

Fontenay-aux-Roses, le 2 mars 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00074

Objet : Transport - Sujet générique - Qualification du matériau présent dans la structure des capots amortisseurs - Emballage TN G3

Réf. **Lettre saisine ASN CODEP-DTS-2014-017334 du 9 avril 2014.**

Par lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les compléments transmis par la société AREVA TN concernant la qualification du matériau présent dans les capots amortisseurs qui équiperont le modèle de colis TN G3.

## 1 CONTEXTE

Le modèle de colis TN G3, en cours de développement, est destiné au transport d'assemblages combustibles irradiés dans les réacteurs à eau sous pression (REP) du parc électronucléaire français. Il est constitué d'une virole cylindrique de forte épaisseur, d'un fond soudé et de deux couvercles de fermeture (concept de double barrière). En outre, l'emballage est équipé à chacune de ses extrémités de capots amortisseurs de chocs qui sont constitués de blocs d'un matériau amortisseur assemblés entre eux et confinés dans une enveloppe métallique.

La caractérisation du comportement mécanique de ce matériau amortisseur repose sur des essais dont l'expertise par l'IRSN avait conclu que des compléments devaient être apportés par la société AREVA TN, concernant en particulier :

- l'influence des dispositifs de montage des blocs entre eux ;
- la pertinence de la zone de prélèvement des échantillons testés dans les blocs afin de s'assurer que ces derniers conduisent à des caractéristiques conservatives pour la sûreté ;
- la réalisation d'essais complémentaires pour analyser le comportement du matériau amortisseur dans des configurations de chutes libres du colis en position inclinée ;
- la justification de l'absence de risque de corrosion de l'enveloppe métallique des capots au regard de la composition chimique du matériau amortisseur ;
- la justification des sollicitations retenues pour évaluer expérimentalement l'effet du vieillissement.

Adresse Courrier  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

Siège social  
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Standard +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre 8 440 546 018

Par ailleurs, les analyses réalisées par la société AREVA TN ont montré la nécessité de compléter les contrôles réalisés lors de la fabrication du modèle de colis TN G3, notamment concernant l’approvisionnement du matériau amortisseur, afin de garantir le respect des critères (contrainte d’écrasement notamment) spécifiés dans le dossier de sûreté.

Des demandes ont été formulées en ce sens par l’ASN dans des courriers d’avril et décembre 2013.

En réponse, la société AREVA TN a transmis un certain nombre de compléments, fondés en particulier sur des essais visant à compléter la caractérisation du comportement mécanique du matériau amortisseur. De l’expertise de ces compléments, l’IRSN retient les principaux points suivants.

## 2 COMPOTEMENT EN COMPRESSION DU MATERIAU AMORTISSEUR

### Assemblage des blocs de matériau amortisseur et configurations d’essais

Les blocs de matériau amortisseur, placés dans l’enveloppe métallique du capot, sont assemblés entre eux à l’aide de pièces. La société AREVA TN a réalisé de nouveaux essais visant à étudier l’influence de ces pièces. Ces nouveaux essais de compression, réalisés sur des échantillons du matériau amortisseur munis des pièces utilisées pour l’assemblage des blocs, n’ont pas mis en évidence d’évolution notable de la contrainte d’écrasement du matériau.

L’IRSN estime que ces essais permettent d’apprécier l’influence des pièces d’assemblage. Cependant, pour ces essais, la société AREVA TN a maintenu un jeu entre la surface externe de l’échantillon et la surface interne du conformateur métallique dans lequel l’échantillon est placé pour les essais de compression. Or, les expertises précédentes ont montré que ce jeu a une influence significative sur les résultats des essais. Aussi, la représentativité du jeu retenu pour les essais doit être justifiée par rapport à la configuration de montage des blocs de matériau amortisseur dans la structure des capots. **Ce point fait l’objet de la recommandation n° 1 présentée en annexe 1 du présent avis.**

### Influence des zones de prélèvement des échantillons testés

Pour évaluer l’influence sur les résultats des essais de la zone de prélèvement des échantillons testés, la société AREVA TN a réalisé des essais complémentaires en utilisant des échantillons prélevés au centre et à chacune des extrémités de la plaque de matériau approvisionnée. En outre, pour chaque zone étudiée, des échantillons ont été prélevés à différentes épaisseurs de la plaque.

Sur la base des mesures réalisées lors de ces essais, la société AREVA TN conclut que la zone de prélèvement des échantillons n’engendre pas de modification notable de la contrainte d’écrasement. En outre, il déduit de ces essais les contraintes d’écrasement minimales et maximales retenues pour la spécification d’approvisionnement du matériau amortisseur.

De plus, la société AREVA TN considère que ces essais valident le plan de prélèvement des échantillons retenu pour les contrôles en fabrication des capots du modèle de colis TN G3 (un échantillon au centre de chaque plaque et un échantillon à chaque extrémité de chaque plaque). La contrainte d’écrasement mesurée sur chaque échantillon prélevé devra ainsi être comprise entre les contraintes minimales et maximales déduites des essais précités. Ces valeurs sont spécifiées dans le chapitre de description du colis.

Toutefois, les essais réalisés par la société AREVA TN montre une certaine variabilité de la contrainte d’écrasement mesurée, selon la zone de prélèvement de l’échantillon (un peu moins de 20 % en considérant une dispersion correspondant à trois fois l’écart-type des résultats d’essais). **Par conséquent, en l’état actuel des données, l’IRSN**

considère que le plan de prélèvement des échantillons lors des fabrications doit être élargi de manière à inclure des prélèvements dans différentes zones (différentes épaisseurs, au centre et au bord des plaques). De plus, les zones de prélèvement devraient être spécifiées dans le dossier de sûreté du modèle de colis TN G3.

Enfin, une analyse statistique des contraintes d'écrasement mesurées devra être réalisée.

Ces points font l'objet de la recommandation n°2 présentée en annexe 1 au présent avis.

#### Comportement du matériau amortisseur lors des chutes simulant les conditions accidentelles de transport

Pour justifier les configurations de chutes retenues pour le modèle de colis TN G3, la société AREVA TN a réalisé des essais avec une maquette de capot lestée, prenant en compte des configurations de chutes libres du colis en position inclinée. Trois séquences de chutes libres de la maquette du capot ont ainsi été réalisées afin de démontrer, d'une part le caractère pénalisant d'une chute libre d'une hauteur de 9,3 m par rapport au cumul de chutes d'une hauteur de 0,3 m et 9 m, d'autre part que le défaut d'élancement des capots de la maquette du modèle de colis utilisée lors des essais de chutes est pénalisant. Au regard des résultats obtenus, la société AREVA TN retient que :

- le comportement du matériau amortisseur à l'issue des chutes libres d'une hauteur de 9,3 m est similaire, en termes de déformations et d'accélération, à celui relevé en considérant le cumul de chutes libres d'une hauteur de 0,3 m et de 9 m ;
- la réduction de la hauteur du capot conduit à maximiser les accélérations et les déformations mesurées, ce qui induit un risque plus important de talonnement. Aussi, la géométrie de la maquette du modèle de colis TN G3 est pénalisante.

Ces points n'appellent pas de remarque de l'IRSN.

Enfin, la société AREVA TN n'a pas réalisé d'essai complémentaire visant à étudier l'effet cumulatif des chutes libres et de la chute sur poinçon. Ce point fait l'objet de calculs numériques spécifiques présentés dans le dossier de sûreté du modèle de colis, qui est en cours d'expertise par l'IRSN.

### **3 COMPOSITION CHIMIQUE DU MATERIAU AMORTISSEUR**

La société AREVA TN n'a pas apporté de compléments visant à justifier l'absence de risque de corrosion de l'enveloppe métallique des capots qui assure le maintien en place du matériau amortisseur.

À cet égard, les règles de conception et de construction des matériels mécaniques (RCC-M) indiquent que les produits chimiques en contact avec des composants en acier inoxydable doivent contenir une quantité cumulée de chlore, fluor et brome inférieure à 200 ppm. Aussi, en l'absence d'analyse, l'IRSN recommande que cette mention soit ajoutée dans le dossier de sûreté du modèle de colis. Ceci fait l'objet de la recommandation n°3 présentée en annexe 1 au présent avis.

### **4 ESSAIS DE VIEILLISSEMENT DU MATERIAU AMORTISSEUR**

#### Définition des essais de vieillissement

Pour analyser le vieillissement du matériau amortisseur, résultant des sollicitations rencontrées en transport, la société AREVA TN a réalisé des essais sur table vibrante à l'aide d'une maquette simulant l'un des capots équipant l'emballage TN G3.

Pour définir les caractéristiques des mouvements de la table vibrante lors des essais (générés de manière aléatoire), la société AREVA TN s'appuie sur un spectre de « densités spectrales de puissance » (DSP), quantifiant la puissance des mouvements de la table dans une bande de fréquence. Pour définir ce spectre, elle s'appuie sur des mesures réalisées lors de transports de colis TN 12/2 vides et chargés (routiers et ferroviaires). Ces mesures prennent en compte les pratiques actuelles de transport (sans « triage à la bosse » pour le transport ferroviaire).

Pour rappel, pour passer de ces mesures à la DSP retenue pour les essais, il convient de dissocier les signaux dits stationnaires (propriétés statistiques invariantes dans le temps) de ceux non stationnaires. Le signal non stationnaire et la DSP obtenue à partir du signal stationnaire permettent de déterminer des spectres de réponse aux chocs (SRC), de réponse extrême (SRE) et de dommage par fatigue (SDF). Ces spectres caractérisent les autres phénomènes sollicitant l'objet testé. Les DSP d'essais sont ensuite déterminées à partir de ces données de référence en tenant compte de différents coefficients dépendant notamment du nombre d'essais réalisés et de la durée d'utilisation réelle. Dans le cas où la distinction entre les signaux stationnaires et non stationnaires n'est pas réalisable, les caractéristiques des signaux retenus pour les essais doivent être définies en considérant la totalité des signaux mesurés et en utilisant les spectres dits SRE et SDF.

À cet égard, sur la base de son analyse des signaux mesurés, la société AREVA TN estime que les signaux mesurés sont stationnaires. Toutefois, de l'examen des résultats de la méthode utilisée pour dissocier les signaux stationnaires et non stationnaires, l'IRSN conclut que les signaux enregistrés ne peuvent pas être considérés comme stationnaires. **Aussi, l'IRSN considère que les DSP définies par la société AREVA TN pour les essais ne rendent pas compte des accélérations les plus élevées et pourraient ne pas être enveloppes.**

De plus, la société AREVA TN a déterminé les DSP retenues pour les essais en combinant les DSP calculées pour le transport ferroviaire et le transport routier *au prorata* des durées du transport selon chaque mode. Toutefois, l'IRSN estime que cette pondération, qui revient à « moyenner » les DSP, n'est pas enveloppe du fait que les phénomènes de fatigues ne sont pas linéaires par rapport aux sollicitations.

Par ailleurs, deux coefficients (facteur d'essai et coefficient de garantie) sont classiquement utilisés pour déterminer la DSP des essais sur table vibrante. Le premier facteur vise à prendre en compte le nombre d'essais réalisés, le second les incertitudes liées à la connaissance de l'environnement réel et la résistance des matériaux. Toutefois, la société AREVA TN n'a pas identifié ces facteurs dans sa démarche. Aussi, l'IRSN estime que la société AREVA TN devrait démontrer le conservatisme de la DSP d'essai retenue pour la réalisation des essais sur table vibrante.

Enfin, la société AREVA TN ne justifie pas que la durée retenue pour les essais sur table vibrante (au plus 48 heures) couvre les sollicitations du modèle de colis TN G3 sur la durée d'exploitation prévue. À cet égard, l'IRSN rappelle que les opérations de maintenance périodique du colis n'incluent pas de contrôle de l'état du matériau amortisseur des capots.

**Ces points font l'objet de la recommandation n° 4 présentée en annexe 1 au présent avis.**

#### Résultats des essais de vieillissement

Indépendamment des réserves sur les essais réalisés présentées ci-avant, ces essais ont montré une évolution limitée des caractéristiques du matériau amortisseur (contrainte d'écrasement). Toutefois, ils ont également mis en évidence un cisaillement possible des pièces utilisées pour le montage des blocs dans la maquette, entraînant une usure localisée de ces blocs par frottement.

