

Monsieur le Directeur de la Direction du transport et des sources

Fontenay-aux-Roses, le 16 février 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00023 DU 16 FEVRIER 2026

Objet : Transport – Renouvellement d'agrément du modèle de colis TN 24 DH+

Références : [1] Lettre ASNR CODEP-DTS-2025-011065 de mars 2025 : Demande d'expertise interne
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - édition 2018.

Par la lettre citée en première référence, la Direction du transport et des sources de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) sollicite l'avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR sur la conformité au règlement cité en seconde référence du modèle de colis TN 24 DH+, 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 DH+, de type B(U) pour matières fissiles, dont le certificat d'agrément expire le 30 avril 2026, est conçu pour le transport sur la voie publique et l'entreposage d'assemblages combustibles à base d'oxyde d'uranium irradiés dans des réacteurs à eau pressurisée (REP). Le requérant précise que seule la fabrication d'un exemplaire d'emballage TN 24 DH+ est achevée et qu'aucun capot n'a été fabriqué à ce jour.

De l'évaluation des documents transmis, tenant compte des informations apportées par le requérant au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté retient les principaux éléments suivants.

1. DESCRIPTION DU MODELE DE COLIS

Pour mémoire, l'emballage TN 24 DH+, de forme générale cylindrique, est composé d'une virole épaisse en acier recouverte radialement de résine neutrophage traversée par des conducteurs thermiques. La virole est fermée d'un côté par un fond en acier soudé et de l'autre par deux couvercles en acier inoxydable vissés. Le couvercle primaire est équipé d'un orifice muni d'un tampon équipé d'un joint métallique et maintenu par un écrou et d'une tige. Le couvercle secondaire est équipé d'un orifice obturé par une tige.

L'emballage est en outre équipé de six tourillons pour son arrimage et sa manutention. Pour amortir d'éventuels chocs, il est équipé à ses extrémités de capots amortisseurs, composés de blocs de bois placés dans un caisson en acier et, au niveau de la virole, de couronnes en aluminium. La cavité de l'emballage accueille un panier dans lequel sont disposés des assemblages combustibles irradiés.

L'enveloppe de confinement est composée du corps (virole forgée, fond et soudure entre ces deux composants), du couvercle primaire muni d'un joint métallique interne, ainsi que d'une tige d'orifice ou d'un tampon munis d'un joint métallique.

Enfin, le modèle de colis TN 24 DH+ est muni d'une double barrière d'étanchéité à l'eau. La première barrière correspond à l'enveloppe de confinement. La seconde barrière est constituée du corps, du couvercle secondaire et de sa tige d'orifice, munis de leur joint interne en élastomère.

Le requérant demande à pouvoir utiliser des joints métalliques avec un revêtement en argent (qu'il désigne « joints de type 2 » par opposition aux joints métalliques avec un revêtement en aluminium actuellement autorisés qu'il désigne dorénavant « joints de type 1 »), un revêtement en nickel pour les surfaces d'appui des joints de type 2 (en plus de l'acier inoxydable), ainsi qu'une nouvelle nuance de joint en élastomère et de nouvelles graisses pour la lubrification des vis. L'influence de ces modifications est examinée dans les paragraphes suivants.

2. COMPORTEMENT MECANIQUE

2.1. CONDITIONS DE TRANSPORT DE ROUTINE (CTR)

Le requérant a mis à jour la démonstration de la tenue mécanique des assemblages vissés pour prendre en compte l'utilisation de nouvelles graisses pour lubrifier les vis. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que les coefficients de frottement retenus et les incertitudes associées pour ces graisses sont acceptables.**

Les résultats des calculs montrent que les contraintes dans les assemblages vissés du système de fermeture du modèle de colis TN 24 DH+ sont inférieures aux critères avec des marges significatives, sauf pour l'écrou de serrage du tampon d'orifice du couvercle primaire, pour lequel la contrainte maximale de cisaillement des filets atteint le critère. À cet égard, le requérant indique que la limite élastique de l'écrou de l'exemplaire d'emballage TN 24 DH+ fabriqué est significativement supérieure à la valeur spécifiée dans le dossier de sûreté, ce qui permet de dégager des marges par rapport au critère évalué à partir de cette valeur. **Ceci est satisfaisant pour l'exemplaire fabriqué. Pour les prochaines fabrications, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la limite élastique minimale spécifiée pour l'écrou de serrage du tampon d'orifice du couvercle primaire dans le chapitre du dossier de sûreté relatif à la description de l'emballage pourrait être augmentée afin de garantir l'absence de plastification des filets de cet écrou.**

2.2. CONDITIONS NORMALES ET ACCIDENTELLES DE TRANSPORT (CNT ET CAT)

Pour la présente demande, le requérant n'a pas modifié à la démonstration de la tenue mécanique du modèle de colis TN 24 DH+ en CNT. En revanche, il a complété celle en CAT. Pour mémoire, la démonstration de la tenue mécanique en CAT du modèle de colis TN 24 DH+ repose sur des simulations numériques, des analyses de similitude avec des essais de chute réalisés pour d'autres modèles de colis et un essai de chute sur une maquette partielle à l'échelle 1/3 du modèle de colis TN 24 DH+.

2.2.1. Chutes libres de 9,3 m

Pour rappel, les tapes d'orifice des couvercles ne sont pas représentées dans les modèles utilisés pour la simulation numérique des chutes de 9,3 m. Pour évaluer leur comportement mécanique, le requérant considère des accélérations maximales déterminées à partir des courbes d'accélération obtenues lors des simulations numériques, en appliquant une fréquence de filtrage. À partir de ces accélérations, il évalue les efforts extérieurs totaux dans les vis des tapes et montre que ceux-ci sont inférieurs à la précharge minimale dans ces vis. Il conclut à l'absence de décollement résiduel des tapes à l'issue des chutes de 9,3 m et au maintien de l'étanchéité du système de fermeture au niveau des tapes. La Direction de l'expertise en sûreté relève que le requérant n'a pas justifié la fréquence de filtrage retenue. Or, en utilisant une fréquence de filtrage plus élevée, les accélérations maximales pourraient être supérieures et conduire ainsi à une augmentation des efforts extérieurs. À cet égard, la Direction de l'expertise en sûreté a vérifié qu'une augmentation de l'accélération maximale d'une vingtaine de g ne mettrait pas en cause les conclusions du requérant. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la démonstration du comportement mécanique des tapes d'orifice en CAT est acceptable.**

Conformément à une demande de l'ASN, le requérant a ajouté un chapitre au dossier de sûreté pour justifier le maintien de l'étanchéité du couvercle primaire à l'issue des chutes de 9,3 m, pour le modèle de colis TN 24 DH+ équipé de joints métalliques de type 1. **Ceci est satisfaisant.**

En outre, à l'instar des joints métalliques de type 1, le requérant a ajouté un chapitre au dossier de sûreté pour justifier le maintien de l'étanchéité du couvercle primaire à l'issue des chutes de 9,3 m pour le modèle de colis TN 24 DH+ équipé des nouveaux joints métalliques de type 2.

Pour les joints métalliques de type 2 associés à une surface d'appui en acier inoxydable, le requérant s'appuie sur une étude de similitude entre le modèle de colis TN 24 DH+ et la maquette du modèle de colis TN Eagle HSA

équipée du même type de joints et de surface d'appui. Or, les caractéristiques mécaniques des matériaux de la maquette à température ambiante sont supérieures à celles du modèle de colis TN 24 DH+ à la température maximale des CNT. Par ailleurs, le requérant ne justifie pas que la différence de nature et d'épaisseur des matériaux amortisseurs des capots en partie latérale (bois pour le modèle de colis TN 24 DH+ et nid d'abeille pour la maquette) est pénalisante à l'égard du modèle de colis TN 24 DH+. **L'absence d'évaluation de la part du requérant des conséquences de ces écarts de représentativité n'est pas satisfaisante. Dans l'attente de cette évaluation, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'acceptabilité de l'utilisation de joints métalliques de type 2 avec une surface d'appui en acier inoxydable n'est pas apportée.**

Pour les joints métalliques de type 2 associés à une surface d'appui en nickel, le requérant se fonde sur des essais de glissement latéral dynamique de ce type de joints sur des surfaces d'appui en nickel. Les résultats de ces essais montrent que le glissement est limité et que le mouvement de glissement dynamique latéral n'entraîne pas de variation significative du taux de fuite des joints. **Ceci est acceptable.**

2.2.2. Chutes de 1 m sur poinçon

Le requérant démontre le maintien de l'étanchéité du système de fermeture du modèle de colis TN 24 DH+ à l'issue d'une chute de 1 m sur poinçon à l'aide d'analyses de similitude entre des maquettes de modèles de colis ayant chuté et le modèle de colis TN 24 DH+. Ces analyses sont fondées sur une comparaison entre la capacité d'absorption d'énergie de chute du capot de tête et la valeur de l'énergie de chute. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que cette seule comparaison n'est pas suffisante. En effet, seule l'énergie transmise au système de fermeture constitue un critère pertinent pour évaluer le niveau de sollicitation mécanique de ce système.** Aussi, au cours de l'expertise, le requérant a évalué l'énergie transmise au système de fermeture lors des chutes sur poinçon, pour le modèle de colis TN 24 DH+ et pour les maquettes.

Concernant la chute axiale sur poinçon, le requérant détermine les caractéristiques mécaniques du contreplaqué présent dans le capot de tête de la maquette, les caractéristiques réelles du contreplaqué de la maquette n'étant pas connues. Il utilise des données issues d'essais de compression réalisés sur différentes essences de bois et détermine une relation linéaire entre la contrainte d'écrasement du bois et sa densité et entre le taux d'écrasement maximal du bois et sa densité. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments présentés par le requérant pour justifier les caractéristiques mécaniques du contreplaqué sont insuffisants, en l'absence d'étude de l'effet de la présence de plusieurs bois différents, des couches de colle et du procédé de fabrication utilisé.** Aussi, le requérant a présenté en cours d'expertise des calculs d'énergie montrant que l'utilisation, de manière pénalisante, des caractéristiques mécaniques du chêne ne mettait pas en cause les conclusions de l'analyse de similitude. La maquette étant restée étanche à l'issue de la chute sur poinçon, le requérant conclut que l'étanchéité du système de fermeture du modèle de colis TN 24 DH+ est garantie à l'issue d'une chute axiale de 1 m sur poinçon. **Ceci est acceptable.**

Concernant la chute oblique sur poinçon, les résultats des calculs du requérant montrent que l'énergie transmise au système de fermeture du modèle de colis TN 24 DH+ est inférieure à celle transmise au système de fermeture de la maquette, ce qui implique que les endommagements observés sur la maquette sont enveloppes de ceux qui seraient observés sur le modèle de colis TN 24 DH+. La maquette étant restée étanche à l'issue de la chute, le requérant conclut que l'étanchéité du système de fermeture du modèle de colis TN 24 DH+ est garantie à l'issue de la chute oblique de 1 m sur poinçon. Toutefois, la marge entre l'énergie maximale transmise au système de fermeture de la maquette et celle transmise au système de fermeture du modèle de colis TN 24 DH+ est très faible au regard des incertitudes associées à un calcul analytique théorique de similitude et du fait que l'épaisseur du couvercle secondaire de la maquette à l'échelle 1 est très supérieure à celle du couvercle secondaire du modèle de colis TN 24 DH+. En l'état, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que cette marge n'est pas suffisante pour garantir le maintien de l'étanchéité du système de fermeture du modèle de colis TN 24 DH+.**

Aussi, en fin d'expertise, le requérant a proposé une évolution de concept du capot de tête du modèle de colis TN 24 DH+ qui consiste à intégrer un système d'absorption d'énergie, dénommé « système AEA » (Additional Energy Absorber), dans la structure du capot. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le principe retenu est pertinent au regard des mécanismes de dissipation d'énergie.** Le requérant a évalué l'énergie minimale absorbable par le système AEA lors d'une chute oblique sur poinçon du modèle de colis TN 24 DH+. Cette énergie permet d'augmenter significativement la marge entre les énergies transmises au système de

fermeture du modèle de colis TN 24 DH+ et de la maquette. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'introduction du système AEA constitue une évolution favorable du capot de tête du modèle de colis TN 24 DH+.** Par ailleurs, le requérant a évalué la masse supplémentaire induite par l'ajout du système AEA. En contrepartie, pour ne pas modifier la masse maximale du modèle de colis TN 24 DH+, il propose d'alléger le capot de fond en réduisant l'épaisseur de certaines tôles et en remplaçant le chêne du bloc central par du balsa. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'Expertise en Sûreté.**

Compte tenu de ces modifications des capots, le requérant a présenté en toute fin d'expertise une analyse de leur incidence sur les démonstrations de sûreté. Il conclut que l'introduction du système AEA et les modifications du capot de fond ne sont pas de nature à mettre en cause les analyses de sûreté du dossier de sûreté. Compte tenu de la date de transmission tardive de cette analyse, ces éléments de justification n'ont pas été expertisés. **Néanmoins, à ce stade, la Direction de l'expertise en sûreté estime que les modifications apportées ne devraient pas, dans le principe, avoir d'incidence significative sur les démonstrations de sûreté du modèle de colis TN 24 DH+.** À cet égard, **il appartiendra au requérant de mettre à jour, d'une part le chapitre du dossier de sûreté relatif à la description de l'emballage TN 24 DH+ afin d'inclure les modifications des capots de tête et de fond, d'autre part les démonstrations de sûreté du dossier de sûreté pour prendre en compte ces modifications.**

2.2.3. Comportement mécanique du contenu

Pour les études relatives à la radioprotection et au comportement thermique du modèle de colis TN 24 DH+ en CNT, le requérant considère les assemblages combustibles intègres. En réponse à une demande de l'ASN de justifier cette hypothèse, le requérant se fonde sur des essais réalisés par l'autorité de régulation nucléaire japonaise et justifie leur représentativité à l'égard du modèle de colis TN 24 DH+. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que ces éléments permettent de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

Pour les études en CAT, le requérant retient une dispersion de la matière radioactive dans la cavité du modèle de colis TN 24 DH+. Cette hypothèse est discutée dans les paragraphes 3 et 5 du présent avis.

3. COMPORTEMENT THERMIQUE

Pour rappel, l'étude du comportement thermique du modèle de colis TN 24 DH+ repose sur des calculs numériques. Pour la présente demande, le requérant a mis à jour ses calculs pour prendre en compte notamment un couvercle primaire en acier inoxydable martensitique.

En réponse à une demande de l'ASN relative à la température maximale de la surface externe du modèle de colis dans les conditions d'ambiance réglementaire mais sans ensoleillement, le requérant évalue que cette température est supérieure au critère réglementaire. Aussi, conformément au paragraphe 655 de la réglementation en seconde référence, il conclut que le modèle de colis TN 24 DH+ doit être transporté sous utilisation exclusive avec une barrière de protection. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

En réponse à une demande de l'ASN de réaliser des calculs avec le panier centré axialement dans la cavité en CAT, le requérant présente une étude de sensibilité sur la position axiale du contenu en CAT. Les résultats des calculs numériques ne mettent pas en cause les conclusions de l'étude thermique en CAT. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

En réponse à une demande de l'ASN de justifier le conservatisme du taux de matière radioactive dispersée dans la cavité du modèle de colis TN 24 DH+ à l'issue des CAT, le requérant présente une analyse de similitude entre les modèles de colis TN 24 DH+ et TN 24 XLH option 3. Il en conclut qu'une dispersion de la totalité de la matière radioactive dans la cavité ne mettrait pas en cause la sûreté du modèle de colis TN 24 DH+. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à la demande de l'ASN pour ce qui concerne la thermique** (l'impact de la dispersion de matière radioactive sur l'étude de radioprotection est examiné au paragraphe 5 du présent avis).

