



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 24 novembre 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2021-00187

---

**Objet :** Transport - Modèle de colis TN Eagle®  
Programme d'essais de chute

---

**Réf. :** [1] Lettre ASN CODEP-DTS-2021-035722 du 29 juillet 2021.  
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2018.  
[3] Guide de l'ASN n° 7 -Transport à usage civil de substances radioactives sur la voie publique - Révision 2 du 15 février 2016.

---

Par la lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le programme d'essais de chute présenté par la société Orano NPS (ci-après dénommée « le requérant ») pour le modèle de colis TN Eagle®.

L'emballage TN Eagle® est destiné au transport d'assemblages combustibles, irradiés dans des réacteurs à eau pressurisée (REP) ou des réacteurs à eau bouillante (REB), par voies routière, ferroviaire, fluviale et maritime. Outre des opérations de transport, ce modèle de colis peut être utilisé pour l'entreposage à sec de combustibles usés.

Pour rappel, l'ASN a délivré un agrément du type B(U) contenant des matières fissiles pour ce modèle de colis le 21 décembre 2020 selon la réglementation citée en seconde référence. Afin de répondre à des besoins industriels, la société Orano NPS souhaite modifier le concept de l'emballage actuellement agréé, notamment pour ce qui concerne les capots amortisseurs, les joints métalliques et le système de dissipation thermique de l'emballage.

Dans ce contexte, préalablement à une prochaine demande d'extension d'agrément, le requérant souhaite réaliser un essai de chute sur une maquette représentative du colis pour étudier les conséquences de l'utilisation du nouveau concept de capot amortisseur et des nouveaux joints métalliques de confinement sur le niveau de sûreté du modèle de colis TN Eagle®.

De l'expertise du programme d'essais de chute transmis, tenant compte des informations apportées au cours de l'expertise par le requérant, l'IRSN retient les principaux points suivants.

MEMBRE DE  
**ETSON**

# 1. PRÉSENTATION DU COLIS

## 1.1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

L'emballage TN Eagle® est de forme générale cylindrique. Son corps en acier au carbone est constitué d'une virole de forte épaisseur soudée à un fond. Des anneaux constitués d'une structure en acier et remplis de résine enserrant la virole et contribuent à l'atténuation des rayonnements ionisants autour de l'emballage.

L'enveloppe de confinement est délimitée par la cavité de l'emballage fermée par deux couvercles indépendants, munis de joints d'étanchéité métalliques. Le joint de contrôle (joint externe disposé de manière concentrique au joint d'étanchéité et permettant le contrôle de l'étanchéité de celui-ci) du couvercle primaire peut être métallique ou en élastomère. Celui du couvercle secondaire est en élastomère. La face interne du couvercle primaire est équipée d'un système amortisseur visant à réduire les éventuelles sollicitations sur le système de fermeture de la cavité en cas d'impact du contenu sur celui-ci en conditions accidentelles. Chaque extrémité du corps de l'emballage est équipée d'un capot amortisseur de chocs.

Enfin, la cavité de l'emballage est équipée d'un panier dans lequel sont placés les assemblages combustibles usés, qui peuvent provenir de REP ou de REB.

Le modèle de colis TN Eagle® est conçu pour être modulaire. Ainsi, la longueur et le diamètre de la virole, l'épaisseur du fond, les dimensions des capots et de la protection radiologique peuvent être adaptés au contenu.

L'agrément délivré par l'ASN le 21 décembre 2020 porte sur deux configurations du modèle de colis relatives respectivement au transport d'assemblages combustibles de réacteurs de type REP et de type REB.

## 1.2. MODIFICATIONS DU MODÈLE DE COLIS

Les modifications du concept de l'emballage TN Eagle® présentées dans le dossier transmis par le requérant, dont certaines sont optionnelles, sont :

- un nouveau concept de capot amortisseur, nommé H.S.A. (*Honeycomb Shock Absorber*), consistant en une adaptation du concept agréé pour lequel la partie latérale est remplacée par un matériau constitué d'aluminium en nid d'abeille ;
- des nouveaux joints métalliques de confinement, qui ont la particularité de présenter, après une durée de 40 ans d'entreposage, un retour élastique supérieur ou égal à celui des joints équipant actuellement le modèle de colis ;
- la possibilité d'utiliser un revêtement anticorrosion sur les portées de joint métalliques ;
- l'utilisation d'une résine présentant une température limite d'utilisation plus élevée que la résine actuelle ;
- des ailettes additionnelles placées autour de la virole permettant d'augmenter le chargement thermique du modèle de colis ;
- une protection radiologique, composée d'une couche de silicone, pour le couvercle primaire.

Le nouveau capot amortisseur est destiné à équiper l'une des deux configurations du modèle de colis actuellement agréés. Les autres modifications peuvent porter sur l'ensemble des configurations.

En outre, au cours de l'expertise, le requérant a indiqué qu'il intégrera à la demande d'extension d'agrément la possibilité de fabriquer l'emballage avec une virole forgée monobloc et l'ajout d'un nouveau contenu constitué d'un mélange d'assemblages combustibles à base d'oxyde d'uranium (UOX) ou d'oxydes mixtes d'uranium et de plutonium (MOX) chargés dans un nouveau concept de panier.

L'IRSN souligne que les adaptations proposées portent sur des éléments importants pour la sûreté du modèle de colis et représentent un nombre important de modifications notables de catégorie M1 au sens du guide du requérant de l'ASN cité en troisième référence. **Aussi, l'IRSN estime que ces adaptations modifieront de manière significative le concept initial du modèle de colis TN Eagle® et que la demande d'extension d'agrément**

associée, outre sa complexité liée au caractère optionnel de certaines modifications, présentera un enjeu de sûreté significatif.

## 2. PRÉSENTATION DU PROGRAMME D'ESSAIS

Le programme d'essais de chute transmis par le requérant contient les éléments suivants :

- une note relative au programme d'essais qui a pour objectifs de :
  - présenter la méthode générale qui permettra de démontrer la tenue mécanique du colis à la suite d'une chute de 9 m sur cible indéformable et d'une chute de 1 m sur poinçon ;
  - déterminer la chute retenue sur la maquette à l'échelle 1/3 de l'emballage TN Eagle® ;
  - déterminer les configurations de chutes pénalisantes qui seront étudiées dans le dossier de sûreté ;
- une note justifiant la représentativité de la maquette de l'emballage TN Eagle® échelle 1/3 par rapport au modèle de colis TN Eagle® ;
- une note de présentation des moyens qui seront mis en œuvre lors de l'essai de chute avec maquette (instrumentation, séquençement de l'essai de chute, contrôles à effectuer) ;
- des calculs numériques préliminaires des chutes réglementaires de 9 m sur cible indéformable qui seront étudiées dans le dossier de sûreté. Ces calculs visent à démontrer le bon comportement de l'emballage à l'issue des chutes. Les notes de calcul présentent le modèle numérique utilisé avec les hypothèses considérées et les résultats des calculs préliminaires ;
- une analyse des conséquences d'une chute réglementaire d'une hauteur d'1 m du modèle de colis sur poinçon. Elle est fondée sur les similitudes existantes entre le modèle de colis TN Eagle® et des concepts d'emballages agréés ;
- une note de qualification du matériau amortisseur en aluminium. Cette note s'appuie sur des essais de caractérisation d'échantillons de nids d'abeille et également sur des chutes de maquettes associées à un recalage numérique. De plus, le comportement lors de l'épreuve de feu est caractérisé par des essais sur des blocs de nid d'abeille sous cône calorimétrique ;
- le programme d'essai de glissement latéral du joint métallique dans sa gorge ainsi que la représentativité de la maquette d'essai dédiée. Ce programme a pour objectif de valider les nouveaux joints métalliques équipant le modèle de colis ainsi que le revêtement optionnel en nickel des portées de joint de la virole.

## 3. MÉTHODE DE DÉMONSTRATION

La méthode de démonstration proposée par le requérant pour les chutes réglementaires de 9 m sur cible indéformable repose, concernant la chute axiale, sur une vérification par similitude avec un concept d'emballage existant que les conclusions du dossier de sûreté agréé restent applicables au capot H.S.A. S'agissant des chutes latérale et oblique, elle consiste à vérifier par calculs numériques que les conclusions du dossier de sûreté agréé couvrent les résultats de l'emballage muni de capots H.S.A. Afin de justifier l'étanchéité du système de fermeture de l'emballage à la suite des chutes réglementaires, le requérant retient une configuration de chute du colis en position horizontale qu'il a évaluée pénalisante à l'issue de calculs préliminaires.

S'agissant des chutes d'une hauteur de 1 m sur poinçon, le requérant réalise des comparaisons avec des essais similaires réalisés sur d'autres modèles de colis. Lorsqu'il n'existe pas de similitude, des hypothèses pénalisantes sont considérées afin d'évaluer les dommages sur les protections mécaniques, thermiques et radiologiques de l'emballage.

Par ailleurs, des essais sur maquettes, réalisés dans le cadre de la qualification du matériau amortisseur en aluminium, montrent que la chute sur poinçon induit un endommagement correspondant uniquement à un volume égal à celui du poinçon sur la profondeur traversée. Le requérant considère ainsi pouvoir réaliser des similitudes avec des maquettes ayant chuté, équipées de capots amortisseurs en bois, puisqu'il estime que le

comportement du nid d'abeille est similaire à celui du bois. En outre, cela lui permet d'évaluer la réduction de capacité d'absorption du capot dans le cas d'une chute préalable à une chute de 9 m en retirant le volume impacté par le poinçon du volume écrasé.

**L'IRSN estime que, sur le principe, la méthode de démonstration relative aux essais de chutes réglementaires proposée par le requérant est acceptable.**

## 4. DÉTERMINATION DES CONFIGURATIONS DE CHUTE

Au regard des éléments transmis dans le programme d'essais, l'IRSN considère que les configurations de chute de 9 m sur cible indéformable retenues pour être étudiées dans le dossier de sûreté sont satisfaisantes. Le requérant a réalisé, pour ces configurations, des calculs préliminaires présentés au paragraphe 5 du présent avis. Par ailleurs, il retient une chute d'une maquette d'une hauteur de 9,3 m en position horizontale avec une température des capots amortisseurs de -40 °C. Cette chute a pour objectif de maximiser les sollicitations dans le système de fermeture du colis et les efforts dans les vis des couvercles. Elle permet ainsi de justifier l'étanchéité du colis, en cumulant par ailleurs les effets de la chute représentative des conditions normales de transport. **L'IRSN estime que l'essai prévu par le requérant permet de répondre à l'objectif fixé.**

S'agissant des configurations de chute sur poinçon retenues pour être étudiées dans le dossier de sûreté, elles prennent en compte des dommages sur les éléments importants pour la sûreté du colis (système de fermeture, protections thermique et radiologique, corps) et les éventuelles conséquences associées (augmentation de la température des joints de confinement, réduction de la protection radiologique, rupture brutale). Les hypothèses considérées dans le dossier de sûreté du modèle de colis TN Eagle® actuellement agréé seront conservées pour le modèle de colis équipé des capots H.S.A. **Ceci n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.**

## 5. CALCULS NUMÉRIQUES PRÉLIMINAIRES

Les principes de modélisation de l'emballage et des capots sont identiques à ceux du dossier de sûreté du modèle de colis TN Eagle®, sauf pour le nid d'abeille dont les principes de modélisation sont identiques aux calculs effectués dans la note de qualification du nid d'abeille en aluminium. Le matériau du nid d'abeille est modélisé par une loi d'écrasement de type « nid d'abeille » propre au code de calcul aux éléments finis utilisé par le requérant, simulant le comportement en écrasement de l'amortisseur. Les paramètres dimensionnels des modèles numériques sont sensiblement équivalents ou sans influence par rapport à ceux définis dans le dossier de sûreté. Le requérant considère une masse enveloppe du modèle de colis TN Eagle® équipé de capots H.S.A.

**À ce stade de l'expertise, les calculs numériques préliminaires présentés par le requérant n'appellent pas de commentaire de la part de l'IRSN.**

## 6. MAQUETTE D'ESSAI

Le requérant prévoit de réaliser l'essai en utilisant une maquette à l'échelle 1/3 composée d'un corps forgé équipé de sa protection radiologique (représentative du concept du colis en termes de masse uniquement), de couvercles primaire et secondaire équipés de leur vis de fixation et de leurs joints d'étanchéité, d'un capot amortisseur en tête et en fond et d'un lest simulant le contenu de l'emballage. Le requérant présente dans son dossier les spécifications de la maquette à l'échelle 1/3 du TN Eagle® et justifie sa représentativité.

