



Fontenay-aux-Roses, le 16 juillet 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2024-00112

**Objet :** Transport - Renouvellement d'agrément du modèle de colis TN 24 ER

**Réf. :** [1] Lettre ASN CODEP-DTS-2023-061634 du 13 novembre 2023.  
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2018.  
[3] Guide de l'AIEA - SSG-26 - Édition de 2018.  
[4] Guide n° 28 de l'ASN du 25 juillet 2017.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le niveau de sûreté du modèle de colis TN 24 ER, tel que décrit dans le dossier de sûreté joint à la demande de renouvellement d'agrément présentée par la société Orano Nuclear Packages and Services (Orano NPS), dénommée ci-après « le requérant ».

Le modèle de colis TN 24 ER, dont l'agrément en tant que colis de type B(U) chargé de matières fissiles a expiré le 1<sup>er</sup> mars 2022, est destiné, pour le marché italien, au transport par voies terrestre et maritime et à l'entreposage d'assemblages combustibles irradiés à base d'oxyde mixte de thorium et d'uranium. À l'heure actuelle, les emballages TN 24 ER sont en cours de fabrication. Dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément, le requérant a apporté des réponses aux demandes de l'ASN et a mis à jour le dossier de sûreté, afin notamment de prendre en compte le retour d'expérience en fabrication, l'état de l'art et des connaissances et les nouvelles exigences issues de la réglementation de l'AIEA citée en deuxième référence.

Conformément à la saisine de l'ASN, l'IRSN a examiné le niveau de sûreté du modèle de colis TN 24 ER, ainsi que l'analyse des mécanismes de vieillissement, conformément à l'édition 2018 de la réglementation de l'AIEA citée en deuxième référence.

De l'évaluation des documents transmis, tenant compte des compléments apportés par le requérant au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux éléments suivants.

## 1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

### 1.1. DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE

L'emballage TN 24 ER, de forme générale cylindrique, est constitué d'une virole épaisse en acier avec un fond soudé. La cavité est fermée par deux couvercles, primaire et secondaire, comportant chacun un orifice obturé par une tige vissée. L'étanchéité des ouvertures (couvercles et orifices) est assurée par des joints métalliques. Pour chacun des couvercles, un joint externe en élastomère permet de réaliser le test d'étanchéité. Chaque extrémité de l'emballage est équipée de capots amortisseurs constitués de blocs de bois recouverts de tôles en

acier inoxydable. Pour les opérations de manutention et d'arrimage, l'emballage TN 24 ER est équipé de deux paires de tourillons fixés à la virole par des vis.

Dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément, le requérant a réalisé quelques modifications de l'emballage TN 24 ER, notamment concernant certaines caractéristiques et dimensions des joints métalliques. La modification de la restitution élastique pour le joint métallique de la tôle d'orifice du couvercle secondaire est abordée au paragraphe 2.2 du présent avis. **Les autres modifications, prises en compte par le requérant dans la démonstration de sûreté du modèle de colis TN 24 ER, n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.** En outre, afin de rendre le dossier de sûreté le plus neutre possible à cause des difficultés d'approvisionnement des joints en élastomère, le requérant a supprimé le type d'élastomère utilisé, ainsi que la qualité requise, tout en précisant un nouveau coefficient de dilatation thermique linéique maximal.

## 1.2. DESCRIPTION DES CONTENUS ET DES AMÉNAGEMENTS INTERNES

Les aménagements internes et le contenu du modèle de colis TN 24 ER n'ont pas fait l'objet de modification dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément. Pour rappel, le contenu est constitué d'assemblages combustibles irradiés à base d'oxyde mixte d'uranium et de thorium en réacteurs à eau bouillante.

Chaque assemblage est conditionné dans une boîte de confinement en acier inoxydable composée d'un fond soudé et d'un couvercle fixé à la boîte par des vis. Le couvercle et le fond sont équipés de filtres permettant l'évacuation de l'eau au cours des opérations de drainage et de séchage. Les boîtes de confinement sont placées dans un panier introduit dans la cavité de l'emballage. Le panier est constitué d'un empilement alterné de disques en acier inoxydable et en aluminium maintenus par des tirants.

## 2. COMPORTEMENT MÉCANIQUE

### 2.1. CONDITIONS DE TRANSPORT DE ROUTINE (CTR)

Le requérant n'a pas modifié la démarche utilisée pour démontrer la tenue mécanique des tourillons lors de l'arrimage et la manutention du modèle de colis TN 24 ER dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément. Il a néanmoins mis à jour les accélérations représentatives des CTR afin de prendre en compte celles préconisées par le guide de l'AIEA cité en troisième référence. Les contraintes réévaluées sont inférieures aux critères d'acceptabilité. **Ceci est satisfaisant.** Par ailleurs, le requérant modélise le contact entre les tourillons et l'organe de manutention ou d'arrimage en supposant une répartition des efforts sur un secteur angulaire. Au cours de l'expertise, le requérant a réévalué et réduit cet angle de contact en prenant en compte les dimensions des organes d'arrimage et de manutention. En s'appuyant sur une étude de sensibilité relative à l'angle de contact, réalisée pour les modèles de colis TN 24 BH et TN G3, le requérant précise néanmoins que la réduction de l'angle de contact entraîne une augmentation modérée de la contrainte appliquée sur le tourillon. **Compte tenu des marges existantes pour le modèle de colis TN 24 ER, l'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

Concernant la démonstration de la tenue en fatigue des tourillons lors de l'arrimage du modèle de colis TN 24 ER et en réponse à une demande de l'ASN relative aux sollicitations retenues en transport maritime, le requérant a mis à jour le profil et le nombre des cycles d'accélération en utilisant une approche validée par l'ASN. Le requérant a ainsi recalculé le dommage lié à la fatigue avec ces nouvelles sollicitations, qui reste bien inférieur au critère retenu. **L'IRSN considère que le requérant a répondu de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

Enfin, le requérant a évalué l'absence de décollement des composants du système de fermeture de l'enveloppe de confinement du modèle de colis TN 24 ER en considérant le cumul des efforts induits par les joints métalliques, par les accélérations représentatives des CTR et par la pression interne. La précharge minimale des vis des composants du système de fermeture reste supérieure en CTR au cumul de ces efforts. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

## 2.2. CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT (CAT)

Le requérant n'a pas modifié la démarche de démonstration de la tenue mécanique du modèle de colis TN 24 ER dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément. Pour rappel, la démonstration se fonde, d'une part sur une analogie effectuée par rapport aux études mécaniques des modèles de colis TN 24 GET, TN 97 L et TN 81 qui s'appuient sur des essais de chute, d'autre part sur des calculs numériques de chutes de 9 m du modèle de colis TN 24 ER.

Le requérant indique que la majorité de ces calculs a été effectuée avec un modèle numérique adapté de celui du TN 24 GET, qui a lui-même été validé par rapport aux essais de chutes axiale, latérale et oblique d'une maquette représentative du TN 24 GET. Contrairement à ce qui est préconisé dans le guide de l'ASN cité en quatrième référence, l'IRSN note toutefois que le requérant ne prend pas en compte les incertitudes issues de l'analyse comparative entre les essais et les calculs. Cependant, étant donné que les accélérations maximales considérées dans la démonstration de la tenue mécanique des aménagements internes seraient très faiblement affectées par ces incertitudes, **l'IRSN estime que ceci est acceptable**. Pour arriver à un bon niveau de recalage, le requérant prend en compte, dans le modèle numérique du TN 24 GET, les soudures des goussets des capots avec un critère de rupture. Cependant, pour les calculs numériques de chutes axiales, latérales et obliques du TN 24 ER, présentés dans le dossier de sûreté, le requérant modifie le modèle numérique en modélisant les goussets des capots, soit avec un contact en nœuds communs dans le cas des chutes axiales et obliques, ainsi que latérales à « froid », afin de maximiser les accélérations, soit avec un contact libre dans le cas de la chute latérale à « chaud » afin de maximiser les écrasements. **Les choix retenus de modélisation des goussets étant pénalisants pour les différentes chutes, ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