Des résultats des mises à jour de l'étude thermique en CNT et en CAT, le requérant conclut que la tenue en température des éléments importants pour la sûreté est assurée, à l'exception de la résine dont la température

maximale dépasse le critère de 150 °C à l'issue de l'épreuve de feu représentative des CAT. Dans la mesure où la résine est considérée totalement ruinée dans l'étude de criticité et son épaisseur est réduite de 50 % pour l'étude de radioprotection, **ces résultats n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

4. CONFINEMENT

Pour la présente demande, le requérant a mis à jour l'analyse du confinement pour prendre en compte les évolutions de concept du modèle de colis TN 24 DH+, notamment la nouvelle nuance de joint en élastomère. Il conclut que le comportement des joints est satisfaisant et que les critères de relâchement d'activité sont respectés dans toutes les conditions de transport. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

5. RADIOPROTECTION

Pour la présente demande, le requérant n'a pas modifié l'étude de radioprotection. En réponse à une demande de l'ASN sur le conservatisme du taux de matière radioactive dispersée dans la cavité du modèle de colis TN 24 DH+ retenu à l'issue des CAT, il a réalisé des calculs numériques en faisant varier le taux de dispersion et le temps de refroidissement des assemblages combustibles. Les résultats montrent que le critère réglementaire à un mètre du modèle de colis est respecté pour une dispersion importante au début de la phase d'entreposage (temps de refroidissement nul) et dans le cas où toute la matière radioactive est dispersée dans la cavité à l'issue d'une durée d'entreposage importante. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

6. PREVENTION DES RISQUES DE CRITICITE

Pour la présente demande, le requérant a mis à jour l'étude de criticité pour prendre en compte les évolutions de concept du modèle de colis TN 24 DH+ et notamment la présence de défauts d'anodisation de l'aluminium boré de certains plats du panier. Les résultats sont statistiquement équivalents à ceux obtenus sans défaut. **Les hypothèses et méthodes de calcul n'ayant pas été modifiées, la mise à jour de l'étude de criticité n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

7. FABRICATION ET VIEILLISSEMENT

Pour qualifier le nouveau revêtement en nickel des surfaces d'appui des joints métalliques du couvercle primaire sur la virole, le requérant s'appuie sur une étude de qualification du procédé de revêtement électrolytique de sulfamate de nickel. **Ceci est satisfaisant.**

L'édition 2018 de la réglementation en seconde référence introduit des paragraphes en lien avec le vieillissement. Pour tenir compte de ces nouvelles exigences, le requérant a mis à jour le dossier de sûreté pour intégrer une étude sur les risques liés au vieillissement des composants du modèle de colis TN 24 DH+. **Ceci est convenable.**

En réponse à une demande de l'ASN, le requérant a étudié l'influence de la température sur les joints métalliques, en se fondant sur des essais de vieillissement réalisés sur chaque type de joint. Ces essais montrent que le retour élastique des joints métalliques après 50 ans d'entreposage reste très supérieur au décollement résiduel au niveau du plan de joint du couvercle primaire observé à l'issue des chutes représentatives des CAT. Il conclut que la sûreté du modèle de colis en CAT après entreposage n'est pas mise en cause. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que ces éléments permettent de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

Par ailleurs, s'agissant des performances des joints métalliques de type 2 à très basse température, le requérant a réalisé une étude numérique dont les résultats montrent une influence négligeable de cette température sur le retour élastique de ces joints. Le requérant conclut que les performances des joints de type 2 sont justifiées à très basse température. **Ceci est acceptable.**

8. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés, en tenant compte des éléments apportés par la société Orano NPS au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le modèle de colis TN 24 DH+, tel que défini dans le projet de certificat d'agrément transmis et tenant compte de la modification des capots proposée par le requérant en fin d'expertise, est conforme aux prescriptions de l'édition 2018 du règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA applicables aux modèles de colis de type B(U) chargés de matières fissiles.

Enfin, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante aux demandes de l'ASN.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Anne-Cécile JOUVE

Adjointe au Directeur de l'expertise en sûreté