À cet égard, le requérant indique que les blocs de bois équipant les capots amortisseurs n'ont pas besoin d'être représentatifs car seul le nid d'abeille en aluminium est susceptible de se déformer. Les calculs numériques préliminaires transmis indiquent une déformation du bois des capots à la suite de la chute quasi-horizontale. De plus, le requérant a précisé au cours de l'expertise que la part d'énergie absorbée par les blocs de bois des capots

est négligeable par rapport à la part d'énergie absorbée par le nid d'abeille. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

**En tout état de cause, l'IRSN considère que la caractérisation des matériaux de la maquette fait partie des bonnes pratiques à adopter pour permettre une exploitation fiable et pérenne des résultats des essais de chute.** En particulier, les blocs de bois du capot amortisseur de tête faisant partie des éléments par lesquels les efforts transitent vers le système de fermeture du colis, l'IRSN estime qu'il conviendrait de les caractériser.

S'agissant de la représentativité du nid d'abeille, le requérant indique que l'aluminium n'est pas sensible à des phénomènes de vieillissement. Ce point n'est pas étayé par le requérant dans son dossier. Cependant, il s'est engagé à justifier, sur la base d'une étude bibliographique, dans la prochaine révision du dossier de sûreté l'absence d'impact du vieillissement sur les propriétés mécaniques de l'aluminium. En outre, un vieillissement de l'aluminium devrait induire une diminution des propriétés mécaniques du nid d'abeille, ce qui n'a pas d'influence sur la représentativité de l'essai de chute sur maquette à -40 °C. **Sur le principe, l'IRSN estime que ceci est acceptable.**

## 7. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'essai de chute sera réalisé sur le site d'expérimentation d'Orano NPS de Laudun-l'Ardoise qui dispose d'une cible dont les caractéristiques sont compatibles avec l'essai prévu. L'étanchéité des couvercles primaire et secondaire de la maquette sera mesurée à l'issue de l'essai de chute. La durée de refroidissement des capots et la durée entre la sortie des capots du caisson froid nécessaire à la mise en température et le largage de la maquette de chute seront adaptées pour assurer une température de -40 °C pour le nid d'abeille en aluminium des capots lors de la chute. **Sur le principe, l'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

Un thermocouple est situé dans chaque capot amortisseur afin d'enregistrer la température des capots depuis leur refroidissement dans le caisson froid jusqu'au moment du largage. Le requérant indique que les blocs dans lesquels sont situés les thermocouples sont les plus exposés au réchauffement lors de la sortie du caisson froid. Les autres blocs, moins exposés à l'air ambiant, ne seraient donc pas susceptibles d'atteindre une température supérieure à -40 °C au moment du largage. L'IRSN estime que cette hypothèse est vérifiée dans le cas où l'ensemble du nid d'abeille atteint une température inférieure ou égale -40 °C dans le caisson froid. L'IRSN note que le requérant n'a pas transmis de calcul thermique permettant d'évaluer, d'une part la durée et la température nécessaires à l'atteinte de l'équilibre thermique à basse température de l'ensemble du nid d'abeille, d'autre part la durée permettant de garantir que les capots amortisseurs sont maintenus à une température inférieure ou égale à -40 °C au moment du largage.

De plus, la présence d'un unique thermocouple dans chaque capot amortisseur ne permet pas de pallier un éventuel problème technique pouvant survenir lors de l'essai, comme la défaillance d'un thermocouple ou un mauvais étalonnage. L'IRSN estime que le principe de redondance doit être appliqué lors de l'enregistrement de mesures expérimentales visant à évaluer le niveau de sûreté d'un modèle de colis. Aussi, en l'absence d'analyse thermique du refroidissement des capots évoquée ci-avant, et eu égard au nombre insuffisant de thermocouples positionnés sur ces derniers, l'IRSN estime que les éléments présentés par le requérant ne permettent pas de garantir que la température ciblée sera respectée lors du largage de la maquette. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 en annexe au présent avis.**

## 8. CONCLUSION

Sur la base des éléments du programme d'essais examiné et en tenant compte des informations complémentaires transmises au cours de l'expertise, l'IRSN considère que le programme d'essais de chute présenté par la société Orano NPS pour étudier les conséquences de l'utilisation du nouveau concept de capot amortisseur et des nouveaux joints métalliques de confinement sur le niveau de sûreté du modèle de colis TN Eagle® est globalement acceptable.

Néanmoins, le requérant devra prendre en compte la recommandation formulée en annexe au présent avis.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Eric LETANG

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2021-00187 DU 23 NOVEMBRE 2021**

### **Recommandation de l'IRSN**

#### **Recommandation n° 1**

L'IRSN recommande que le requérant justifie que la température des capots amortisseurs sera inférieure ou égale à -40 °C au moment du largage de la maquette TN Eagle®.