



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 3 septembre 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2024-00129

**Objet :** Transport - Extension d'agrément du modèle de colis TN 9/4

**Réf. :** [1] Lettre ASN CODEP-DTS-2023-067955 du 13 décembre 2023.  
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2012.

Par la 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 la conformité au règlement, cité en seconde référence, du modèle de colis TN 9/4, tel que décrit dans le dossier de sûreté joint à la demande d'extension d'agrément présentée par la société Orano Nuclear Packages and Services (Orano NPS), dénommée ci-après « le requérant ». Cette demande concerne le transport sur la voie publique, par voies terrestre et maritime, d'un nouveau contenu constitué d'assemblages combustibles irradiés (nommé « contenu n° 2 »).

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 MODELE DE COLIS

Pour mémoire, le modèle de colis TN 9/4, de forme générale cylindrique, est constitué de deux enceintes indépendantes : une enceinte primaire, considérée comme l'enveloppe de confinement, et une enceinte secondaire formant le corps de l'emballage.

Par rapport à l'emballage chargé du contenu n° 1, actuellement agréé et dorénavant appelé par le requérant « version A », l'emballage chargé du contenu n° 2, appelé « version B », comporte les évolutions suivantes :

- le couvercle primaire possède un caisson amortisseur étanche en nid d'abeilles, à base d'acier inoxydable, sur sa face interne. Ce caisson est équipé d'un raccord rapide obturé par un capuchon permettant de contrôler la pression interne ;
- l'utilisation de joints en élastomère fluorocarboné (FKM) pour les couvercles primaire et secondaire. À cet égard, le requérant demande que le colis soit de type B(M) du fait que le maintien des performances des nuances de type FKM n'est assuré que pour une température supérieure à -27 °C, alors que le règlement de l'AIEA requiert une température de dimensionnement de -40 °C pour les colis de type B(U) ;
- l'introduction de nouvelles nuances des matériaux des composants des systèmes de fermeture.

Le contenu n° 2 est constitué d'au maximum deux assemblages combustibles, de réseau circulaire, irradiés dans des réacteurs à eau bouillante (REB) et d'au maximum deux assemblages combustibles, de section carrée,

MEMBRE DE  
**ETSON**

reconstitués à la suite de l'irradiation en réacteur à eau pressurisée (REP). À cet égard, le requérant a développé un nouveau panier comportant quatre logements.

## 2. DEMONSTRATION DE SURETE

### 2.1. COMPORTEMENT MECANIQUE

#### 2.1.1. Conditions de transport de routine (CTR)

Conformément à une demande de l'ASN, le requérant présente dorénavant, dans le dossier de sûreté du modèle de colis TN 9/4, les calculs relatifs aux efforts dus à la pression interne dans la cavité, aux efforts induits par les accélérations représentatives des CTR, aux efforts dus à la réaction des joints, et aux variations d'effort liées à la rétraction thermique des matériaux. En outre, il a vérifié que la précharge minimale du capuchon de raccord rapide est suffisante pour résister à ces mêmes efforts. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.** Le requérant a également vérifié, pour le capuchon de raccord rapide du couvercle primaire, pour les vis de la couronne de serrage du couvercle primaire et de sa tige d'orifice, et pour les vis du couvercle secondaire et de sa tige d'orifice, que la précharge maximale due au couple de serrage ne conduit pas à des contraintes qui dépasseraient les critères de dimensionnement mécanique du matériau. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. Au regard des éléments présentés par le requérant, l'IRSN estime que la demande de l'ASN peut être soldée.**

Par ailleurs, le requérant a réalisé une analyse de tenue à la fatigue des tourillons de la version B du modèle de colis TN 9/4 du fait que cette version effectuera des transports maritimes. À raison de dix cycles de transport terrestre par an et de trois cycles de transport maritime sur toute la durée de vie de l'emballage (40 ans), il a vérifié que le dommage total est inférieur au critère d'endommagement. En outre, il prévoit de remplacer les tourillons après trois cycles de transport maritime. **L'IRSN estime que ces éléments sont convenables.**

