

Monsieur le Directeur de la Direction du transport et des sources

Fontenay-aux-Roses, le 16 avril 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00037 DU 16 AVRIL 2026

Objet : Transport – Renouvellement et extension d'agrément du modèle de colis TN-MTR

Références : [1] Lettre ASNR CODEP-DTS-2025-043761 du 17 juillet 2025.
[2] Règlement de transport de l'AIEA – SSR-6 – Édition de 2018.
[3] B. Eckert et al. « New outcomes from combustion of wood inside package shock absorbers 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, la Direction du transport et des sources (DTS) 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 deuxième référence du modèle de colis TN-MTR, tel que décrit dans le dossier de sûreté joint aux demandes de renouvellement et d'extension d'agrément présentées par la société Orano Nuclear Packages and Services (Orano NPS), dénommée ci-après « le requérant ».

Le modèle de colis TN-MTR est actuellement agréé sous couvert de trois certificats d'agrément pour le transport par voies routière, ferroviaire, fluviale et maritime d'éléments combustibles, irradiés ou non, en provenance de différents réacteurs de recherche ou d'éléments réflecteurs en béryllium. Ces agréments expirent le 31 mars 2026 et sont du type B(M) chargé de matière fissile pour le transport d'éléments RHF¹ de haute puissance thermique, B(U) pour le transport à vide ou chargé d'éléments réflecteurs en béryllium, et B(U) chargé de matière fissile pour le transport d'éléments RHF ou MTR (*Material Testing Reactor*), irradiés ou non.

Le requérant demande un renouvellement et une extension de ces agréments en retirant certains contenus qui ne sont plus produits et en ajoutant un nouveau contenu constitué d'éléments en béryllium présentant une activité maximale en tritium supérieure aux contenus actuellement agréés. Il a également ajouté la possibilité d'utiliser une nouvelle graisse pour les vis, en prévision d'une éventuelle rupture d'approvisionnement de celle actuellement utilisée, et modifié les puissances thermiques maximales des différents contenus en fonction de la nuance de joint de confinement utilisée. Enfin, il a complété le dossier de sûreté par des justifications relatives au vieillissement des composants de l'emballage et répondu à des demandes de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) formulées à l'issue du précédent renouvellement d'agrément.

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 Réacteur à Haut Flux de l'Institut Laue Langevin.

1. PRÉSENTATION DU MODÈLE DE COLIS

1.1. DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE

L'emballage TN-MTR, de forme générale cylindrique, est transporté verticalement. Il est constitué d'un corps qui délimite une cavité fermée sur sa partie supérieure par un couvercle contenant du plomb, vissé sur la bride du corps. Le corps de l'emballage est constitué d'acier inoxydable, de plomb et d'une résine neutrophage. Le couvercle est muni de joints en élastomère assurant une fonction d'étanchéité et accueille deux tapes d'étanchéité également munies de joints en élastomère et dont la fixation est assurée par des vis. Un unique capot positionné en tête de l'emballage, constitué d'une enveloppe en acier inoxydable remplie de bois, permet l'amortissement des chocs mécaniques et assure une protection thermique des joints du couvercle.

L'emballage est arrimé au moyen de quatre oreilles soudées sur le corps et manutentionné à l'aide de deux tourillons vissés sur la partie supérieure de la virole externe.

La Direction de l'expertise en sûreté souligne que le projet de certificat caractérisant l'emballage chargé d'éléments RHF en tant que modèle de type B(M) ne présente pas le type de joint autorisé, bien que la démonstration de sûreté pour ce contenu ne soit réalisée que pour certains types de joint. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté estime que ce certificat pourrait mentionner le type de joint autorisé.**

1.2. DESCRIPTION DES CONTENUS

Sept contenus sont définis pour l'emballage, l'un constitué d'éléments en béryllium, pour lequel un sous-contenu a été ajouté dans le cadre de la présente demande, et les autres constitués d'éléments combustibles irradiés ou non dans des réacteurs de recherche. Les caractéristiques des contenus actuellement agréés n'ont pas été modifiées par rapport à la précédente demande de renouvellement.

2. COMPORTEMENT MÉCANIQUE

2.1. CARACTÉRISTIQUES DE LA GRAISSE

Le requérant souhaite utiliser une nouvelle graisse pour les vis des éléments de fermeture du modèle de colis. À cet égard, il présente des essais réalisés par le Centre technique des industries mécaniques (CETIM) permettant de déterminer une plage de coefficients de frottement de la nouvelle graisse pour les vis utilisées. Cependant, les essais réalisés par le fabricant de la graisse montrent des coefficients de frottement supérieurs pour une configuration testée similaire, et sa température minimale d'utilisation indiquée par le fabricant est de -30 °C, valeur supérieure à la température minimale de transport réglementaire [2] de -40 °C pour les emballages du type B(U). **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant pourrait s'assurer que les coefficients de frottement mesurés dans ces essais ne sont pas spécifiques aux lots testés (graisse et vis) et justifier que le serrage des vis n'est pas affecté, compte tenu des propriétés de la graisse à des températures inférieures à -30 °C.**

2.2. CONDITIONS DE TRANSPORT DE ROUTINE

2.2.1. Tenue des assemblages vissés

Le requérant réévalue la tenue des assemblages vissés en conditions de transport de routine (CTR) en utilisant les coefficients de frottement et les couples de serrage associés à la nouvelle graisse. La contrainte équivalente maximale obtenue dans l'ensemble des vis, tenant compte des effets de la dilatation différentielle, de la pression interne, de l'effort de réaction des joints et des efforts induits par les accélérations rencontrées en CTR, est inférieure à la limite d'élasticité des vis. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

S'agissant du risque de desserrage des vis lors du transport, le requérant démontre le non-décollement des plans serrés par les vis, en considérant la précharge minimale, quelle que soit la graisse employée. **La Direction de l'expertise en sûreté estime ceci acceptable.**

2.2.2. Tenue des organes d'arrimage et de manutention

En réponse à une demande de l'ASN, le requérant apporte une démonstration de la tenue des oreilles d'arrimage du modèle de colis TN-MTR et de leurs soudures sur la virole externe. La contrainte maximale dans l'oreille à la température maximale rencontrée en conditions normales de transport (CNT) reste inférieure à sa limite d'élasticité et à sa limite d'endurance en fatigue à 10^6 cycles. Par ailleurs, le requérant vérifie la tenue en fatigue des soudures selon les dispositions de la norme Eurocode 3. **Ces démonstrations permettent de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

S'agissant de la tenue des organes de manutention, le requérant a présenté au cours de l'expertise une étude justifiant la tenue des vis des tourillons de manutention en fatigue. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant pourrait ajouter cette étude, qui n'appelle pas de remarque, au dossier de sûreté.**

2.3. CONDITIONS NORMALES ET ACCIDENTELLES DE TRANSPORT

La démonstration de tenue aux épreuves mécaniques représentatives des CNT et des conditions accidentelles de transport (CAT) du modèle de colis TN-MTR s'appuie sur une maquette de chute à échelle réduite et de modèles numériques recalés sur les chutes de la maquette. Elle n'a pas été modifiée pour la présente demande.

2.3.1. Similitude entre emballage et maquette de chute

Les ajouts au modèle de colis TN-MTR concernant les joints et la graisse modifient son comportement en chute. Aussi, le requérant justifie que la maquette ayant chuté est bien représentative du modèle de colis modifié, en particulier pour ce qui concerne les nuances de joint et les assemblages vissés.

S'agissant des assemblages vissés, le requérant calcule le ratio des forces de serrage minimale ou maximale de la maquette avec les nouvelles valeurs de coefficients de frottement et de couple de serrage. Pour les vis dont ce ratio est supérieur à 1, le requérant justifie l'absence de décollement du plan de joint en cas de chute axiale et oblique en effectuant un bilan des forces exercées sur les vis lors de la chute. **La Direction de l'expertise en sûreté considère cette démonstration acceptable.**

2.3.2. Comportement du modèle de colis en chute

Le requérant n'a pas modifié sa démonstration du comportement du modèle de colis TN-MTR lors de chutes représentatives des CNT et CAT pour la présente demande. Au cours de l'expertise, il a présenté une démonstration visant à répondre à une demande de l'ASN relative au risque de talonnement des bois sollicités lors de la chute oblique. Cette démonstration s'appuie sur deux cas de calcul, l'un considérant une loi de comportement « dure » (compaction prise en compte dès que le talonnement est atteint) et une « molle » (talonnement négligé jusqu'au début de la compaction). Les résultats obtenus étant similaires, le requérant considère que la loi de comportement des bois utilisée ne présente pas une influence significative sur les décollements de couvercle calculés et les déformations plastiques dans les vis. **La Direction de l'expertise estime que ceci permet de répondre à la demande de l'ASN. Il appartient au requérant d'ajouter cette démonstration au dossier de sûreté.**

3. COMPORTEMENT THERMIQUE

L'étude du comportement thermique du modèle de colis TN-MTR a été modifiée afin d'ajouter la configuration de calcul de haute puissance thermique avec la nuance de joint associée. La configuration de calcul présentée lors de la dernière demande de renouvellement d'agrément n'a pas été modifiée.

3.1. HYPOTHÈSES, MODÈLE ET RÉSULTATS

La haute puissance thermique est modélisée de manière surfacique en partie supérieure du panier qui transporte la matière et l'ensoleillement est appliqué 24h/24 de manière conservatrice. Les modèles numériques ne sont pas modifiés ; en particulier, en CAT, le dommage de poinçon représenté par une échancrure au droit du couvercle au-dessus du tourillon de manutention est conservé. **Ces hypothèses de modélisation n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

En réponse à une demande de l'ASN relative à la justification de la loi de comportement de la résine neutrophage de l'emballage, le requérant modifie les valeurs minimales et maximales de conductivité thermiques retenues dans la loi de comportement utilisée dans les calculs numériques. Il démontre que l'utilisation de la nouvelle loi exerce une faible influence sur les températures des composants sensibles du modèle de colis. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant répond de manière convenable à la demande de l'ASN.**

Les résultats du requérant satisfont les critères de températures maximales d'utilisation du plomb, de la résine et des joints de confinement. **Ceci est satisfaisant.**

3.2. POURSUITE DE LA COMBUSTION DU BOIS DU CAPOT

Pour rappel, le capot de tête de l'emballage est constitué de bois, dont la combustion après l'épreuve d'incendie pourrait conduire à une augmentation des composants sensibles du modèle de colis, notamment les joints de confinement et le plomb. Aussi, l'ASN avait demandé au requérant de justifier que ce phénomène ne remet pas en cause les conclusions du comportement du modèle de colis en température.

En réponse, le requérant considère que ce sont les joints de confinement qui présentent le moins de marges de sûreté. À cet égard, il indique que l'écart de température entre la température maximale des joints et leur température limite d'utilisation en service limité sont du même ordre de grandeur que l'augmentation de température évaluée à partir d'un essai de feu sur des capots dont les résultats sont présentés dans l'article cité en troisième référence. En outre, le requérant indique que la température maximale des joints du couvercle est atteinte localement au niveau du trou de poinçon, dont la modélisation est pénalisante en termes de flux thermique. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que, tenant compte des conservatismes de l'étude, la sûreté des transports de colis TN-MTR ne devrait pas être remise en cause par le phénomène de poursuite de combustion du bois du capot.**

S'agissant de la prise en compte du phénomène pour l'étude du comportement des contenus des colis, le requérant indique que les températures maximales des gaz de la cavité retenues dans l'étude de confinement présentent des marges avec celles calculées dans l'étude thermique. Les hypothèses conservatives de l'étude thermique, les marges obtenues dans l'étude de confinement et le fait que la combustion soit un phénomène limité dans le temps par la quantité de bois disponible, alors que le critère de relâchement réglementaire en CAT s'étale sur une semaine, montrent l'existence de marges suffisantes pour couvrir les effets de ce phénomène. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté considère que le requérant répond de manière acceptable à la demande de l'ASN.**

4. CONFINEMENT

Pour la présente demande de renouvellement, le requérant met à jour la démonstration de confinement du modèle de colis TN-MTR, sans en modifier la méthode, afin de tenir compte des nouveaux résultats issus de l'étude thermique, des nouvelles nuances de joint et du nouveau sous-contenu. Il apporte de plus des éléments de réponse aux demandes de l'ASN relatives à l'étude des phénomènes de perméation et d'extrusion des nouvelles nuances de joint ainsi qu'à la justification de l'étanchéité des joints en cas de poursuite de combustion du bois du capot.

4.1. TAUX DE RELÂCHEMENT

La quantité de tritium maximale des nouveaux éléments en béryllium, spécifiée dans le chapitre description des contenus du dossier de sûreté, et le taux de relâchement du tritium en dehors de ces éléments, issu de mesures expérimentales, permettent de respecter les critères réglementaires de relâchement d'activité en CNT et CAT. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Les coefficients de perméation retenus dans l'étude de confinement sont issus d'études publiées par le BAM² et d'essais réalisés par le requérant. **La Direction de l'expertise en sûreté considère que le requérant répond de manière satisfaisante à la demande de l'ASN relative à la prise en compte de la perméation.**

² Le « Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung » (en français l'institut fédéral pour la recherche et les essais des matériaux) est une autorité fédérale scientifique et technique allemande.

4.2. COMPORTEMENT DES JOINTS DE CONFINEMENT

Le requérant évalue les taux de compression et de remplissage correspondant aux nuances de joints utilisées. Pour ce qui concerne l'évaluation du taux de compression minimal, le requérant retient une déformation rémanente après compression (DRC) de 20 %. Cependant, des essais réalisés par le BAM et l'ASNR montrent que cette DRC n'est pas nécessairement enveloppe pour toutes les nuances de joint utilisées. En outre, les essais montrent des écarts significatifs avec les valeurs annoncées par les fabricants. La Direction de l'expertise en sûreté estime que des valeurs de DRC justifiées devraient être retenues pour toutes les nuances de joint utilisées. Toutefois, les hypothèses de calcul du taux de compression et du taux de remplissage, en particulier les tolérances de fabrication, sont enveloppes du comportement réel des joints de confinement. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant pourrait justifier les DRC retenues pour les nuances de joint équipant le modèle de colis TN-MTR. Nonobstant, compte tenu des marges de sûreté sur les valeurs de taux de compression, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le phénomène de DRC n'est pas de nature à mettre en cause la sûreté des transports des colis TN-MTR.**

Pour ce qui concerne l'évaluation du taux de remplissage, le fait de retenir les températures limite d'utilisation des joints en CNT et CAT permet de prendre en compte les conséquences d'une éventuelle poursuite de la combustion des bois du capot (cf. paragraphe 3.2 du présent rapport). Les taux de remplissage restent inférieurs à 100 %, ce qui permet de maîtriser le risque d'extrusion. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que ceci permet de répondre aux demandes de l'ASN.**

5. RADIOPROTECTION

L'étude de radioprotection est mise à jour afin d'inclure un calcul pour les éléments en béryllium nouvellement ajoutés. Les hypothèses de modélisation utilisées ne sont pas modifiées pour la présente demande. Le spectre utilisé pour le nouveau contenu considère de manière enveloppe la contribution des isotopes typiquement rencontrés dans ce type d'éléments irradiés, en cumulant leurs activités maximales. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Les résultats obtenus par le requérant satisfont les critères réglementaires. Toutefois, la Direction de l'expertise en sûreté relève que les volumes de détection utilisés pour calculer le débit d'équivalent de dose (DED) et modélisés dans les calculs de radioprotection sont sphériques. Aussi, la surface effective de mesure du DED n'est pas positionnée au contact de l'emballage, comme requis par le règlement cité en deuxième référence, mais à une distance moyenne égale au rayon de la sphère modélisée. Considérant les marges obtenues par le requérant, les DED évalués au contact du modèle de colis ne devraient pas dépasser les critères réglementaires. **En tout état de cause, il appartient au requérant de mettre à jour ses calculs en tenant compte de points de mesure placés au contact de la surface extérieure de l'emballage, conformément au paragraphe 617 du règlement.**

6. PRÉVENTION DES RISQUES DE CRITICITÉ

Pour la présente demande de renouvellement d'agrément, les résultats relatifs aux contenus supprimés sont retirés. Les autres résultats, présentés lors de la précédente demande, et conformes aux critères réglementaires, restent inchangés. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

7. VIEILLISSEMENT

Dans le cadre de la présente demande, le requérant demande un agrément selon le règlement de l'AIEA cité en deuxième référence qui comprend dorénavant des exigences relatives à la prise en compte des phénomènes de vieillissement à la conception du modèle de colis, notamment au travers du paragraphe 613A. Le dossier de sûreté comporte ainsi un nouveau chapitre relatif aux effets du vieillissement sur les performances du modèle de colis TN-MTR. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments présentés par le requérant permettent de répondre globalement à l'objectif du nouveau paragraphe 613A du règlement.**

Toutefois, cette analyse ne tient compte, ni de la présence d'une atmosphère particulière en transport ou entreposage, ni des effets de l'irradiation en température sur la résine et les joints d'étanchéité. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant pourrait compléter son étude sur ces points.**

8. UTILISATION ET MAINTENANCE

Afin d'inclure des réponses aux demandes de l'ASN relatives à la tenue en fatigue des organes d'arrimage et à l'ajout d'une restriction d'utilisation des tourillons et des organes d'arrimages respectivement aux phases de manutention et d'arrimage, les instructions d'utilisation du modèle de colis sont mises à jour. En particulier, le requérant ajoute, dans les instructions d'utilisation, cette restriction et une spécification concernant l'angle maximal d'arrimage, afin que celui-ci corresponde à l'angle retenu dans la démonstration de tenue mécanique des organes d'arrimage. **Ceci permet de répondre de manière satisfaisante aux demandes de l'ASN.**

Le requérant présente également un retour d'expérience (REX) de l'utilisation du modèle de colis TN-MTR sur les cinq dernières années. Bien qu'il soit indiqué dans le dossier de sûreté que les aciers constitutifs de l'emballage ne sont pas sujets aux phénomènes de corrosion, le REX mentionne plusieurs occurrences de corrosion sur les taraudages de tapes et de portées de joints notamment. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant pourrait vérifier lors des maintenances que la corrosion observée sur les portées de joint ne conduit pas à détériorer les joints ou modifier la géométrie de la gorge (y compris en cas de réparation).**

La Direction de l'expertise en sûreté souligne en outre l'augmentation du nombre de défauts relevés sur la période écoulée par rapport à la précédente, et ce, malgré une diminution du nombre total de transports. **Considérant les maintenances régulières et la faible gravité de la majorité des défauts relevés, la Direction de l'expertise en sûreté estime que cette augmentation n'est pas de nature à mettre en cause la sûreté des transports de colis TN-MTR.**

9. SYSTÈME DE GESTION DE LA QUALITÉ

Pour répondre à une demande de l'ASN relative à l'intégration dans le dossier de sûreté des éléments mentionnés lors des précédents échanges avec l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, le requérant a ajouté au dossier les démonstrations requises. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que ceci permet de répondre de manière satisfaisante à la demande de l'ASN.**

10. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés et en tenant compte des informations transmises par la société Orano NPS, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la sûreté des transports du modèle de colis TN-MTR, tel que défini dans les projets de certificats transmis, est satisfaisante, eu égard aux prescriptions de l'édition 2018 du règlement de transport de l'AIEA applicables aux modèles de colis de type B(U) chargés ou non de matières fissiles, et du type B(M) chargés de matières fissiles.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Anne-Cécile JOUVE

Adjointe au Directeur de l'expertise en sûreté