

Monsieur le Directeur de la Direction du transport et des sources

Fontenay-aux-Roses, le 7 octobre 2025

## AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00099 DU 07 OCTOBRE 2025

**Objet :** Transport - Renouvellement d'agrément du modèle de colis TN G3

**Références :** [1] Lettre ASN CODEP-DTS-2024-059587 du 31 octobre 2024.  
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2018.

Par la lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité 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 G3, 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 ».

Au 1<sup>er</sup> janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). Le présent avis d'expertise de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR vient en réponse à la lettre citée en première référence.

Le modèle de colis TN G3 est destiné au transport par voies routière, ferroviaire, maritime ou fluviale, des assemblages combustibles à base d'oxyde d'uranium, irradiés dans les réacteurs à eau sous pression du parc électronucléaire français (dans une version courte dite « S » pour les réacteurs 900 MWe et dans une version longue dite « L » pour les réacteurs 1 300 MWe, 1 450 MWe et 1650 MWe). Il a fait l'objet en 2018 d'un premier certificat d'agrément multilatéral de type B pour matières fissiles.

Dans le cadre de la présente demande, le requérant introduit une nouvelle variante pour l'habillage, dite « habillage en aluminium » de l'emballage TN G3, un nouveau contenu comprenant des éléments combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX) et une analyse des mécanismes de vieillissement comme demandé par le règlement cité en seconde référence.

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

### 1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

#### 1.1. DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE

Pour rappel, l'emballage TN G3, de forme générale cylindrique, est constitué d'un corps équipé à chacune de ses extrémités d'un capot amortisseur de chocs comportant un matériau amortisseur (mousse de carbone) confiné dans un capotage en acier inoxydable. Le corps est principalement composé, de l'intérieur vers l'extérieur, d'une virole forgée et d'un fond en acier au carbone de forte épaisseur et d'un habillage en cuivre. Cet habillage comprend des augets formés par les conducteurs en cuivre vissés à la virole qui délimitent des espaces remplis d'une protection neutronique en résine. Les parties externes des conducteurs forment, grâce à des soudures longitudinales, une enveloppe externe en cuivre. L'habillage est complété par des ailettes en cuivre soudées à l'enveloppe externe.

Dans le cadre de la présente demande, le requérant introduit la possibilité d'utiliser un nouvel habillage en aluminium ; il est constitué d'anneaux en aluminium frettés sur la virole et sur lesquels sont présentes des ailettes usinées dans la masse. Ces anneaux comprennent des espaces remplis d'une protection neutronique en résine. Le matériau amortisseur du capot amortisseur de chocs peut être constitué de mousse de carbone ou de nid d'abeille en aluminium.

Par ailleurs, l'emballage dispose de deux barrières d'étanchéité dont le système de fermeture est composé d'un bouchon et d'un couvercle, équipés chacun d'un joint d'étanchéité torique en élastomère. Le bouchon est maintenu par une bride de serrage vissée sur la virole et possède sur sa surface interne un amortisseur de cavité (appelé amortisseur interne) constitué de tubes métalliques et confiné dans un capotage en acier inoxydable.

Six tourillons sont vissés sur la virole (quatre côté tête et deux côté fond). Ils sont utilisés pour les opérations d'arrimage et de manutention du modèle de colis. Le transport s'effectue en position horizontale sur un châssis et la cavité de l'emballage est inertée à l'hélium avant transport.

## **1.2. DESCRIPTION DE L'AMÉNAGEMENT INTERNE ET DU CONTENU**

Pour la présente demande, le requérant n'a pas modifié le concept du panier. Pour rappel, de forme cylindrique, il est composé de plusieurs étages constitués de profilés qui délimitent douze évidements permettant d'accueillir les assemblages combustibles. En revanche, le requérant a modifié la définition du contenu déjà agréé (contenu n°1 dans la suite du présent avis), constitué d'au plus douze assemblages combustibles à base d'oxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>) irradiés, afin d'ajouter notamment un temps de refroidissement minimal associé à un taux de combustion maximal. Par ailleurs, il a ajouté un nouveau contenu (contenu n° 2) constitué d'au plus deux (version L) ou trois (version S) assemblages combustibles MOX et du complément au maximum à douze assemblages combustibles d'UO<sub>2</sub> irradiés. Enfin, quel que soit le contenu, les assemblages combustibles peuvent comporter des crayons réputés non étanches au chargement.