À cet égard, la maquette utilisée lors de ces essais n'était pas représentative des capots du colis, en termes de géométrie des blocs et de nombre de pièces de montage.

#### Conclusion de l'IRSN sur les essais de vieillissement

En premier lieu, l'IRSN considère qu'AREVA TN n'a pas démontré que les essais réalisés sont enveloppes (caractéristiques des sollicitations, durée des essais, représentativité de la maquette...). À cet égard, de nombreux compléments, notamment relatifs à la méthode retenue pour la définition des essais, sont nécessaires.

En outre, indépendamment de ces réserves qui mettent en question le caractère enveloppe des essais, l'IRSN note que ces essais ont révélées des phénomènes de vieillissement (évolution limitée des caractéristiques du matériau et rupture des pièces de montage).

Aussi, en parallèle des études de vieillissement, l'IRSN recommande que la société AREVA TN adopte une démarche de contrôle en service du matériau amortisseur, *a minima* pour un capot représentatif (par exemple après une durée d'exploitation adaptée). L'IRSN estime cette démarche d'autant plus nécessaire que le matériau amortisseur utilisé est novateur dans le contexte des emballages de transport de matières radioactives et que le retour d'expérience disponible est limité. Ceci fait l'objet de la recommandation n°5 présentée en annexe 1 au présent avis.

## 5 CONCLUSION

L'IRSN estime que les essais complémentaires réalisés par la société AREVA TN permettent de consolider de manière satisfaisante la caractérisation du matériau amortisseur présent dans les capots du modèle de colis TN G3. Sur cette base, l'IRSN a identifié un certain nombre de points qui devront être spécifiés dans le chapitre du dossier de sûreté relatif à la description de l'emballage TN G3.

Par ailleurs, l'IRSN estime que les essais réalisés afin d'évaluer l'influence du vieillissement sur le comportement mécanique du matériau amortisseur ne permettent pas de conclure en l'état. Aussi, l'IRSN estime que la société AREVA TN devrait compléter ses justifications en tenant compte des recommandations de l'annexe 1 au présent avis.

En particulier, l'IRSN considère qu'une démarche de contrôle en service du matériau amortisseur devrait être retenue.

Pour le directeur général, par délégation

Igor LE BARS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'Avis IRSN/2017-00074 du 2 mars 2017

Recommandations

1. L'IRSN recommande que la société AREVA TN justifie la représentativité du jeu présent entre la surface externe des échantillons testés et la surface interne du conformateur, par rapport à la configuration de montage des blocs de matériau amortisseur dans la structure des capots. Ce jeu devra être précisé dans le dossier de sûreté du modèle de colis TN G3.
2. L'IRSN recommande que la société AREVA TN :
  - spécifie dans le dossier de sûreté du modèle de colis TN G3 les zones de prélèvement des échantillons à tester lors des opérations de fabrication des capots. Celles-ci devront inclure des prélèvements à différentes épaisseurs et dans différentes zones des blocs de matériaux approvisionnés ;
  - s'appuie sur une analyse statistique des contraintes d'écrasement mesurées pour ces échantillons pour vérifier le respect de la plage de contraintes d'écrasement spécifiée dans le dossier de sûreté.
3. À défaut d'une analyse des risques de corrosion des enveloppes métalliques des capots, l'IRSN recommande que la description du matériau amortisseur présentée dans le dossier de sûreté du modèle de colis TN G3 soit complétée en indiquant que la teneur en éléments halogènes (chlore, fluor et brome) est inférieure à 200 ppm.
4. L'IRSN recommande que la société AREVA TN justifie les hypothèses retenues pour définir le spectre de « densités spectrales de puissance » retenu dans l'étude expérimentale de vieillissement du matériau amortisseur (méthodes d'extraction des signaux stationnaires, de définition des DSP, des spectres de réponse extrême et des spectres de dommages par fatigue, méthode de combinaison des DSP de chaque mode de transport, coefficients correctifs considérés, durée des essais...).
5. L'IRSN recommande que la société AREVA TN définisse et mette en place, *a minima* pour un capot représentatif, un contrôle « en service » du matériau amortisseur afin de garantir le maintien des propriétés mécaniques de ce matériau dans le temps.