne des installations nucléaires !

Ce réseau totalement indépendant permet de mettre en relation des personnes de toute la France, d'échanger sur des questions techniques, et de suivre les actualités concernant la sûreté et la réglementation des installations nucléaires proches de chez vous.

**Pour toute demande, envoyez un mail à [laure.barthelemy.sortirdunucleaire.fr](mailto:laure.barthelemy.sortirdunucleaire.fr)**

---

## Notes

[1] L'acier des calottes de cuve de l'EPR de Flamanville (FA3) est qualifié 16MND5.

[2] Et de phosphore ? Voir la note de Bella Belbeoch sur ce sujet .