Conformément à une demande de l'ASN, le requérant indique dorénavant dans le dossier de sûreté que chaque assemblage combustible est posé, dans le panier, sur une cale en acier inoxydable constituée de tubes fermés assemblés par des tôles de liaison assurant l'écoulement de l'eau dans le fond de la cavité de l'emballage. **Ceci est satisfaisant.**

## **2. COMPORTEMENT MÉCANIQUE DU MODÈLE DE COLIS**

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

Dans le dossier de sûreté, le requérant a modifié l'analyse de la tenue mécanique en CTR des capotages, des augets en cuivre de la variante « habillage en cuivre » et des organes d'arrimage et de manutention et a intégré la tenue mécanique des anneaux de l'habillage en aluminium. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

En outre, le requérant a apporté des éléments de réponses aux demandes de l'ASN concernant les capotages et les organes d'arrimage et de manutention. S'agissant des capotages, il a intégré dans le dossier de sûreté un jeu axial maximal à respecter entre la tôle externe des capots amortisseurs et le matériau amortisseur afin de garantir la tenue mécanique de cette tôle en cas de surpression extérieure liée aux variations d'altitude lors du transport. **Ceci permet de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.** Concernant les organes d'arrimage et de manutention, le requérant indique que le jeu entre le support et le tourillon « tel que construit » contrôlé sur les emballages (existant ou en cours de fabrication) permet de garantir une répartition des efforts sur l'angle d'appui du tourillon sur le bras support du châssis retenu dans la démonstration de sûreté. **Ceci permet de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

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

Pour la présente demande, avec notamment l'introduction de la nouvelle variante « habillage aluminium », le requérant n'a pas modifié l'analyse du comportement mécanique du modèle de colis TN G3 en CNT. **La Direction de l'expertise en sûreté convient que la présence de joints de protection entre les anneaux liée à la nouvelle variante ne devrait pas être de nature à modifier les conclusions de l'analyse du comportement mécanique du modèle de colis TN G3 en CNT.**

En revanche, le requérant a mis à jour la démonstration du comportement mécanique du modèle de colis en CAT pour tenir compte de ce nouvel habillage en aluminium. Les résultats du calcul numérique avec une modélisation des ailettes et des anneaux en aluminium montrent que le nouvel habillage influe sur le risque de rupture fragile de la soudure fond-virole et sur la tenue mécanique des aménagements internes.

À cet égard, concernant le risque de rupture fragile de la soudure fond-virole, le requérant a réalisé une étude de sensibilité sur l'angle de chute avec la variante « habillage aluminium » afin d'obtenir la contrainte maximale dans la soudure fond-virole. En considérant le coefficient de sécurité préconisé dans le guide AIEA SSG-26, il évalue que le facteur d'intensité de contrainte associé à la contrainte maximale est inférieur à la ténacité minimale dynamique à très basse température et en conclut que le risque de rupture brutale à très basse température de la soudure fond-virole est exclu. Or, bien que demandé par l'ASN, le requérant n'a pas tenu compte dans son évaluation de la correction plastique en pointe de défaut. Aussi, en fin d'expertise, il a réalisé un nouveau calcul en considérant une correction plastique mais en utilisant une valeur du coefficient de sécurité inférieure à celle préconisée par l'AIEA. **Pour la Direction de l'expertise en sûreté, la prise en compte de la correction plastique est satisfaisante.** Néanmoins, le requérant n'ayant pas retenu le coefficient de sécurité préconisé par l'AIEA, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant a répondu partiellement à la demande de l'ASN.** En tenant compte de ce facteur de sécurité, la Direction de l'expertise en sûreté a vérifié que le facteur d'intensité de contrainte en considérant une correction plastique conduit à une marge convenable par rapport au critère. Aussi, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que le risque de rupture fragile de la soudure fond-virole à très basse température peut être écarté.**

Concernant la tenue mécanique des aménagements internes en CAT, le requérant montre que la prise en compte de la variante « habillage aluminium » conduit à maximiser les contraintes dans le panier sans toutefois mettre en cause les conclusions des démonstrations de sûreté. **Ceci est satisfaisant.**

En réponse à une demande de l'ASN sur la qualification d'un des matériaux amortisseurs des capots, le requérant indique que l'écart entre les accélérations calculées et celles mesurées sur la maquette s'explique par la présence d'une légère inclinaison de la maquette au moment de l'impact sur la cible. Ainsi, en corrigeant cette inclinaison, le requérant montre que les accélérations calculées sont très proches de celles mesurées. **Ceci permet de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

En réponse à une demande de l'ASN portant sur le comportement dynamique des tubes de l'amortisseur interne, le requérant souligne que leur fonction est de réduire les efforts transmis par le contenu au bouchon lors d'une chute. Ainsi, sa loi de comportement est déterminée pour une vitesse d'impact égale à la différence entre les vitesses d'impact du modèle de colis et du contenu. En tenant compte des deux matériaux amortisseurs du capot de tête (mousse de carbone ou nid d'abeille en aluminium), le requérant évalue ce différentiel maximal de vitesse. Il conclut que la loi de comportement des tubes amortisseurs est similaire à celle obtenue lors des essais. **Ces éléments permettent de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

Enfin, pour rappel, le requérant avait démontré que le châssis de transport, constitué de quatre supports sur lesquels reposent les tourillons, ne réduisait pas la sûreté du modèle de colis en CAT. Dans le cadre d'un engagement de justifier le choix du critère de rupture pour le tourillon, le requérant indique que ce critère, égal à deux fois la limite d'allongement à la rupture rationnelle, permet de retarder la rupture du tourillon et donc de maximiser les sollicitations dans la virole du modèle de colis. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments présentés dans le cadre de cet engagement sont satisfaisants.**

### **3. COMPORTEMENT THERMIQUE DU MODÈLE DE COLIS**

#### **3.1. CONDITIONS NORMALES ET ACCIDENTELLES DE TRANSPORT**

Pour la présente demande, le requérant a modifié les analyses thermiques afin de tenir compte, d'une part des résultats de l'essai thermique de fin de fabrication, d'autre part du nouvel habillage en aluminium.

En 2021, en fin de fabrication, un emballage TN G3 avec un habillage en cuivre a fait l'objet d'un essai thermique. Les résultats de cet essai ont montré que la température mesurée pour certains composants était plus élevée que celle calculée avec le modèle numérique utilisé dans les analyses thermiques. Aussi, pour la présente demande, le requérant a réévalué le comportement thermique du modèle de colis en CNT et en CAT. **Les conditions d'essai**

**et la mise à jour des analyses thermiques pour la variante « habillage cuivre » n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

En réponse à deux demandes de l'ASN, le requérant a mis à jour l'évaluation du comportement thermique du modèle de colis pour prendre en compte certains endommagements du panier, du contenu et de la résine à l'issue des épreuves représentatives des CAT. Des études réalisées, le requérant conclut que les températures maximales admissibles des composants importants pour la sûreté du modèle de colis ne sont pas dépassées en CAT. **Ces éléments permettent de répondre de manière satisfaisante aux demandes de l'ASN.**