#### 2.1.2. Conditions normales de transport (CNT) et conditions accidentelles de transport (CAT)

Pour démontrer la tenue mécanique de la version B du modèle de colis TN 9/4 à la suite des chutes représentatives des CNT et des CAT, le requérant s'appuie, s'agissant des chutes latérales, sur les résultats obtenus pour la version A. La masse maximale de la version B de l'emballage étant légèrement inférieure à celle de la version A, **ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Concernant les chutes axiales et obliques, le requérant a effectué une étude de recalage du comportement de la maquette (à l'échelle 1/3) utilisée lors des essais de chute sur la base de nouveaux calculs numériques à l'aide d'un code aux éléments finis. La maquette ne comportait alors pas d'amortisseur interne. La comparaison des résultats numériques avec ceux résultant des essais lui permet de conclure que l'étude de recalage est satisfaisante. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.** Le requérant a ensuite réalisé des calculs numériques avec un modèle à l'échelle 1 en considérant l'amortisseur interne en nid d'abeilles avec des propriétés ayant fait l'objet d'une qualification. Dans ce cadre, le requérant a effectué des essais de compression, à différentes températures, en quasi-statique et en dynamique sur plusieurs échantillons représentatifs. Il en a déduit une loi de comportement de l'amortisseur interne en nid d'abeilles définie par des valeurs de contrainte d'écrasement et de taux d'écrasement minimal avant talonnement. L'IRSN relève que le requérant n'a pas validé cette loi de comportement. Si les résultats des essais quasi-statiques montrent un comportement globalement similaire à la loi retenue, c'est moins le cas pour les essais dynamiques qui présentent des pics initiaux et des oscillations de contraintes parfois plus élevés. **Néanmoins, compte tenu des résultats de l'étude discutés ci-après, présentant des marges importantes, l'IRSN estime que ceci ne devrait pas mettre en cause les conclusions sur la tenue mécanique de la version B du modèle de colis TN 9/4.**

En réponse à une demande de l'ASN d'évaluer le maintien du confinement du modèle de colis TN 9/4 en cas d'impact différé du contenu, les calculs numériques réalisés pour la version B simulent également l'effet de l'impact différé à partir de jeux axiaux enveloppes entre le panier ou les assemblages combustibles et l'enceinte primaire. **L'IRSN estime que ceci répond de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

De l'ensemble des résultats obtenus présentant des marges importantes en regard des critères (absence de décollement des plans de joints, faibles déformations et écrasement de l'amortisseur interne bien en-deçà de la limite admissible avant talonnement), le requérant conclut au maintien des performances d'étanchéité de la version B du modèle de colis TN 9/4 et à sa tenue mécanique. **L'IRSN estime que la démonstration de sûreté de la tenue mécanique de la version B du modèle de colis TN 9/4 en CNT et en CAT est satisfaisante.**

Pour répondre à une demande de l'ASN portant sur les hypothèses à retenir pour simuler le comportement des blocs de bois des capots amortisseurs, le requérant a modifié certains paramètres de la loi pour les chutes axiales et obliques par rapport à ceux retenus pour la version A de l'emballage TN 9/4. **Ces éléments sont acceptables.** Il n'apporte en revanche aucun nouvel élément justifiant le caractère conservatif de la loi de comportement du bois. **Aussi, l'IRSN estime que le requérant ne répond que partiellement à la demande de l'ASN.**

Enfin, le requérant a étudié la tenue mécanique en CNT et en CAT du nouveau panier conçu pour le contenu n° 2 du modèle de colis TN 9/4 à l'aide de simulations numériques. Des résultats obtenus, il conclut au maintien de la géométrie de celui-ci dans toutes les conditions de transport. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

## 2.2. COMPORTEMENT THERMIQUE

Le requérant a évalué le comportement thermique de la version B du modèle de colis TN 9/4, chargé du contenu n° 2, dans toutes les conditions de transport. La détermination des températures dans les principaux composants de la version B de l'emballage et du panier s'appuie sur un modèle numérique en 3D du colis dans lequel la puissance thermique des assemblages combustibles est appliquée au niveau des parois des logements du panier. En outre, le requérant suppose une dispersion d'une fraction des crayons des assemblages en CAT. Les valeurs maximales de température obtenues en CTR et en CAT dans les composants du modèle de colis TN 9/4 respectent les critères de dimensionnement avec des marges significatives. Le requérant estime ainsi que la prise en compte d'une éventuelle poursuite de la combustion du bois des capots après l'épreuve de feu ne mettrait pas en cause l'intégrité des joints d'étanchéité de la version B du modèle de colis TN 9/4.

**Les calculs, les hypothèses et les résultats obtenus par le requérant n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

## 2.3. CONFINEMENT

Pour prendre en compte le chargement du contenu n° 2 du modèle de colis TN 9/4, le requérant a réalisé une nouvelle étude du relâchement d'activité selon la méthode usuellement retenue. Il conclut que les débits de relâchement d'activité en CNT et en CAT respectent les critères réglementaires avec des marges significatives. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

Par ailleurs, compte tenu de la modification de la nuance des joints utilisés pour la version B du modèle de colis TN 9/4, le requérant a effectué une nouvelle étude relative au risque d'extrusion des joints et a vérifié le taux de compression de ces derniers. Pour le capuchon de raccord rapide, il justifie de ne pas étudier le risque d'extrusion du joint intérieur du fait que la gorge n'est pas de forme trapézoïdale et qu'il n'y a pas de risque de soulèvement de la pièce concernée. **Ceci est acceptable.** Il obtient des valeurs de taux de remplissage en CAT inférieures au critère en tenant compte de températures pénalisantes au regard de celles obtenues dans l'étude du comportement thermique du modèle de colis TN 9/4. **Ceci est satisfaisant.**

Enfin, pour ce qui concerne le taux de compression des joints de confinement, en tenant compte des tolérances de fabrication, de la contraction du joint à basse température, du décollement résiduel du plan de joint à la suite des chutes représentatives des CAT, de la déformation rémanente après compression des joints et de leur étirement, le requérant obtient des valeurs supérieures au critère de dimensionnement. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

## 2.4. RADIOPROTECTION

Le requérant présente une nouvelle étude de radioprotection relative au transport de la version B du modèle de colis TN 9/4, chargé du contenu n°2. Pour cette étude, il retient le contenu radioactif maximal selon les caractéristiques des assemblages présentées dans le dossier de sûreté et modélise la version B de manière globalement identique à la version A de l'emballage. La modélisation du panier présente toutefois des écarts par rapport au dossier de sûreté qu'il a justifiés. Pour les CAT, le requérant détermine le cas le plus pénalisant entre la configuration d'étude avec des assemblages intègres et celle avec des assemblages entièrement ruinés.

Sur la base des résultats des calculs de débit équivalent de dose (DED) réalisés avec le code Monte Carlo TRIPOLI 4.7, le requérant conclut que les critères réglementaires sont respectés. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

## 2.5. PREVENTION DES RISQUES DE CRITICITE

Le requérant a réalisé une analyse relative à la prévention des risques de criticité pour le transport du contenu n°2 du modèle de colis TN 9/4.

Au regard de l'article 680.a) du règlement cité en seconde référence, le requérant retient une quantité limitée d'eau à l'intérieur de la cavité de l'emballage dans les justifications relatives à la sûreté-criticité du modèle de colis TN 9/4. Il suppose, de manière pénalisante, que la matière fissile et le panier sont entièrement ruinés dans la cavité de l'enceinte primaire et considère la configuration du réseau infini de colis, ce qui permet de couvrir l'ensemble des configurations requises par la réglementation. Les calculs sont réalisés à l'aide du schéma standard du formulaire de criticité CRISTAL V1.2. La valeur maximale du coefficient de multiplication effectif des neutrons ( $k_{\text{eff}}$ ), obtenue par le requérant, respecte les critères usuels d'admissibilité, **ce qui est satisfaisant.**

## 2.6. ÉVALUATION DE LA QUANTITE D'EAU PRESENTE DANS LA CAVITE

Une certaine quantité d'eau résiduelle peut être présente dans la cavité du modèle de colis TN 9/4 à l'issue des opérations de vidange et de séchage de la cavité (l'emballage étant chargé sous eau). À cet égard, le requérant a identifié les zones de rétention potentielle d'eau dans la cavité de la version B chargée du contenu n°2. En se basant sur deux essais de séchage réalisés par le passé, qui ne montraient pas ou très peu d'eau résiduelle après le séchage et présentaient des similitudes avec la version B, le requérant conclut que l'éventuelle quantité d'eau résiduelle après séchage dans la cavité n'est pas significative. **L'IRSN estime que les justifications du requérant, basées sur des essais de séchage, sont convenables. Il appartient au requérant de les intégrer au dossier de sûreté du modèle de colis TN 9/4.**

## 3. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés, en tenant compte des informations transmises par la société Orano NPS au cours de l'expertise, l'IRSN estime que le modèle de colis TN 9/4 chargé du contenu n°2, tel que défini dans le projet de certificat d'agrément, est conforme aux prescriptions de l'édition 2012 du règlement de transport de l'AIEA applicable aux modèles de colis de type B(M) pour matières fissiles.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Eric LETANG

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté