

Fontenay-aux-Roses, le 12 août 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2021-00152

Objet : Transport – Prorogation d'agrément du modèle de colis MX8

Réf. :

- [1] Lettre ASN – CODEP-DTS-2021-002596 du 13 janvier 2021.
- [2] Règlement AIEA n° SSR-6 édition 2018 : « Règlement de transport des matières radioactives ».
- [3] B. Eckert et al. « New Outcome from Combustion of Wood inside Package Shock Absorber after Fire Test » : Paper no. 456 of the 17th International Symposium on the Package and Transport of Radioactive Materials (PATRAM 2013).

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la conformité du modèle de colis MX8 à la réglementation citée en deuxième référence, tel que décrit dans le dossier de sûreté joint à la demande de prorogation d'agrément transmise en octobre 2020 par la société Orano TN (devenue, en novembre 2020, Orano Nuclear Packages Services dite « Orano NPS » et dénommée ci-après « le requérant »).

Cette demande concerne le transport par voie routière du modèle de colis MX8 chargé de huit assemblages combustibles neufs complets à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX) destinés à des réacteurs à eau sous pression (REP), en tant que modèle de colis du type B(M) contenant des matières fissiles. Les certificats d'agrément délivrés par l'ASN en cours de validité expireront en novembre 2021. Le caractère multilatéral de l'agrément résulte d'une limitation à -27 °C de la température ambiante admissible du fait des types de joints d'étanchéité utilisés.

À l'occasion de la présente demande, le requérant a mis à jour certaines parties du dossier de sûreté, notamment afin de répondre aux demandes formulées par l'ASN à l'issue des précédentes instructions relatives à ce modèle de colis.

L'expertise de l'IRSN a porté plus particulièrement sur les réponses du requérant aux demandes antérieures de l'ASN et sur le retour d'expérience acquis au cours des opérations de maintenance des emballages MX8 existants. De cette expertise, il ressort les points importants ci-après.

1. PRESENTATION DU MODELE DE COLIS

1.1. DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE

Pour mémoire, l'emballage MX8, de forme générale cylindrique, est constitué d'un corps, d'un système de fermeture et de deux capots amortisseurs de choc. Le corps est formé radialement par deux enveloppes en acier inoxydable entre lesquelles est disposée de la résine neutrophage. Un fond est soudé aux deux viroles. Le système de fermeture est constitué, d'une part d'un couvercle vissé au corps de l'emballage, d'autre part de quatre orifices obturés par des tampons vissés sur le couvercle et le corps de l'emballage. L'étanchéité de chacun des éléments du système de fermeture est assurée par des joints en élastomère. Le système amortisseur de choc est composé d'un capot de couvercle et d'un capot de fond en bois recouvert de tôles. Le colis peut être transporté sous une canopée de transport.

Le modèle d'emballage a fait l'objet des principales modifications suivantes dans le cadre de la présente demande :

- remplacement des joints en élastomère de type EPDM du couvercle par des joints en élastomère de type FKM, ce qui permet d'augmenter la température d'utilisation maximale afin, notamment, de dégager des marges de sûreté lors de l'épreuve thermique (cf. paragraphe 2.2) ;
- diminution des dimensions des joints du couvercle afin de limiter leur risque d'extrusion (cf. paragraphe 2.3).

1.2. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS INTERNES ET DU CONTENU

Les aménagements internes de l'emballage, constitués d'un panier de forme générale cylindrique comportant huit logements et de systèmes de bridage axial et latéral des assemblages combustibles chargés, n'ont pas évolué depuis la précédente demande de prorogation.

Le contenu faisant l'objet de la demande de prorogation est constitué d'au maximum huit assemblages combustibles MOX neufs complets en réseau 17x17, destinés aux réacteurs 900 MWe du parc électronucléaire français, chargés dans un panier assurant leur calage dans la cavité de l'emballage.

La définition du contenu a été étendue au cours de l'expertise pour prendre en compte la géométrie particulière d'un certain type d'assemblages dits « GAIA ». Pour ces assemblages, la hauteur des grilles de maintien des crayons combustibles de l'assemblage est légèrement plus importante, ce qui conduit à réduire la distance inter-grille libre nominale en partie courante et en partie basse. Les autres paramètres du contenu concernant la puissance thermique, l'activité maximale et les vecteurs isotopiques sont inchangés par rapport au certificat d'agrément en vigueur. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

2. DEMONSTRATION DE SURETE

2.1. COMPORTEMENT MECANIQUE

2.1.1. Dimensionnement des vis

Pour faire suite à une demande de l'ASN concernant la justification des valeurs des coefficients de frottement retenus pour les vis de fixation des tourillons, au regard de l'état de surface du revêtement, de la taille et de la lubrification de ces vis, le requérant a mis à jour les calculs de dimensionnement des vis en considérant un coefficient de frottement tenant compte d'une incertitude élargie. En outre, le requérant a introduit une interdiction sur l'utilisation de lubrifiants ayant un coefficient de frottement inférieur à 0,1 afin d'écarter le risque de plastification des vis, en particulier celles de l'enveloppe de confinement. **Sur le principe, cette mise à jour est acceptable et permet de répondre à la demande de l'ASN.**

S'agissant des vis du système de fermeture, le requérant a mis à jour le dossier de sûreté notamment en incluant une analyse des conséquences des sollicitations rencontrées en conditions de transport de routine (CTR) sur les éléments vissés de l'emballage MX8. **Ceci permet de répondre de manière acceptable à une demande de l'ASN.**

L'IRSN relève toutefois que, pour les vis des tapes du modèle de colis MX8, le taux de charge évalué par le requérant est supérieur au critère de dimensionnement usuellement retenu de 90 %. En outre, le retour d'expérience fourni par le requérant fait état d'un défaut observé sur la visserie des tapes (ce qui avait conduit le requérant à déclarer un évènement de transport auprès de l'ASN). **Aussi, l'IRSN estime nécessaire que le critère de dimensionnement précité soit respecté. Ce point fait l'objet de l'observation n° 1 formulée en annexe 2 au présent avis.**

Par ailleurs, l'IRSN souligne qu'il existe un risque d'augmentation des coefficients de frottement maximaux avec les cycles de serrage et de desserrage. En outre, pour certains éléments importants pour le confinement, notamment le couvercle, le dossier de sûreté ne contient pas d'analyse du décollement transitoire en conditions accidentelles de transport (CAT), susceptible de conduire à un relâchement de matière, notamment au regard de la vitesse de réaction des joints par rapport aux vis, tenant compte de leur vieillissement. **Ces points font l'objet de l'observation n° 2 formulée en annexe 2 au présent avis.**

2.1.2. Dimensionnement des organes d'arrimage

Pour faire suite à une demande de l'ASN concernant l'étude de la tenue mécanique des soudures des oreilles de verrouillage, élément sensible des organes d'arrimage, le requérant a précisé, dans le dossier de sûreté, que l'oreille de verrouillage du concept d'emballage est un élément monobloc. Le requérant a de plus confirmé que les cinq exemplaires en circulation sont équipés des concepts monoblocs. Il n'existe donc aucune soudure entre l'embase et l'oreille de verrouillage. **Ceci est satisfaisant.**

Par ailleurs, en réponse à une demande de l'ASN de justifier la tenue des organes d'arrimage du colis en fatigue, le requérant a réalisé une série de mesures accélérométriques lors du transport d'un emballage MX8 vide afin de les comparer aux cycles d'accélération retenus dans le dossier de sûreté issus de mesures réalisées lors du transport d'un emballage NTL8/3 chargé. L'IRSN relève une différence de masse entre ces deux systèmes, ainsi que des différences entre les châssis de transport et souligne que les mesures ont été effectuées sur un emballage MX8 vide et non chargé (ce qui augmenterait sa masse et la possible transmission d'effets vibratoires du chargement sur l'emballage). Aussi, l'IRSN estime que les accélérations mesurées pourraient ne pas être représentatives de celles rencontrées par le modèle de colis MX8 chargé de ses assemblages combustibles et, par conséquent, que la représentativité des accélérations retenues dans les démonstrations de sûreté n'est pas complètement acquise. **Néanmoins, compte tenu des marges dégagées dans le calcul du requérant et des fréquences propres de l'emballage, l'IRSN estime que la prise en compte de ce point ne devrait pas mettre en cause les conclusions du requérant.**

2.1.3. Comportement mécanique du bois en conditions accidentelles de transport

La loi numérique retenue par le requérant pour modéliser, en CAT, le comportement du bois équipant les capots amortisseurs est fondé sur un recalage dans lequel le bois est modélisé sous la forme d'une structure en nid d'abeilles. Le modèle présente une partie linéaire représentant le comportement élastique, suivie d'une partie en forme de plateau allant jusqu'à déformation à talonnement, puis une partie linéaire jusqu'à la déformation à compaction dont la valeur est déterminée par calcul à partir de la porosité du bois. L'IRSN relève que cette linéarisation ne prend pas en compte certains phénomènes pouvant conduire à la ruine du bois (flambements et instabilités mécaniques propres à la structure du bois) et que la littérature propose d'autres paramètres, fondés sur des essais, pouvant mener à une déformation à compaction différente. À cet égard, les paramètres du calcul réalisé par le requérant sont théoriques et ne reposent pas sur des essais. Étant donné que le talonnement est dépassé pour une grande partie du bois du capot en particulier dans le cas des chutes obliques à la température maximale atteinte en conditions normales de transport (CNT), ceci pourrait entraîner une répartition des

contraintes différente dans le capot mais aussi transmettre les efforts différemment au couvercle. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 3 formulée en annexe 2 au présent avis.**

De plus, la littérature montre une dépendance de la vitesse de déformation sur les réponses du bois. Bien qu'un recalage soit effectué à partir des essais de chute sur les maquettes à température ambiante, ce qui permet *a priori* de prendre en compte des effets d'écrasement dynamique, le caractère conservatif des résultats de chute en température, en particulier celle à la température maximale des CNT, n'est pas justifié. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 4 formulée en annexe 2 au présent avis.**

2.1.4. Analyse modale

En réponse à une demande de l'ASN de justifier les fréquences de filtrage des mesures accélérométriques retenues lors des essais de chute, en particulier en tenant compte de l'analyse modale des chutes en positions axiale et inclinée, le requérant a complété l'analyse modale du modèle de colis en conséquence. **L'approche retenue est globalement acceptable.**

2.2. COMPORTEMENT THERMIQUE

En réponse à la demande de l'ASN d'analyser l'influence de l'orientation du colis lors de la phase de refroidissement à l'issue des 30 minutes de feu, le requérant détermine que l'étude en position horizontale est conservatrice en s'appuyant sur une étude théorique montrant que le coefficient d'échange convectif est plus faible dans le cas du cylindre horizontal. Il est donc pénalisant de considérer le colis dans une position horizontale pendant la phase de refroidissement, afin de minimiser les échanges par convection et ainsi augmenter la température des composants sensibles du modèle de colis. **Ceci est satisfaisant.**

À l'issue de l'expertise du dossier de sûreté transmis en appui de la précédente demande de prorogation, l'ASN a demandé au requérant de considérer les conséquences sur la sûreté du modèle de colis MX8 d'une poursuite de combustion du bois à la suite de l'épreuve de feu en cas de perforation du capot lors de la chute réglementaire sur poinçon du modèle de colis. En réponse, le requérant justifie l'absence de combustion par le fait qu'à l'issue de la chute sur poinçon, le capot n'a jamais été traversé de part en part, ce qui empêche l'effet de tirage thermique nécessaire pour favoriser cette combustion. De plus, la température maximale atteinte pour les joints du capot est de 200 °C lors de l'épreuve de feu, ce qui représente une marge de 80 °C par rapport à la température admissible des nouveaux joints en FKM en régime transitoire, supérieure à l'augmentation de température de 50 °C constatée sur les joints d'un colis soumis à la poursuite de la combustion du bois des capots dont l'essai est détaillé dans la publication citée en troisième référence.

L'IRSN estime que l'absence d'effet de tirage thermique n'est pas complètement garantie au regard des résultats de certaines chutes sur poinçon qui pourraient être aggravés en température et que la circulation de gaz chauds pourrait également être favorisée par la rupture de certaines soudures ; ainsi, **l'absence de poursuite de la combustion du bois n'est pas complètement démontrée. Toutefois, compte tenu des marges dégagées sur les températures atteintes par les joints et du caractère peu massif des capots, l'IRSN estime que les conséquences pour la sûreté sont limitées.**

2.3. CONFINEMENT

En réponse à la demande de l'ASN concernant le risque d'extrusion des joints du couvercle en CAT, le requérant a diminué les dimensions des gorges du couvercle pour, d'une part tenir compte de l'augmentation du coefficient de dilatation des nouveaux joints en FKM par rapport aux joints en EPDM précédemment utilisés, d'autre part tenir compte de la température locale maximale des joints d'étanchéité et non la température moyenne comme cela était fait lors de la précédente demande de prorogation. Les résultats montrent un taux de remplissage des gorges de joint inférieur à 100 % en considérant l'absence de dilatation des gorges. **Ceci est satisfaisant.**

De plus, le requérant a mis à jour les calculs de taux de compression des joints et montre que le taux de compression minimal de 14,5 % est atteint pour les joints de tampon et de leur siège. L'IRSN relève que cette

évaluation ne tient pas compte de la déformation rémanente des joints qui dépend en particulier de la durée effective d'utilisation et de la température à laquelle ils sont exposés. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 5 formulée en annexe 2 au présent avis.**

En outre, l'IRSN relève que certains joints peuvent présenter des taux d'étirement très élevés, jusqu'à 15 %, lors de leur mise en place dans leur gorge. Or un tel étirement pourrait entraîner une usure prématurée susceptible d'avoir des conséquences sur le niveau d'étanchéité du système de fermeture ; en outre, il n'est pas formellement démontré qu'une telle contrainte soit sans conséquence sur la tenue des joints en température et le maintien de l'étanchéité des tapes, en particulier lorsque la température approche le début de la zone de transition vitreuse des joints FKM estimée à -27°C. **Ceci fait l'objet de la Recommandation n° 1 formulée en annexe 1 au présent avis.**

2.4. PREVENTION DU RISQUE DE CRITICITE

S'agissant de la prévention du risque de criticité, le requérant a mis à jour le dossier de sûreté en ajoutant une analyse de sensibilité sur le positionnement du bas de la partie active à une distance du fond de l'emballage d'au plus 194 mm et en prenant en compte la géométrie des assemblages dits « GAIA ». **Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN.**

2.5. RADIOPROTECTION

Le requérant a mis à jour l'étude de radioprotection afin de prendre en compte, d'une part une composition conservatrice de la résine neutrophage, d'autre part le risque d'écartement axial de tronçons de paniers à l'issue d'une chute représentative des CNT. Les critères réglementaires sont respectés. **Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN.**

Le débit d'équivalent de dose à 2 m du véhicule pour le contenu maximal n'est pas évalué dans le dossier de sûreté. Au cours de l'expertise, le requérant a indiqué qu'avec le contenu maximal théorique défini dans le dossier de sûreté, il n'est pas possible de garantir que la limite de 0,1 mSv/h n'est pas dépassée. Aussi, la vérification du respect des critères réglementaires de débit d'équivalent de dose en CTR est réalisée avec les caractéristiques réelles du contenu préalablement à son chargement et vérifié avant son expédition. **Cette démarche est en accord avec la doctrine de l'ASN.**

3. RETOUR D'EXPERIENCE

Le retour d'expérience fait état des anomalies rencontrées au cours de la période 2014-2019 qui ont toutes conduit à une analyse et une résolution. Indépendamment des anomalies ayant fait l'objet d'une déclaration d'évènement de transport auprès de l'ASN qui ont fait l'objet d'analyses appropriées, l'IRSN relève en particulier que :

- plusieurs défauts d'étanchéité du compartiment inter-viroles associés à des fuites au niveau des bouchons fusibles ont été mis en évidence lors de maintenances préventives des emballages MX8, ce qui a conduit le requérant à ajouter un contrôle d'étanchéité des bouchons fusibles du corps de l'emballage lors des maintenances des 4 ans ou 20 cycles. Le dossier de sûreté n'ayant pas été modifié en ce sens, **il conviendra que le requérant s'assure de l'intégration de ce contrôle lors de la prochaine mise à jour du dossier de sûreté ;**
- quelques défauts d'étanchéité ont été constatés sur les capots amortisseurs lors des maintenances préventives des emballages MX8, ce qui a conduit le requérant à ajouter, dans les instructions d'utilisation du dossier de sûreté, un contrôle des capots lors des maintenances des 4 ans ou 20 cycles. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

4. CONCLUSION

Compte tenu des justifications de sûreté présentées par le requérant, l'IRSN considère que le modèle de colis MX8 tel que défini dans le projet de certificat est conforme aux prescriptions réglementaires applicables aux modèles de colis du type B(M) contenant des matières fissiles. Néanmoins, le requérant devra prendre en compte la recommandation formulée en annexe 1 du présent avis.

En outre, l'IRSN considère qu'afin d'améliorer la démonstration de sûreté, le requérant devrait tenir compte des observations formulées en annexe 2 du présent avis.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Anne-Cécile JOUVE

Adjointe au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2021-00152 DU 12 AOUT 2021

Recommandation de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que le requérant justifie que l'étirement des joints de confinement des tapes du modèle de colis MX8 n'a pas de conséquence significative sur leur niveau d'étanchéité dans toutes les conditions de transport.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2021-00152 DU 12 AOUT 2021

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN estime que le requérant devrait utiliser un lubrifiant pour les vis des tapes du modèle de colis MX8 permettant d'assurer un taux de charge maximal de 90 %.

Observation n° 2

L'IRSN estime que la plage de coefficients de frottement retenue dans l'étude du dimensionnement des vis du modèle de colis MX8 devrait être élargie pour prendre en compte les effets des cycles de serrage et de desserrage. Par ailleurs, le requérant devrait évaluer le risque de décollement transitoire en CAT pour cette plage de coefficients de frottement.

Observation n° 3

L'IRSN estime que le requérant devrait justifier le caractère conservatif de la loi de comportement du bois utilisé dans les capots du modèle de colis MX8 et du point de compaction maximale du bois retenu dans cette loi.

Observation n° 4

L'IRSN estime le requérant devrait justifier que les effets dynamiques ont été pris en compte dans la modélisation du comportement du bois des capots équipant le modèle de colis MX8, en portant une attention particulière aux températures maximales atteintes en CNT.

Observation n° 5

L'IRSN estime que le requérant devrait tenir compte d'une déformation rémanente de compression justifiée dans l'évaluation du taux de compression minimal des joints de confinement et s'assurer de l'étanchéité du modèle de colis MX8 dans toutes les conditions de transport.