L'étude du comportement thermique de la variante « habillage aluminium » du modèle de colis est fondée sur des calculs numériques prenant en compte les mêmes endommagements que ceux de la variante « habillage cuivre » à l'issue des épreuves représentatives des CAT. Les résultats montrent que la température maximale des différents composants n'est pas de nature à mettre en cause les fonctions de sûreté du modèle de colis. De plus, le requérant indique qu'un essai thermique de fin de fabrication sera réalisé pour la variante « habillage aluminium » afin de vérifier le conservatisme des calculs. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Enfin, en réponse à une demande de l'ASN portant sur le risque de contact entre le panier et le bouchon du fait de la dilatation du panier lors de la phase de refroidissement à l'issue de l'épreuve de feu en CAT, le requérant a évalué que le jeu résiduel axial entre le panier et l'amortisseur interne du bouchon est inférieur à l'écrasement minimal des tubes amortisseurs du bouchon à l'issue des chutes représentatives des CAT. Il conclut que le risque de contact entre le panier et le bouchon est écarté. **Ces éléments permettent de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

#### **4. CONFINEMENT**

Pour prendre en compte les modifications de contenus ainsi que les nouvelles températures évaluées pour les deux variantes « habillage cuivre » et « habillage aluminium », le requérant a mis à jour le calcul du relâchement d'activité en CNT et en CAT. Il conclut que les critères réglementaires sont respectés dans toutes les conditions de transport. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Par ailleurs, le requérant a étudié le comportement des joints d'étanchéité en CNT et en CAT. Il justifie notamment que le taux de remplissage des gorges des joints est toujours inférieur à 100 % et que le taux de compression des joints de l'enveloppe de confinement, en tenant compte de la déformation rémanente après compression, est toujours supérieur à la valeur usuellement retenue pour garantir leur étanchéité. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

#### **5. RISQUES « SUBSIDIAIRES »**

Pour mémoire, lors d'un transport, la radiolyse de l'eau présente dans les crayons inétanches peut entraîner une accumulation d'hydrogène dans la cavité.

Pour tenir compte de la température enveloppe du gaz dans la cavité en CAT obtenue pour la variante « habillage aluminium », le requérant a mis à jour l'analyse du risque de radiolyse dans la cavité du modèle de colis pour les contenus comportant des crayons inétanches au chargement. Ainsi, il évalue la limite inférieure d'inflammabilité (LII) de l'hydrogène pour déterminer les durées maximales admissibles de transport du modèle de colis chargé de crayons inétanches. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

#### **6. RADIOPROTECTION**

Pour tenir compte des exigences de la réglementation visant à définir un domaine de fonctionnement pour la radioprotection (caractéristiques maximales admissibles du contenu), assurant le respect des critères réglementaires avant les opérations de chargement, le requérant s'appuie sur un système d'inéquations définies en tenant compte des caractéristiques du modèle de colis TN G3.

Pour la présente demande, le requérant a défini de nouvelles inéquations pour tenir compte des modifications de contenus et du nouvel habillage en aluminium. Il évalue que les inéquations relatives à la variante « habillage aluminium » sont enveloppes de celles de la variante « habillage cuivre ». Aussi, il retient uniquement les

inéquations relatives à la variante « habillage aluminium » dans le chapitre relatif à la description du contenu du dossier de sûreté. **Cette méthode n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Enfin, lorsqu'au moins un assemblage combustible a subi une insertion d'une grappe de contrôle lors de son dernier cycle d'irradiation en réacteur, le requérant applique un facteur de sécurité sur les inéquations. À cet égard, il montre qu'en tenant compte de cette insertion, des dépassements de débit de dose sont présents uniquement sur la moitié inférieure de la longueur active des assemblages combustibles. Or, pour la version S du modèle de colis, le débit de dose maximal se situant en partie haute de l'emballage, il considère que des dépassements de débit de dose en partie inférieure sont sans impact. Aussi, il supprime l'application de ce facteur de sécurité pour cette version. La Direction de l'expertise en sûreté estime qu'une augmentation du débit de dose sur la moitié inférieure de la longueur active peut conduire à déplacer la localisation du point dimensionnant utilisé dans les inéquations pour le contenu n°2. **À cet égard, la Direction de l'expertise en sûreté propose d'ajouter, dans le projet de certificat, la prise en compte du facteur de sécurité pour la version S chargée du contenu n°2.**

## 7. PRÉVENTION DES RISQUES DE CRITICITÉ

Le requérant a mis à jour les analyses de sûreté-criticité afin d'intégrer les modifications du contenu n° 1 et l'ajout du contenu n° 2. Concernant le contenu n° 1, il considère que l'ajout de la possibilité de charger un assemblage présentant un réseau de crayon déformé ou un nombre réduit de crayons est couvert par la configuration du contenu entièrement ruiné précédemment étudiée. Pour le contenu n° 2, il a réalisé de nouveaux calculs selon la même méthode que pour le contenu n° 1 en s'appuyant sur l'étude du colis isolé dans la configuration de transport pour laquelle le contenu est considéré ruiné, ce qui couvre les endommagements qui résultent des épreuves réglementaires représentatives des CAT. Les résultats obtenus respectent le critère d'admissibilité de 0,95. **La démarche ainsi que les résultats n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

## 8. FABRICATION, UTILISATION ET MAINTENANCE DU COLIS

Le requérant présente, dans le dossier de sûreté, les opérations de vérification de la conformité de l'emballage réalisées à l'issue des opérations de fabrication. Conformément à une demande de l'ASN, il indique dorénavant, dans le dossier de sûreté, qu'il simule la puissance thermique des assemblages combustibles en tenant compte de leur longueur active totale. **Ceci est satisfaisant.**

Le requérant a relevé des défauts sur des soudures de l'enveloppe externe en cuivre d'autres types d'emballages. Afin de tenir compte de ce retour d'expérience, il indique dorénavant dans le chapitre relatif aux instructions d'utilisation du dossier de sûreté que la présence d'eau potentiellement présente dans les augets en cuivre sera vérifiée à chaque cycle et qu'un contrôle de l'étanchéité des soudures de l'enveloppe externe sera réalisé à chaque cycle. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

## 9. COLORATION EXTERNE DE LA VARIANTE « HABILLAGE CUIVRE »

En réponse à une demande de l'ASN d'analyser les causes et les conséquences d'une coloration de l'enveloppe externe observée sur les emballages déjà fabriqués, le requérant indique que cette coloration est due à la présence d'une couche imperméabilisante. À cet égard, il a réalisé des mesures d'émissivité sur deux échantillons représentatifs. Les résultats montrent une valeur minimale d'émissivité supérieure à celle retenue dans les analyses thermiques en CNT (pour rappel, une valeur d'émissivité faible limite le transfert de la chaleur vers l'extérieur ce qui maximise la température des composants du modèle de colis). Concernant l'absorptivité, selon le requérant, la valeur retenue dans les analyses thermiques est conservative. Il conclut que cette coloration n'a pas d'impact sur les analyses thermiques. **Ces éléments permettent de répondre de manière acceptable à la demande de l'ASN.**

## 10. VIEILLISSEMENT DES MATÉRIAUX

Le requérant identifie les principaux risques liés au vieillissement spécifiques au modèle de colis TN G3, en particulier la corrosion des composants métalliques, le vieillissement thermique des composants, les effets de l'irradiation et les effets des sollicitations mécaniques en fatigue sur les organes d'arrimage et de manutention. **La Direction de**

**l'expertise en sûreté estime que l'étude réalisée par le requérant permet de répondre aux objectifs du règlement de l'AIEA relatifs aux phénomènes de vieillissement.**

## **11. CONCLUSION**

Sur la base des documents examinés et en tenant compte des informations transmises par la société Orano NPS au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le modèle de colis TN G3, tel que défini dans le projet de certificat d'agrément tenant compte de la modification proposée, est conforme aux prescriptions de l'édition 2018 du règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA applicable aux modèles de colis de type B(M) chargés de matières fissiles et transportés par voies routière, ferroviaire et maritime.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

**Anne-Cécile JOUVE**

Adjointe au Directeur de l'expertise en sûreté