

Fontenay-aux-Roses, le 20 juin 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2016-00209

Objet : Transport - Compléments - Non-conformité du bois des capots de l'emballage AGNES

Réf.

1. Lettre ASN CODEP-DTS-2016-000077 du 5 janvier 2016
2. Norme AFNOR NF EN 14358 du 20 avril 2007 « Détermination des valeurs correspondant au fractile à 5 % d'exclusion inférieure et critère d'acceptation pour un échantillon »

L'IRSN a expertisé les compléments transmis par la société GETINGE, dénommée ci-après le requérant, en réponse aux demandes formulées par l'ASN à la suite de l'inspection du 18 décembre 2015, ayant fait l'objet dans la lettre citée en première référence.

Cette inspection portait sur la fabrication de capots amortisseurs pour l'emballage AGNES. Ces capots contiennent des blocs de bois (balsa et peuplier), dont certaines propriétés mécaniques sont spécifiées dans le dossier de sûreté de l'emballage. Or, l'ASN a constaté lors de l'inspection des écarts entre les valeurs spécifiées et celles mesurées en fabrication. Les éléments transmis par le requérant visent à analyser les conséquences de ces écarts sur le comportement mécanique du colis lors des épreuves réglementaires représentatives des diverses conditions de transport.

De l'expertise de ces éléments, l'IRSN retient les points importants ci-après.

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

Description du colis

L'emballage AGNES, destiné au transport de cibles irradiées, est constitué d'un corps cylindrique vertical. Il est muni à ses extrémités supérieure et inférieure de capots amortisseurs renfermant des blocs de bois. Ces deux capots sont reliés par une virole perforée. Le capot supérieur est fixé par 8 vis M16 et le capot inférieur est soudé sur cette virole.

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

Caractéristiques mécaniques des bois à température ambiante

Contraintes de résistance à la compression

Le bois des capots amortit les chocs essentiellement par déformation. Cette capacité de déformation est caractérisée principalement par la contrainte de résistance à la compression du bois. Cette

caractéristique présente pour une même essence de bois une dispersion importante, et dépend notamment de la densité du matériau.

Lors de l'inspection du 18 décembre 2015, l'ASN a constaté que :

- le fabricant n'avait réalisé des mesures de contrainte de résistance à la compression que sur un nombre réduit d'échantillons (par exemple pour le balsa, 18 échantillons sur plus de 9 000 blocs de bois approvisionnés en cinq lots). À cet égard, des essais complémentaires ont été effectués par le fabricant depuis sur au moins 40 échantillons de chaque essence ;
- ces mesures ont été effectuées uniquement avec des échantillons présentant une densité supérieure à 125 kg/m³ pour le balsa et à 450 kg/m³ pour le peuplier, alors que des blocs de densité inférieure ont été placés dans les capots fabriqués ;
- indépendamment de ces remarques, les essais réalisés montrent des contraintes de résistance à la compression pouvant être inférieures aux valeurs minimales spécifiées dans le dossier de sûreté de l'emballage (10 MPa pour le balsa et 40 MPa pour le peuplier).

Les essais complémentaires réalisés depuis par le fabricant confirment que les contraintes de résistance à la compression mesurées sont globalement inférieures à celles spécifiées dans le dossier de sûreté (en moyenne de l'ordre de 20 %). En utilisant la méthode présentée par la norme citée en deuxième référence, le requérant a évalué, respectivement pour le balsa et le peuplier, des valeurs minimales inférieures de l'ordre de 50 % et 35 % aux valeurs spécifiées. **Pour les mesures réalisées, l'IRSN estime satisfaisante l'évaluation du requérant des contraintes minimales de résistance à la compression.**

Toutefois, cette contrainte a été mesurée uniquement dans la direction parallèle aux fibres des bois. À cet égard, la résistance à la compression du bois dans les directions perpendiculaires aux fibres peut influencer également son comportement, en particulier dans le cas des blocs dont les fibres sont inclinées par rapport à la surface d'impact du colis. Néanmoins, dans le cas de l'emballage AGNES, les blocs de balsa les plus sollicités le sont dans la direction de leurs fibres. Pour l'amélioration des démonstrations de sûreté, l'IRSN estime que le requérant devrait également effectuer des mesures dans les directions perpendiculaires aux fibres des bois et, le cas échéant, tenir compte de ces valeurs dans les analyses de sûreté.

Autres caractéristiques des bois

Le requérant a effectué sur les échantillons des bois approvisionnés des mesures d'élasticité longitudinale, de contrainte de résistance à la flexion et de taux de déformation maximale avant talonnement. Selon l'IRSN, pour ces caractéristiques, les mesures effectuées concluent à des valeurs minimales inférieures à celles spécifiées par le requérant dans le dossier de sûreté. Cependant, l'IRSN estime que ces écarts ne sont pas de nature à modifier le comportement du colis en chute. Cependant, le requérant devrait tenir compte des valeurs mesurées dans les futures études.

Enfin, le requérant n'a pas mesuré le module compacté, représentatif du comportement du bois pour un écrasement supérieur à la déformation maximale avant talonnement. **À cet égard, l'IRSN estime que si un talonnement apparaît dans les simulations numériques, la valeur du module compacté devrait être déterminée par le requérant.**

Comportement mécanique du colis en conditions normales et accidentelles de transport

Le requérant analyse l'influence des caractéristiques du bois pour une séquence de chutes, représentative des conditions normales et accidentelles de transport, du colis en position horizontale. Cette orientation est la plus pénalisante en termes d'écrasement des capots et d'endommagement. Il s'appuie sur les calculs numériques par éléments finis présentés dans le dossier de sûreté et prenant en compte la contrainte de résistance à la compression des bois spécifiée dans le dossier de sûreté. Il détermine le nombre d'éléments simulant les bois qui subissent une contrainte équivalente supérieure à la contrainte de résistance à la compression minimale mesurée. Il conclut que ce nombre n'augmente pas de manière importante (par exemple de 10 % du nombre total d'éléments en balsa). Aussi, le requérant conclut que l'écart entre les valeurs spécifiées et les valeurs mesurées des résistances à la compression du bois ne met pas en cause les démonstrations du dossier de sûreté.

À cet égard, l'IRSN estime qu'une résistance à la compression du bois des capots moindre va avoir un effet sur le comportement de l'ensemble du capot. En effet, la dissipation de l'énergie du choc nécessitera la déformation d'un volume de bois plus important. Par conséquent, l'analyse basée sur le nombre d'éléments de la modélisation dépassant une valeur donnée, sans modifier la contrainte de résistance à la compression modélisée, n'est pas pertinente.

Par ailleurs, le requérant a modélisé le comportement des bois en compression par une loi bilinéaire (cf. annexe 3 du présent avis). Cette modélisation simplifiée ne prend pas en compte la « contrainte plateau » correspondant, dans le graphe déformation/contrainte, au premier domaine de plastification du bois en compression (durant lequel les fibres du bois se réorganisent), commençant au maximum de compression purement élastique et se terminant à la déformation maximale avant talonnement.

Compte tenu de ces points, l'IRSN estime que l'analyse réalisée par l'exploitant ne permet pas de conclure sur le comportement des capots fabriqués. L'IRSN considère que le requérant devrait vérifier, a minima pour la configuration de chute la plus pénalisante, le comportement mécanique du modèle de colis, en s'appuyant sur un nouveau modèle numérique considérant :

- les valeurs de contrainte de résistance à la compression des bois évaluées à partir d'échantillons issus de bois placés dans les capots. Suivant les configurations de chute, les valeurs minorantes ou majorantes, tenant compte des températures associées aux conditions normales de transport, devront être utilisées ;
- des lois de comportement en compression des bois trilineaires, afin de modéliser le domaine élastique, la « contrainte plateau » et le talonnement.

En tout état de cause, dans le cadre de la prochaine prorogation, l'IRSN considère que le requérant devra mettre à jour les démonstrations pour tenir compte des caractéristiques réelles des capots.

Par ailleurs, dans les études du dossier de sûreté, à l'issue de simulations de chute au cours desquelles des vis rompent, le requérant ne considère pas ces vis rompues au départ de la chute suivante. L'IRSN considère que, dans le cadre de nouvelles études, le requérant devrait considérer ces vis rompues au départ des chutes suivantes faisant partie de la même séquence de chutes. Par

ailleurs, le requérant devrait améliorer la prise en compte du phénomène de décollement des vis et prendre en compte la masse maximale du colis.

À l'égard de la validation des modèles de calcul, dans le dossier de sûreté, le requérant compare les résultats des simulations numériques du comportement du colis en conditions accidentelles de transport avec des essais de chute. À cet égard, le bois des capots n'a pas talonné durant les essais. **Aussi, si les nouvelles études concluaient au talonnement du bois, des compléments de justification de la validité du modèle numérique seraient nécessaires.**

Conclusion

Compte tenu des justifications présentées par la société GETINGE, l'IRSN considère que le requérant n'a pas apporté les éléments techniques permettant de répondre aux demandes de l'ASN. Dans ce cadre, l'IRSN considère que le requérant devrait prendre en compte les recommandations présentées en annexe 1 du présent avis.

Par ailleurs, l'IRSN considère que, pour améliorer les démonstrations de sûreté, le requérant devrait tenir compte des observations identifiées en annexe 2 du présent avis.

Pour le Directeur général, par ordre,
Igor LE BARS,
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Recommandations de l'IRSN

- 1) Vérifier, a minima pour la configuration de chute la plus pénalisante, le comportement mécanique du modèle de colis, en s'appuyant sur un nouveau modèle considérant :
 - a. les valeurs de contrainte de résistance à la compression des bois évaluées à partir d'échantillons issus de bois placés dans les capots. Suivant les configurations de chute, les valeurs minorantes ou majorantes, tenant compte des températures associées aux conditions normales de transport, devront être utilisées ;
 - b. des lois de comportement en compression des bois trilineaires, afin de modéliser le domaine élastique, la « contrainte plateau » et le talonnement ; ces lois devront être justifiées ;
 - c. pour les vis qui se rompent à l'issue d'une chute, que ces dernières sont rompues au départ de la simulation de chute suivante faisant partie de la même séquence de chutes ;
 - d. la masse réelle du colis.

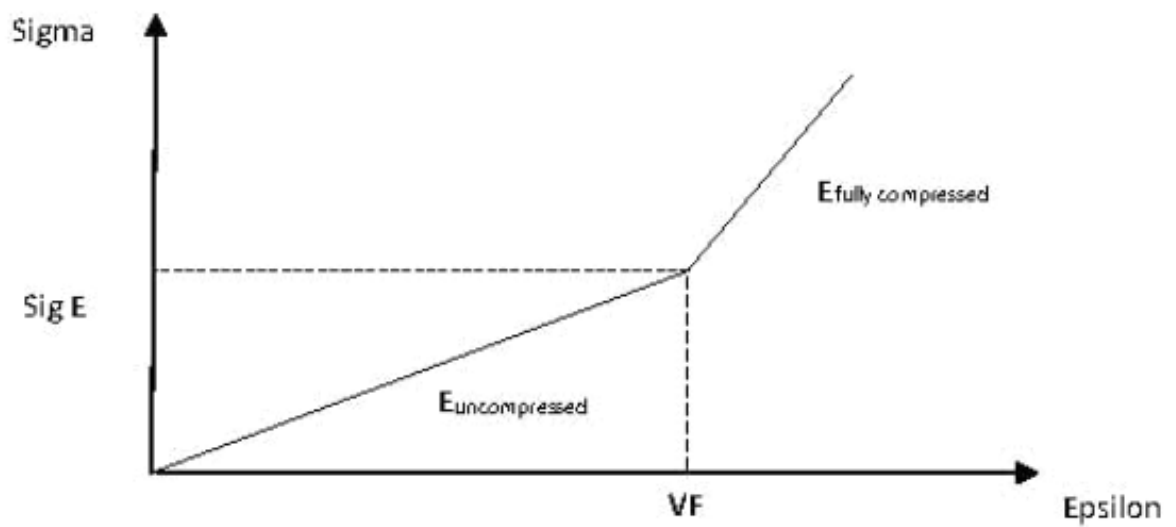
- 2) Justifier la validité du nouveau modèle numérique utilisé en particulier dans le cas où un phénomène de talonnement du bois viendrait à apparaître.

Annexe 2 à l'avis IRSN n° 2016-00209 du ~~20 juin 2016~~ ~~20 juin 2016~~ ~~20 juin 2016~~ juin 2016

Observations de l'IRSN pour l'amélioration des démonstrations de sûreté

- 1) Prendre en compte, dans les nouveaux calculs numériques, les valeurs d'élasticité longitudinale, de contrainte de résistance à la flexion et de taux de déformation maximale avant talonnement évaluées à partir des mesures effectuées.
- 2) Utiliser les valeurs des modules de cisaillement des bois corrigées.
- 3) Effectuer des mesures dans les directions perpendiculaires aux fibres des bois et tenir compte de ces valeurs dans les analyses de sûreté.
- 4) Dans le cadre de la prochaine prorogation, mettre à jour les démonstrations pour tenir compte des caractéristiques réelles des capots

Modélisation bilinéaire du comportement mécanique en compression des bois



VF : déformation correspondant au volume final entièrement compacté ;

Sig E : pression nécessaire pour que le matériau soit considéré complètement compacté.