En réponse à une demande de l'ASN relative à la méthode utilisée pour modéliser le comportement du bois des capots amortisseurs, le requérant a transmis les lois de comportement des bois utilisées dans le modèle numérique pour les directions perpendiculaire et parallèle aux fibres de bois. **L'IRSN estime que les éléments présentés permettent de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.** Par ailleurs, en réponse à une demande de l'ASN relative à la justification des coefficients d'adoucissement ou de durcissement utilisés pour déterminer la contrainte d'écrasement à « froid » et à « chaud » pour la direction perpendiculaire aux fibres de bois, le requérant a réalisé une étude de sensibilité sur ces coefficients en augmentant ou en diminuant la contrainte d'écrasement perpendiculaire aux fibres de bois. Il en déduit que les valeurs retenues pour ces coefficients dans la direction perpendiculaire aux fibres ont un impact faible sur les résultats des calculs numériques. **L'IRSN estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

S'agissant de la chute latérale de 9 m, le requérant détermine, dans le dossier de sûreté, l'inclinaison de chute la plus pénalisante en effectuant un balayage sur différents angles. Ces calculs ont été effectués à l'aide d'un ancien modèle numérique du TN 24 ER qui n'a pas fait l'objet d'une validation aussi complète que le modèle numérique précité. En outre, ils ne s'appuient pas sur les caractéristiques « à froid » du bois qui maximiseraient les accélérations. Aussi, le requérant a effectué, au cours de l'expertise, un nouveau calcul en utilisant le modèle numérique plus récent avec les caractéristiques du bois « à froid » et en modélisant les soudures des goussets des capots amortisseurs avec un critère de rupture. L'IRSN note que la manière de modéliser les soudures des goussets influe de manière importante sur les résultats du modèle numérique. Aussi, l'IRSN souligne l'importance de réaliser une qualification du modèle numérique par rapport à des essais de chute. **Étant donné que le modèle numérique plus récent a été validé par rapport à des essais de chute, l'IRSN estime que ceci est acceptable.** Les accélérations maximales obtenues pour toutes les inclinaisons de chute sont inférieures aux accélérations utilisées dans la démonstration relative à la tenue mécanique de l'enceinte de confinement du modèle de colis TN 24 ER. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

En réponse à une demande de l'ASN relative à la représentativité des précharges des vis des composants de l'enveloppe de confinement retenues pour les maquettes, le requérant a indiqué que la simulation du comportement des vis des couvercles primaire et secondaire en chute de 9 m n'a pas mené à des dommages significatifs. **L'IRSN note que la modélisation du comportement des vis n'a pas été recalée par rapport aux**

**essais de chute.** Le requérant souligne toutefois que la capacité des modèles numériques à simuler le comportement de la visserie a été montrée sur d'autres modèles de colis comme le TN 24 DH + et le TN Eagle. **Compte tenu des marges importantes par rapport au critère de relâchement d'activité en CAT, l'IRSN estime que les éléments présentés par le requérant sont satisfaisants.** Par ailleurs, pour les tapes d'orifice des couvercles primaire et secondaire et en considérant la modification sur la restitution élastique du joint de la tape d'orifice du couvercle secondaire, le requérant a vérifié par calculs analytiques l'absence de décollement des tapes en chute de 9 m. **L'IRSN estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à l'enjeu de sûreté soulevé par la demande de l'ASN relative à la représentativité des couples de serrage.**

S'agissant de la tenue mécanique du panier, qui avait fait l'objet de plusieurs demandes de l'ASN, le requérant a réévalué l'accélération maximale obtenue en chute latérale en augmentant la fréquence de filtrage, en cohérence avec l'analyse des modes propres du panier. Néanmoins, le requérant indique que l'augmentation de l'accélération maximale obtenue par cette réévaluation est couverte par les marges associées aux analyses mécaniques du panier. **Compte tenu des marges, l'IRSN estime que les éléments apportés par le requérant permettent de répondre de manière satisfaisante aux demandes de l'ASN relatives à la fréquence de filtrage retenue et au risque de flambement des disques en acier.** Toutefois, l'IRSN estime que le requérant n'a pas apporté d'éléments concernant l'évaluation du coefficient d'amplification dynamique du panier du modèle de colis TN 24 ER. **Aussi, la demande de l'ASN sur ce point reste d'actualité.**

Concernant la tenue mécanique des boîtes de confinement et en réponse aux demandes de l'ASN relatives à la fréquence de filtrage des accélérations utilisée, le requérant détermine les modes propres de ces boîtes. La fréquence du dernier mode propre étant supérieure à la fréquence de filtrage retenue dans le dossier de sûreté, le requérant justifie qu'une augmentation de la fréquence de filtrage ne met pas en cause la tenue des boîtes de confinement du modèle de colis TN 24 ER. **L'IRSN estime que les éléments apportés permettent de répondre de manière satisfaisante aux demandes de l'ASN.**

Par ailleurs, pour démontrer la tenue mécanique des aménagements internes, le requérant a uniquement pris en compte les accélérations maximales issues des chutes de 9 m. L'IRSN souligne que le requérant n'a pas considéré le cumul des épreuves représentatives des conditions normales de transport (CNT) et des CAT. Toutefois, compte tenu des marges sur les contraintes maximales dans les aménagements internes et étant donné que ces contraintes maximales sont très localisées, l'IRSN estime que la prise en compte de ce cumul ne devrait pas mettre en cause la sûreté du modèle de colis TN 24 ER. **En tout état de cause, le cumul des épreuves représentatives des CNT et des CAT étant un attendu réglementaire, il appartient au requérant de démontrer la tenue mécanique du modèle de colis TN 24 ER en prenant en compte ce cumul.**

Le requérant ne présente pas dans le dossier de sûreté d'étude de l'impact différé en CAT des boîtes de confinement sur le couvercle primaire. En outre, sur la base des valeurs de jeux minimaux, le requérant souligne que la mise en place d'un calage n'est pas envisageable. **L'IRSN convient que les jeux axiaux ne peuvent pas être réduits.** Toutefois, l'argumentaire du requérant reposant sur l'impossibilité d'optimiser ces jeux ne peut pas justifier l'absence d'étude de l'impact différé. **Aussi, il appartient au requérant d'étudier le phénomène d'impact différé des boîtes de confinement sur le couvercle primaire du modèle de colis TN 24 ER.**

Enfin, s'agissant du risque de rupture brutale, le requérant a évalué, dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément, les facteurs d'intensité de contrainte au niveau du couvercle primaire. Il en déduit l'absence de risque de rupture brutale. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.** En outre, concernant la soudure entre le fond et la virole, le requérant a transmis la note de qualification du fournisseur justifiant que la ténacité dynamique minimale au niveau de la soudure est supérieure au critère de ténacité utilisé pour le reste de la virole. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

### 3. COMPORTEMENT THERMIQUE

Le requérant n'a pas modifié la méthode d'évaluation du comportement thermique du modèle de colis TN 24 ER dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément. Afin de justifier que la poursuite de combustion éventuelle du bois des capot ne compromet pas l'intégrité des différents composants de l'emballage (en particulier les joints métalliques), le requérant indique que des marges importantes existent entre la température des joints atteinte en CAT et leur température de fonctionnement limite. En retenant une élévation forfaitaire de 50 °C pour le phénomène de combustion du bois des capots (valeur usuellement utilisée issue d'un essai), l'IRSN convient de la présence de marges significatives. **Aussi, l'IRSN considère que le requérant a répondu de manière satisfaisante à la demande de l'ASN relative à la poursuite de la combustion du bois des capot du modèle de colis TN 24 ER.**

### 4. CONFINEMENT ET RADIOLYSE

Compte tenu de la modification du coefficient de dilatation thermique linéique des joints en élastomère, le requérant a révisé le dossier de sûreté du modèle de colis TN 24 ER afin de démontrer, en calculant le taux de remplissage des gorges de joint en CNT et en CAT, que le risque d'extrusion des joints est exclu. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

S'agissant de la radiolyse, la démonstration du requérant repose sur l'extrapolation des mesures du taux d'hydrogène effectuées après fermeture de l'enceinte de confinement. Afin de garantir une teneur en hydrogène inférieure à la limite inférieure d'inflammabilité dans les boîtes de confinement, le requérant calcule la teneur en hydrogène maximale à ne pas dépasser dans la cavité en prenant en compte la perte de charge induite par les filtres de la boîte de confinement. Dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément et en réponse à une demande de l'ASN, le requérant a spécifié dans le dossier de sûreté la perte de charge maximale des filtres des boîtes de confinement. **L'IRSN estime que ceci permet de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

### 5. RADIOPROTECTION

Le requérant n'a pas modifié la démonstration relative au respect des critères réglementaires de débits d'équivalent de dose en CTR et en CAT dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément. Le requérant a révisé le dossier de sûreté afin d'ajouter la justification relative au critère réglementaire en CNT. En considérant un écrasement des capots pour la chute de 0,3 m proportionnel à l'écrasement maximal obtenu en chute oblique de 9 m, le requérant indique que les débits d'équivalent de dose à la surface du colis en CNT ne dépassent pas de plus de 20 % ceux calculés en CTR. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

### 6. VIEILLISSEMENT

Le requérant demande un renouvellement d'agrément selon le règlement de l'AIEA cité en deuxième référence, alors qu'il était précédemment agréé selon l'édition 2012 de ce même règlement. Afin de prendre en compte les nouvelles exigences réglementaires, le requérant a introduit dans le dossier de sûreté un chapitre relatif à l'évaluation des effets du vieillissement sur les performances du modèle de colis TN 24 ER. Le requérant évalue les effets de l'humidité, de l'irradiation, de la température et de la fatigue sur les composants de l'emballage TN 24 ER. Les composants retenus pour l'analyse sont ceux assurant une fonction de sûreté.

Pour l'effet de l'humidité, le requérant indique que les différents composants de l'emballage TN 24 ER sont, soit conçus avec des matériaux qui ne sont pas sensibles à l'humidité, soit recouverts d'un revêtement anti-corrosion. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Pour l'effet de l'irradiation, le requérant estime que la fluence neutronique à laquelle les composants du panier sont exposés est largement en deçà des seuils critiques d'irradiation à partir desquels leurs propriétés mécaniques sont affectées. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Pour l'effet de la température, le maintien à des températures élevées (> 100 °C) peut affecter les propriétés mécaniques de certains matériaux, notamment l'alliage d'aluminium composant les disques du panier. La température maximale en CNT du panier étant bien inférieure à 100 °C, le requérant exclut l'apparition de phénomène de vieillissement thermique pour ces composants. **Ceci est satisfaisant.** Concernant l'influence de la température sur le joint métallique du couvercle primaire, le requérant s'appuie sur des études de vieillissement réalisées sur une durée de quatre ans. En utilisant les résultats de l'étude extrapolés à 40 ans, il considère que la diminution de la restitution élastique du joint due aux effets du vieillissement ne met pas en cause l'étanchéité du modèle de colis TN 24 ER compte tenu des marges entre la restitution élastique et le décollement maximal. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

Enfin, pour rappel, la démonstration de la tenue en fatigue des tourillons du modèle de colis TN 24 ER n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

**L'IRSN estime que l'ensemble des éléments présentés par le requérant, relatifs au vieillissement du modèle de colis TN 24 ER, permet de répondre à l'objectif du paragraphe 613A du règlement de l'AIEA cité en deuxième référence.**

## 7. SYSTÈME DE GESTION DE LA QUALITÉ

L'IRSN relève que, pour de nombreux sujets de sûreté, le requérant a apporté des réponses aux demandes de l'ASN et aux questions de l'IRSN sous forme de courriers, sans en inclure les conclusions dans le dossier de sûreté du modèle de colis TN 24 ER. **Aussi, l'IRSN estime que, notamment au regard du principe d'amélioration continue décrit dans la norme ISO 9001, le requérant pourrait veiller, lors des prochaines révisions du dossier de sûreté du modèle de colis TN 24 ER, à y inclure les justifications complémentaires apportées en réponse à l'ASN ou au cours de la présente expertise.**

## 8. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés et en tenant compte des informations transmises par la société Orano NPS au cours de l'expertise, l'IRSN considère que le niveau de sûreté du modèle de colis TN 24 ER, tel que décrit dans le projet de certificat d'agrément, est satisfaisant au regard des prescriptions de l'édition 2018 du règlement de transport de matières radioactives de l'AIEA applicable aux modèles de colis de type B(U) chargés de matières fissiles. En outre, l'IRSN estime que la conception du modèle de colis TN 24 ER permet de répondre de manière satisfaisante aux exigences de l'édition 2018 du règlement des transports de l'AIEA relatives à la prise en compte des mécanismes de vieillissement.

Enfin, l'IRSN estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à l'ensemble des demandes de l'ASN, à l'exception de celle concernant l'évaluation du coefficient d'amplification dynamique du panier du modèle de colis TN 24 ER.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Eric LETANG

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté