

Fontenay-aux-Roses, le 7 novembre 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00158

Objet : Transport - Étude générique du CEA
Vieillissement des mousses et des résines des emballages de transport

Réf. : Lettre ASN CODEP-DTS-2023-068138 du 25 janvier 2024.

Par lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les réponses transmises par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), dénommé ci-après « le requérant », à des demandes concernant l'étude générique relative au vieillissement des mousses et des résines des emballages de transport.

1. CONTEXTE

Pour rappel, des blocs de mousse et de la résine sont placés dans les structures internes de certains emballages de transport. Les mousses phénoliques sont utilisées comme matériau amortisseur pour limiter les sollicitations subies par les éléments internes des emballages en cas de chute. Elles assurent également une protection thermique de ces éléments en cas d'incendie. Les résines neutrophages participent à la protection contre les rayonnements ionisants, à la protection thermique et à la prévention des risques de criticité. À cet égard, la capacité de ces résines à absorber les neutrons dépend de leur concentration en hydrogène et en bore.

En 2016, le CEA a présenté des résultats d'essais visant à caractériser les variations au cours du temps des propriétés physiques d'une nuance de mousse phénolique « humide¹ » et d'une résine neutrophage présentes dans les structures internes de certains emballages de transport du CEA. Ces essais prennent en compte les températures atteintes par ces matériaux dans les structures des emballages de transport, qui peuvent influencer sur leur vieillissement. Le requérant avait conclu que les caractéristiques de la mousse et de la résine étudiées ne variaient pas dans le temps de manière significative. À la suite d'une expertise de l'IRSN concernant les résultats de ces essais, l'ASN a formulé des demandes au requérant.

De l'expertise des réponses transmises, tenant compte des compléments apportés par le requérant au cours de l'expertise, l'IRSN retient les points suivants.

¹ Les mousses phénoliques peuvent être de densité variable et de taux d'humidité variable. Elles sont qualifiées de « sèche » ou « humide » en fonction de leur taux d'humidité lors de leur fabrication.

2. EVALUATION DE SURETE

2.1. INCERTITUDES ET MARGES DE SÛRETÉ

Le nombre d'échantillons testés par le requérant lors des essais réalisés en 2016 étant insuffisant pour permettre une analyse statistique pertinente des résultats, l'ASN a demandé au requérant de présenter la méthode retenue pour prendre en compte, dans chacun des dossiers de sûreté des modèles de colis, les incertitudes sur les propriétés mécaniques et thermiques de la mousse phénolique et de la résine neutrophage, ainsi qu'un bilan de l'incidence de la mise en œuvre de cette méthode sur les démonstrations de sûreté des modèles de colis.

Concernant la résine neutrophage, le requérant indique que celle-ci n'est pas utilisée comme protection mécanique. Les propriétés mécaniques de la résine n'étant effectivement pas aujourd'hui considérées dans les démonstrations relatives à la tenue mécanique des modèles de colis du CEA, **ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN**. Par ailleurs, pour le requérant, les essais montrent que le vieillissement n'a pas d'incidence sur la capacité thermique massique et la conductivité thermique de la résine. Aussi, il considère qu'il n'y a pas lieu de tenir compte de marge liée aux incertitudes sur ses propriétés vieilles. **La conclusion du CEA relative à l'absence de variation de la capacité thermique massique n'appelle pas de remarque**. Toutefois, l'IRSN rappelle que des écarts de l'ordre de 10 % entre la conductivité thermique mesurée sur les échantillons vieillis et celle mesurée sur l'échantillon témoin ont été observés. Aussi, étant donné que l'influence de la variation de la conductivité thermique de la résine neutrophage dépend du modèle de colis, en particulier de la puissance thermique transportée, **il appartiendra au requérant de traiter cette problématique au cas par cas dans le cadre des renouvellements d'agrément, selon les hypothèses considérées et les marges de sûreté disponibles**.

S'agissant de la mousse phénolique, le requérant indique que les résultats des essais mettent en évidence une absence d'évolution de la contrainte de compression à 50 % d'écrasement de la mousse associée au vieillissement. Il considère ainsi qu'il n'y a pas lieu de tenir compte d'incertitude sur les propriétés mécaniques vieilles de la mousse. L'IRSN souligne que la contrainte de compression de la mousse n'est pas constante en fonction du taux d'écrasement, aussi sa définition à partir d'une unique contrainte à 50 % d'écrasement n'est pas suffisante sur le principe. **Toutefois, l'IRSN convient que les variations des caractéristiques mécaniques relevées par le CEA lors des essais sont faibles**. Concernant les caractéristiques thermiques, le requérant a relevé que, aux températures considérées, le vieillissement n'a pas d'incidence sur la capacité thermique massique de la mousse. En revanche, les résultats des essais mettant en évidence une évolution de la conductivité thermique de la mousse associée au vieillissement, le requérant indique qu'il majorera cette dernière avec une marge conservative au regard des incertitudes observées lors des essais. **Pour l'IRSN, la température au sein du modèle de colis en conditions accidentelles de transport (CAT) augmentant avec la conductivité thermique des matériaux, l'ajout d'une marge sur la conductivité thermique est effectivement pénalisant. La marge retenue par le requérant n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN**.

Enfin, le requérant présente un bilan de l'incidence de la prise en compte de cette marge sur les études du comportement thermique des modèles de colis soumis à autorisation de l'ASN contenant de la mousse phénolique. Pour ce faire, il compare la valeur de conductivité spécifiée par le fabricant à la valeur prise en compte dans les études en CAT. Ainsi :

- pour le modèle de colis LR 56, le requérant indique que, la mousse phénolique n'assurant pas de fonction de sûreté liée au comportement thermique de l'emballage, la modélisation du comportement thermique figurant dans le dossier de sûreté ne tient pas compte de la mousse phénolique. Aussi, il n'est pas nécessaire de réviser les études du comportement thermique ;
- pour le modèle de colis PN-UO2, le requérant considère qu'il n'est pas nécessaire de réviser les études du comportement thermique de l'emballage compte tenu de la marge existante entre la conductivité prise en compte dans celles-ci et celle spécifiée par le fabricant ;
- pour la surcoque Manon et la citerne LR 144, les études du comportement thermique ne prennent pas en compte de marge sur la conductivité thermique. Le requérant indique que des études sont en cours pour

déterminer l'incidence de sa prise en compte au regard des marges de sûreté existant par ailleurs. Dans le cas où les conséquences associées à cette prise en compte seraient significatives, les démonstrations de sûreté seront révisées par le requérant pour le prochain renouvellement d'agrément.

L'IRSN estime que la démarche présentée par le requérant permet de répondre à l'objectif de sûreté porté par la demande de l'ASN concernant les incertitudes relatives aux propriétés mécaniques et thermiques de la mousse et de la résine.

2.2. ÉTANCHÉITÉ DES ENVELOPPES CONTENANT LES MOUSSES

Afin d'éviter une dégradation des propriétés thermiques et mécaniques des mousses phénoliques, l'étanchéité des enveloppes de confinement des blocs de mousse doit être assurée. Ainsi, l'ASN a demandé au requérant de présenter le plan de maintenance spécifiant la réalisation des contrôles d'étanchéité de ces enveloppes, ainsi que son bilan sur les emballages en service.

En réponse à cette demande, le CEA précise que l'étanchéité des enveloppes de confinement contenant les blocs de mousse est vérifiée par le contrôle de l'étanchéité des bouchons fusibles de ces enveloppes. À ce titre, le requérant a transmis l'état des lieux des contrôles réalisés sur la surcoque Manon, la citerne LR 144 et plusieurs exemplaires du modèle de colis PN-UO2. Les résultats de l'ensemble des contrôles sont conformes au critère de taux de fuite fixé à 10^{-3} Pa.m³.s⁻¹ normalisé. **Il appartiendra au requérant de justifier, au cas par cas dans les dossiers de sûreté des modèles de colis concernés, que le seul contrôle de l'étanchéité des bouchons fusibles permet de garantir que les enveloppes contenant les blocs de mousse sont étanches.** Pour le modèle de colis LR 56, le requérant indique que les enveloppes contenant les blocs de mousse ne subissent pas de contrôle d'étanchéité. Aussi, dans le cadre du prochain renouvellement d'agrément de ce modèle de colis, il étudiera la mise en place de bouchons fusibles et la mise en œuvre d'un contrôle de leur étanchéité. **À ce stade, ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

2.3. MAÎTRISE DES CARACTÉRISTIQUES DES MOUSSES AU MONTAGE

L'ASN a demandé au requérant d'apporter des éléments permettant de garantir l'absence d'évolution des propriétés de la mousse phénolique entre l'étape de vérification de ses propriétés et son montage dans l'emballage, au regard de la durée et des conditions d'entreposage entre ces deux étapes. L'ASN a également demandé au requérant de présenter des éléments relatifs à la détermination des caractéristiques mécaniques et thermiques de la mousse et de justifier que les caractéristiques de la mousse asséchée sont enveloppes de celles de la mousse humide à l'issue de sa fabrication.

En réponse, le CEA indique que, lors de la coulée de la mousse phénolique dans les moules, un bloc sacrificiel est coulé afin de fournir les échantillons nécessaires aux essais de vérification des caractéristiques physiques de la mousse. Après cuisson, les plaques de mousse sont placées dans des housses étanches, elles-mêmes superposées dans des caisses en bois en présence de sachets dessiccateurs et d'éléments de calage entre chaque plaque. Les caisses sont entreposées en intérieur, à l'abri de la lumière et de l'humidité. Lors de la fabrication des emballages, après leur usinage, les blocs de mousse sont entourés d'un film protecteur. Toutes ces étapes sont tracées dans des procédures de la société aujourd'hui chargée de la fabrication de la mousse et reprises dans un guide de fabrication, transmis au requérant. Les échantillons et les caisses en bois sont également numérotés pour assurer leur traçabilité. **Les aspects relatifs à la maîtrise de la fabrication de la mousse ne sont pas examinés dans le présent avis.**

Concernant la détermination des caractéristiques mécaniques de la mousse phénolique, le CEA indique que le bloc sacrificiel est utilisé pour vérifier la densité de la mousse humide à l'issue de sa production (par la mesure de la masse et du volume du bloc cuit). Puis, des échantillons sont tirés de ce bloc et asséchés afin de mesurer la densité et la contrainte de compression à trois températures données (-40 °C, 20 °C et 70 °C). Le requérant indique que les caractéristiques des mousses sont déterminées sur des échantillons de mousse asséchée ce qui permet de s'assurer de la reproductibilité des essais et de s'affranchir du suivi de la teneur en eau des mousses

lors de la fabrication. Sur ce point, le requérant indique que la contrainte de compression à 50 % d'écrasement de la mousse asséchée est pénalisante par rapport à celle de la mousse humide. En effet, la valeur de cette contrainte mesurée à -40 °C pour la mousse asséchée est supérieure à celle mesurée sur de la mousse humide. *A contrario*, la valeur de cette contrainte mesurée à 70 °C pour la mousse asséchée est inférieure à celle de la mousse humide. Ainsi, le CEA considère que la prise en compte des caractéristiques de la mousse asséchée dans les études de sûreté, tenant compte de marges forfaitaires supplémentaires, constitue une démarche pénalisante par rapport à la prise en compte des caractéristiques de la mousse présente dans les emballages.

Concernant la détermination des propriétés thermiques de la mousse phénolique, le requérant indique que celles-ci ont fait l'objet d'un programme de qualification par le fabricant de la mousse et ne sont pas revérifiées à chaque fabrication d'emballage.

L'IRSN estime que les éléments présentés par le CEA permettent de répondre de manière satisfaisante aux demandes de l'ASN relatives à la maîtrise des caractéristiques des mousses phénoliques au montage.

2.4. HOMOGÉNÉITÉ DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

L'ASN a demandé au requérant de justifier d'une part la représentativité des échantillons de mousse et de résine utilisés pour déterminer leurs caractéristiques physiques, d'autre part que les principes mis en œuvre pour définir les plans de contrôle garantissent leur représentativité, la mousse étant répartie de manière hétérogène dans les emballages. L'ASN a formulé des demandes complémentaires relatives à la justification du caractère isotrope et homogène de la mousse et de la résine, notamment au regard des effets de bord.

En réponse, le CEA indique que le fabricant de la mousse a étudié sa microstructure, notamment la taille des cellules et les effets de bord. Ainsi, le CEA relève que la taille des cellules de la mousse est homogène et se situe autour de 100 µm. De plus, si la densité de la mousse varie dans les premiers millimètres en périphérie, celle-ci se stabilise autour de la densité recherchée au-delà de cette limite. Le requérant considère que ces effets de bord n'ont pas d'influence sur le comportement global de la mousse dans l'amortissement des chocs. Le CEA n'a pas transmis les études menées par le fabricant. **L'IRSN rappelle que les aspects relatifs à la fabrication de la mousse ne sont pas examinés dans le présent avis.**

De plus, le requérant indique que, afin de s'assurer que les échantillons sont représentatifs de ce comportement global, le fabricant ne prélève pas les échantillons dans les quinze premiers millimètres du bord des blocs. Par conséquent, le requérant conclut d'une part que le prélèvement des échantillons de mousse et de résine dans les fabrications passées et en cours est déjà adapté et ne nécessite pas d'être complété, d'autre part qu'il n'est pas nécessaire d'établir un plan de contrôle spécifique pour sélectionner les zones d'échantillons garantissant leur représentativité.

Concernant la résine, le requérant a indiqué que le phénomène d'effet de bord n'a pas été étudié, mais que les coupes réalisées pour obtenir les éprouvettes montrent une homogénéité du matériau. Il indique également que, la résine n'étant pas un matériau poreux, sa densité est homogène.

L'IRSN estime que les éléments présentés par le CEA permettent de répondre de manière satisfaisante à l'objectif de sûreté porté par les demandes de l'ASN.

2.5. SUIVI DES ABSORBANTS NEUTRONIQUES EN MAINTENANCE

Les matériaux neutrophages contenus dans les modèles de colis TN-BGC1 et PN-UO2 n'ont pas fait l'objet d'essais de vieillissement. Aussi, l'ASN a demandé au requérant de transmettre une synthèse des essais réalisés pour vérifier le maintien dans le temps des caractéristiques de ces absorbants neutroniques, ainsi que la qualification de son banc de mesure et les critères d'acceptation fixés.

En réponse, le requérant présente les résultats de la qualification d'un nouveau banc de contrôle de l'efficacité des matériaux neutrophages, mis en service en janvier 2015. Il indique avoir effectué trois séries de comparaison

pour s'assurer de la validité des mesures réalisées avec le banc, en se fixant comme critère 5 % d'écart entre toutes ces mesures pour justifier de sa qualification. Ainsi, il a comparé :

- des mesures réalisées par les détecteurs neutroniques lors de leur installation sur le banc en présence d'une source avec des mesures transmises par le banc après traitement du signal ;
- des mesures réalisées avec le banc sur cinq emballages TN-BGC1 en présence d'une source avec des résultats de calculs réalisés avec le code MCNPX V2.6 ;
- des mesures réalisées avec le banc sur un emballage PN-UO2 et un emballage TN-BGC1 avec les mêmes mesures effectuées à quelques minutes d'intervalle afin d'évaluer leur répétabilité.

Les comparaisons de toutes ces mesures ayant conduit à un écart inférieur à 5 %, le CEA conclut à la qualification du banc de mesure. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Concernant les essais réalisés avec le banc, le CEA indique que les contrôles effectués sur les exemplaires des deux modèles de colis concernés ont tous été déclarés conformes. L'IRSN souligne que la synthèse présente des contrôles réalisés sur une période trop courte (2 à 4 ans) pour apprécier le maintien des caractéristiques des absorbants neutroniques dans le temps. Toutefois, pour ce qui concerne le modèle de colis TN-BGC1, dans le cadre de la demande de renouvellement d'agrément de 2019, le CEA avait noté l'absence de variation dans le temps des mesures réalisées depuis la mise en service des emballages, ce qui l'avait conduit à supprimer ce contrôle en maintenance. **Ceci n'avait pas appelé de remarque de la part de l'IRSN.** Concernant le modèle de colis PN-UO2, le CEA indique qu'il prévoit également de supprimer ce contrôle en maintenance lors du prochain renouvellement d'agrément. **Ce point sera examiné dans ce cadre.**

3. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés, l'IRSN estime que les éléments transmis par le CEA permettent globalement de répondre de manière satisfaisante aux objectifs de sûreté portés par les demandes génériques de l'ASN concernant le vieillissement des mousses et des résines des emballages de transports. Certains sujets spécifiques aux différents modèles de colis restent à traiter dans le cadre de leurs renouvellements d'agrément.

En outre, le CEA a annoncé l'arrêt de la production de la résine qui a fait l'objet des essais et la mise en œuvre d'une nouvelle résine pour les fabrications d'emballages en cours et futures. L'IRSN rappelle que les essais de vieillissement réalisés par le CEA portent sur des nuances particulières de matériaux et que l'utilisation des résultats de ces essais dans les démonstrations de sûreté des modèles de colis doit être justifiée au cas par cas.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Eric LETANG

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté