Version publique : les informations non-publiques sont masquées par des rectangles noirs [redacted]

Caractéristiques de performances du colis

Sommaire

État des révisions 2
1. Objet 3
2. Description et définitions 3
3. Performances d'un point de vue mécanique 7
4. Performances d'un point de vue thermique 13
5. Performances d'un point de vue confinement 16
6. Performances d'un point de vue radioprotection 18
7. Performances d'un point de vue sûreté-criticité 20
8. Conditions d'utilisation 22
9. Programme d'entretien périodique 22
10. Système de Gestion de la Qualité 23
11. Références 23

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

État des révisions

Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
Ancienne référence : DOS-13-00084300-050			
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Nouvelle référence : DOS-17-003034-018			
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3.0		• Mise à jour de la description de l'emballage et de ses performances en fonction des modifications apportées dans le reste du dossier.	[redacted]

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

1. Objet

L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du colis TN® G3 (version L et version S), destiné au transport, par voie routière, ferroviaire ou maritime, sous-utilisation exclusive, d'assemblages combustibles REP 17×17 en tant que colis de type B(M) contenant des matières fissiles au regard de la réglementation <1>.

2. Description et définitions

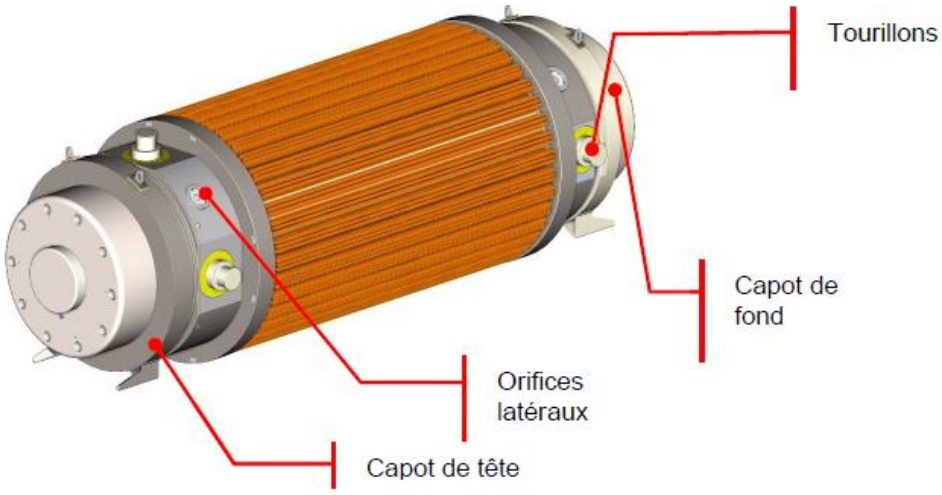
2.1. Description du colis

Le combustible nucléaire issu des réacteurs civils de puissance à eau légère sous pression est constitué de crayons combustibles assemblés en réseau. Le traitement de ces produits nécessite leur transport entre les différents lieux d'utilisation (centrales nucléaires) et de traitement (usine). Le colis TN® G3 permet de réaliser ces transports.

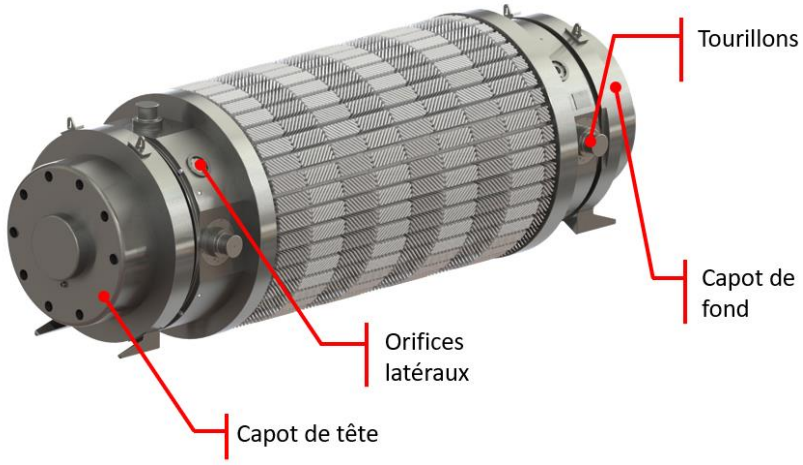
Le colis TN® G3 se décline en deux variantes d'habillage :

- Variante habillage aluminium, constituée d'anneaux en aluminium frettés sur le corps forgé ;
- Variante habillage cuivre, constituée de conducteurs cuivre vissés ou soudés sur le corps forgé.

De forme générale cylindrique, l'emballage dans sa variante habillage cuivre ou aluminium est illustré respectivement sur les figures ci-dessous tel que présenté au transport, en position horizontale.



Colis TN®G3 dans sa variante habillage cuivre



Colis TN®G3 dans sa variante habillage aluminium

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Le modèle de colis TN® G3 se décline également en deux versions suivant le contenu envisagé :

- Version S : pour les assemblages combustibles de longueur active nominale de 12 pieds (environ 3,6 m),
- Version L : pour les assemblages combustibles de longueur active nominale de 14 pieds (environ 4,3 m).

Les dimensions générales hors-tout du colis sont :

- Longueur = 7,7 m (version L) et 7,2 m (version S) ;
- Diamètre externe = 2,5 m.

Ces dimensions sont identiques pour les deux variantes d'habillage du colis TN®G3.

Le colis TN® G3 est transportable par voie terrestre (routière ou ferroviaire), maritime ou fluviale.

2.2. Description de l'emballage

Les principaux composants de l'emballage sont :

- Un corps en acier forgé comportant une cavité interne et muni, à l'extérieur, d'un habillage comprenant un matériau de blindage neutronique et une structure de dissipation thermique avec des ailettes de refroidissement. Le corps forgé est composé de plusieurs parties (fond et virole) soudées sur la totalité de leur épaisseur. Des tourillons vissés sur le corps (4 en tête et 2 en fond) forment les points de préhension pour la manutention et l'arrimage pour le transport. Des orifices latéraux (1 en tête et 2 en fond) permettent un accès à la cavité ; ils sont obturés par un double système de fermeture vissé et équipé de joints élastomères. Aux extrémités de la zone ailetée, deux porte-jupes constitués d'un capotage en acier inoxydable contiennent une couronne en aluminium amortisseur permettant de limiter l'incidence des chocs lors des épreuves de chute réglementaires des conditions normales et accidentelles de transport.
- Un système de fermeture de la cavité, formé d'un bouchon maintenu par une bride de serrage en acier fixée par des vis, et un couvercle en acier maintenu par des vis. Le bouchon comprend également une couche de matériau de blindage neutronique et de protection contre les rayonnements gamma, ainsi qu'un amortisseur permettant de limiter le choc du contenu lors des épreuves de chute réglementaires des conditions normales et accidentelles de transport. Ce bouchon est muni de 2 orifices équipés respectivement d'un raccord rapide donnant accès à la cavité de l'emballage et au compartiment de l'amortisseur. Ils sont obturés par un capuchon de raccord vissé et équipé de joints élastomères.
- Deux capots amortisseurs (en tête et en fond) protégeant le système de fermeture et le fond de l'emballage contre les chocs des conditions normales et accidentelles de transport. Ces capots sont constitués d'un capotage en acier inoxydable, rempli de deux types de matériaux amortisseurs (l'un en aluminium, l'autre en mousse ou en nid d'abeille). Les capots sont emboîtés sur le corps de l'emballage au moyen d'une couronne d'emboîtement en acier inoxydable, et maintenus en place par des vis. Le capot de tête est également équipé d'une plaque épaisse anti-poinçonnement afin de protéger le système de fermeture lors des épreuves des conditions accidentelles de transport.

La version L diffère uniquement de la version S par une longueur en partie courante plus longue.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

2.3. Description de l'aménagement interne

L'aménagement interne est composé d'un panier et de cales destinés à recevoir les assemblages combustibles.

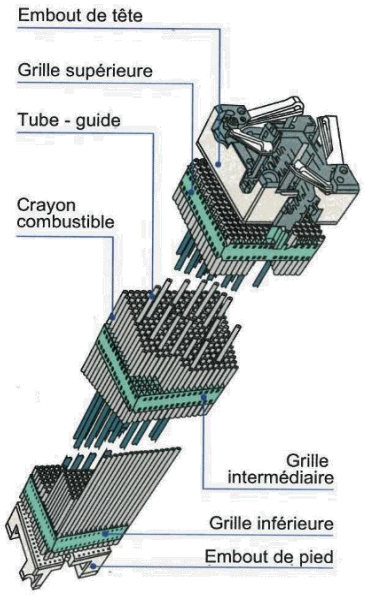
- Le panier de l'emballage TN® G3 consiste en un assemblage vissé d'éléments en aluminium, d'éléments en aluminium enrichi en bore et d'éléments de renfort en acier inoxydable, délimitant douze logements longitudinaux de section rectangulaire ou carrée dans lesquels sont placés les assemblages combustibles. Ces éléments sont emboîtés en périphérie dans des lunules en aluminium qui ferment extérieurement les logements. La manutention de l'ensemble est assurée par l'intermédiaire de 4 tirants en acier inoxydable. La longueur du panier est adaptée à la version S ou L de l'emballage.
- Chaque combustible est supporté par une cale en acier déposée au fond de chaque logement. Ces cales permettent de positionner les assemblages dans la cavité.

2.4. Description des contenus

Les contenus de l'emballage TN® G3 sont constitués de l'aménagement interne et des assemblages combustibles suivants :

- **contenu n°1** : au maximum 12 assemblages combustibles REP 17×17 à oxyde d'uranium (UO_2) ;
- **contenu n°2** : au maximum 12 assemblages combustibles REP 17×17, constitué d'au plus 2 (TN® G3 version L) ou 3 (TN® G3 version S) assemblages combustibles à oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX) et du complément à 12 d'assemblages combustibles à oxyde d'uranium (UO_2).

Le schéma de principe ci-contre illustre la constitution d'un assemblage combustible pour réacteur à eau sous pression (REP).



Il comprend des crayons combustibles formant un réseau incomplet 17×17 à pas carré. Les emplacements sans combustible sont occupés par des tubes qui servent à la fois d'entretoises entre les embouts d'extrémité et de guides pour les barres de contrôle.

Des grilles sont fixées sur ces tubes et assurent le positionnement transversal et longitudinal des crayons.

Le contenu autorisé limite les paramètres importants pour la sûreté et qui sont utilisés dans le dossier de sûreté ; en particulier :

- La géométrie de l'assemblage.
- L'enrichissement maximal en uranium 235, la teneur maximale en plutonium, le taux de combustion moyen maximal et le temps de refroidissement minimal des assemblages combustibles, résumés dans les tableaux suivants :

	Assemblage REP UO_2 17×17		
Enrichissement maximal en ^{235}U	5 %		
Taux de combustion moyen maximal	52 GWj/t_{ML}	62 GWj/t_{ML}	70 GWj/t_{ML}
Durée de refroidissement minimale	180 jours	365 jours	730 jours

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

	Assemblage REP MOX 17×17
Enrichissement maximal en ^{235}U	0,3 %
Teneur maximale en Plutonium	10,2 %
Taux de combustion moyen maximal	52 GWj/t_{ML}
Durée de refroidissement minimale	730 jours

- La masse maximale de métal lourd dans l'assemblage.
- La puissance thermique maximale dégagée par l'assemblage.
- La composition isotopique des pastilles à oxyde mixte d'uranium et de plutonium.
- Les sources de rayonnement maximales exprimées sous forme d'un système d'inéquations permettant de respecter les exigences réglementaires de débit d'équivalent de dose autour du modèle de colis.
- La quantité totale maximale admissible d'eau présente dans les crayons inétanches et la durée de transport maximale de transport admissible associée au transport de ces crayons.

2.5. Barrières d'étanchéité

L'emballage TN® G3 est constitué d'un corps épais dont chaque ouverture est fermée par 2 barrières d'étanchéité indépendantes décrites ci-après.

Corps épais

Le corps épais est constitué de la virole épaisse en acier forgé, du fond en acier forgé, et de la soudure pleine pénétration liant ses composants entre eux.

Première barrière

La première barrière d'étanchéité est constituée par :

- Le bouchon et son joint élastomère,
- Les 2 capuchons de raccord rapide et leur joint élastomère présents sur le bouchon,
- Les 3 tampons et leur joint élastomère présents sur chaque orifice latéral,
- Les 3 sièges de tampon et leur joint élastomère présents sur chaque orifice latéral.

Deuxième barrière

La deuxième barrière d'étanchéité est constituée par :

- Le couvercle et son joint élastomère,
- Le capuchon de raccord rapide et son joint élastomère présent sur le couvercle,
- Les 3 opercules et leur joint élastomère présents sur chaque orifice latéral.

2.6. Enceinte de confinement

L'enceinte de confinement est constituée par le corps épais et ses 2 barrières d'étanchéité décrites au paragraphe 2.5.

2.7. Système d'isolement

Le système d'isolement est constitué par :

- La masse de métal lourd, les caractéristiques isotopiques (enrichissement en ^{235}U et teneur en Pu) du contenu radioactif,
- Le corps épais en acier forgé et les deux barrières d'étanchéité décrits au paragraphe 2.5.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

2.8. Bilan de masses

La masse maximale autorisée du colis TN® G3 en transport est de 117 000 kg.

La masse autorisée au transport est celle utilisée de façon générique dans les études de sûreté : par exemple pour la tenue des tourillons, l'énergie de chute pour les conditions accidentelles. Les composants analysés dans ces études tels que les tourillons, les amortisseurs (capots, porte jupe), le système de fermeture et ses vis, sont identiques entre les versions S et L pour chaque variante d'habillage. Ainsi, la masse maximale autorisée au transport est la même pour le colis TN®G3 dans ses deux versions ainsi que dans ses deux variantes d'habillage.

3. Performances d'un point de vue mécanique

3.1. Conditions de transport de routine

Arrimage et manutention

La manutention est assurée par deux ou trois des trois paires de tourillons (une ou deux à l'avant, une à l'arrière) fixées par des vis sur la virole.

L'arrimage sur un moyen de transport est assuré par deux de ces trois paires de tourillons (une à l'avant et une à l'arrière).

La tenue des tourillons est justifiée pour des chargements statiques représentatifs des accélérations vues en transport, ainsi qu'à la fatigue suite au cumul des cycles de sollicitation en transport et en manutention.

Les études permettent de justifier la tenue des tourillons pour une utilisation de 40 ans.

Tenue à la pression

La virole épaisse, son fond soudé, le bouchon et sa bride de serrage constituent une enceinte à pression dimensionnée à une pression relative de 7 bars selon les règles de calcul du code ASME Division 1 Sous-section NB. Cette pression de dimensionnement est supérieure aux pressions pouvant être rencontrées en conditions réglementaires de transport.

Le couvercle est justifié pour une pression relative de 2 bars selon les règles de calcul du code ASME Division 1 Sous-section NB.

Les autres enceintes fermées sont justifiées pour une pression de 0,1 bar relatif (pour les caissons sur le corps et sur le bouchon) ou 0,02 bar relatif (pour les caissons étanches des capots), compte tenu de la présence de valves de surpression tarées à ces pressions.

3.2. Conditions normales de transport

Les analyses de sûreté étudient l'épreuve réglementaire de chute libre de 30 cm de hauteur. Les autres épreuves réglementaires (gerbage, aspersion et pénétration d'une barre) ne modifient pas les performances du colis.

Endommagements

Les amortisseurs (capots, supports de jupe du corps) ne subissent pas de dégradation significative et le panier maintient sa géométrie lors de l'épreuve de chute libre.

3.3. Conditions accidentelles de transport

L'ensemble des analyses de chute est réalisé en considérant une énergie de chute correspondant à une masse totale de colis de 117 tonnes.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Conformément à la réglementation pour les colis contenant des matières fissiles, le colis doit subir le cumul des épreuves de chutes des conditions normales et accidentelles de transport. Ce cumul est pris en compte en rehaussant de 30 cm la hauteur de chute libre de l'épreuve accidentelle (soit 9,3 m au lieu de 9 m).

Ensemble des chutes étudiées

Toutes les configurations possibles de chute libre de 9 mètres et de 1 mètre sur poinçon sont étudiées ; soit au total 11 chutes libres et 13 chutes sur poinçon.

Les séquences de chutes retenues pour être testées physiquement sont celles maximisant :

- les dommages possibles aux barrières d'étanchéité du système de fermeture (séquences AT, AF, OT, OC et LT définies ci-après) ou,
- les sollicitations possibles dans le système de fixation des capots de tête et de fond (séquence QH définie ci-après).

Lorsque nécessaire, des modèles numériques du colis sont construits afin de simuler les configurations de chutes à l'aide du logiciel de calcul dynamique LS-DYNA3D. Les études réalisées avec ces modèles permettent en particulier de :

- valider les configurations de chute les plus pénalisantes à réaliser sur la maquette, comprenant le choix de l'angle de chute et de la génératrice d'impact.
- valider le caractère pénalisant des géométries (jeux dans le système de fermeture…) et des matériaux de la maquette de chute.

Principe de définition de la maquette de chute

Les épreuves de chutes ont été réalisées avec une maquette pénalisante du modèle de colis à l'échelle 1/3 ; c'est-à-dire que toutes les dimensions sont divisées par 3.

Les règles de similitude sont appliquées afin de garantir que les contraintes mécaniques dans les composants de la maquette sont à minima les mêmes que celles dans les mêmes composants du modèle d'emballage. Le comportement mécanique en chute sera donc le même sur la maquette et sur le colis.

Les règles de similitudes amènent à définir une hauteur de chute corrigée pour tenir compte :

- des écarts de masse entre celle de la maquette et la masse maximale du modèle de colis,
- du complément d'énergie de chute nécessaire à apporter à la maquette en raison des différences d'échelle de la hauteur écrasée des éléments amortisseurs entre la maquette et le modèle d'emballage.

La maquette de chute a été fabriquée de manière à simuler le comportement le plus défavorable du modèle de colis. Ainsi :

- Les matériaux amortisseurs sont caractérisés par une contrainte d'écrasement pouvant varier sur la plage permise par le modèle. Selon les configurations de chute, les amortisseurs de la maquette sont volontairement plus mous, ou plus durs que la plage autorisée par le modèle.
- Les matériaux des composants de structure dont on teste la résistance (composants constituant les deux barrières d'étanchéité par exemple) sont volontairement dégradés sur la maquette par rapport au minimum requis par le modèle.

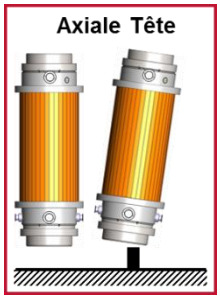
Ainsi, le principe de similitude permet de garantir que les résultats de la maquette sont valables pour le modèle d'emballage.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Conformément à la réglementation, à l'intérieur d'une séquence de chutes, aucune modification ou changement de composant n'est possible. Par contre, certains composants sont changés entre deux séquences (capots, vis, joint d'étanchéité…).

Les séquences de chutes ont été réalisées tel que décrit ci-après.

Séquence Axiale Tête (AT)

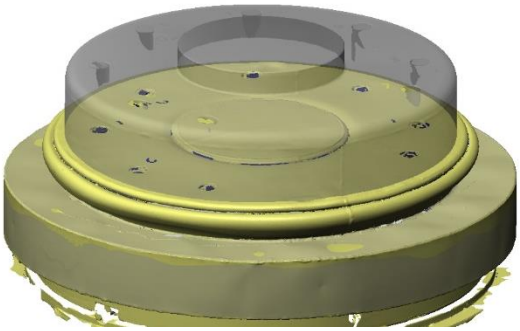


La 1ère chute est une chute libre de 9,3 mètres dans l'axe du colis côté système de fermeture. Cette chute sollicite l'étanchéité des deux barrières. En particulier, cette chute a été réalisée avec l'impact différé du contenu.

La 2ème chute est une chute libre sur poinçon au centre du couvercle afin de maximiser les effets de flexion et poinçonnement pouvant remettre en cause son étanchéité.

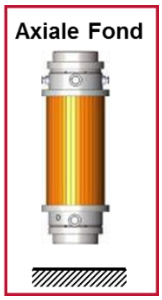
- Lors de la 1ère chute : le capot amortisseur a parfaitement assuré sa fonction en s'écrasant (voir le scan 3D ci-contre présentant le capot avant et après la chute).

  Durant cette chute, le contenu était retenu à l'opposé du système de fermeture durant la chute libre. Le contenu est venu percuter le bouchon avec un retard. Cet effet appelé « impact différé » sollicite au maximum le système de fermeture. Afin de protéger le bouchon et ses vis de cette sollicitation, un amortisseur à l'intérieur de la cavité permet d'absorber ce choc. L'efficacité de cet amortisseur a ainsi pu être validée.



- Lors de la 2ème chute : le poinçon a perforé le capot écrasé par la 1ère chute mais a été arrêté par la plaque anti-poinçonnement incluse dans le capot, avant tout dommage sur le couvercle (2ème barrière d'étanchéité du colis).
- A la fin de la séquence de chute, les mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent que les deux barrières de l'emballage TN® G3 conservent un bon niveau d'étanchéité.

Séquence Axiale Fond (AF)



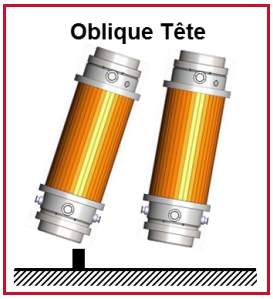
Cette chute libre de 9,3 mètres a été réalisée dans l'axe du colis côté fond. Elle sollicite le système de fermeture en flexion sous son propre poids, ainsi que d'éventuels phénomènes vibratoires.

Lors de la chute : le capot amortisseur a parfaitement assuré sa fonction en s'écrasant (voir le scan 3D ci-contre présentant le capot après la chute).

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

À la fin de la séquence de chute, les mesures d'étanchéité par gaz traceur Hélium montrent que les deux barrières de l'emballage TN® G3 conservent un bon niveau d'étanchéité.

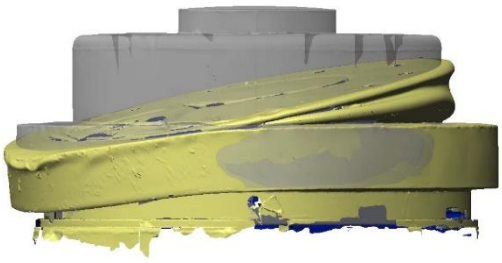
Séquence Oblique Tête (OT)



La 1ère chute libre sur poinçon vise à endommager au maximum le capot amortisseur de tête qui sert lors de la chute suivante.

La 2ème chute libre de 9,3 mètres sur le même capot endommagé sollicite le système de fermeture. Le point d'impact est aligné avec le centre de gravité afin de prévenir le basculement du colis ; toute l'énergie de chute et ainsi reprise lors de l'impact.

- Lors de la 1ère chute : le poinçon a perforé le capot, puis la maquette a basculé. Ce basculement provoqué en n'alignant pas le centre de gravité et le point d'impact a pour but de maximiser les dommages sur le capot amortisseur.



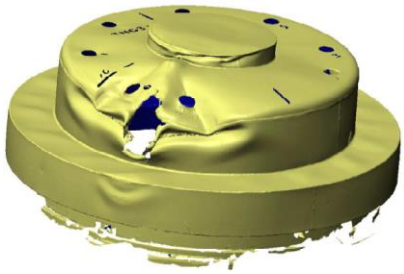
- Lors de la 2ème chute : le capot amortisseur a parfaitement assuré sa fonction en s'écrasant (voir le scan 3D ci-contre présentant le capot avant et après la chute).
- A la fin de la séquence de chute, les mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent que les deux barrières de l'emballage TN® G3 conservent un bon niveau d'étanchéité.

Séquence Orifice Couvercle (OC)

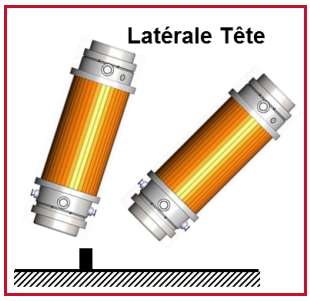
Cette chute libre sur poinçon vise à perforer la plaque anti-poinçonnement du capot de tête et endommager l'orifice présent sur le couvercle faisant partie de l'enceinte de confinement.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

- Lors de cette chute, le poinçon a perforé le capot et a été arrêté par la plaque anti-poinçonnement incluse dans le capot, sans la perforer, empêchant ainsi tout dommage sur le couvercle et son orifice (2ème barrière d'étanchéité du colis).
- A la fin de la séquence de chute, les mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent que les deux barrières de l'emballage TN® G3 conservent un bon niveau d'étanchéité.



Séquence Latérale Tête (LT)

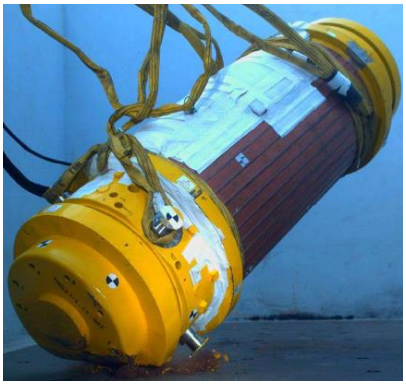


- La 1ère chute libre sur poinçon vise à endommager au maximum le capot amortisseur de tête qui sert lors de la chute suivante.

- La 2ème chute libre de 9,3 mètres sur le même capot endommagé sollicite le système de fermeture avec un angle. Le point d'impact n'étant pas aligné avec le centre de gravité, le basculement provoque un 2ème impact côté fond.

- Lors de la 1ère chute : le poinçon a perforé la couronne aluminium du capot (zone cerclée rouge ci-contre), puis la maquette a basculé. Les dommages sur le capot amortisseur sont ainsi maximum avant la chute suivante.

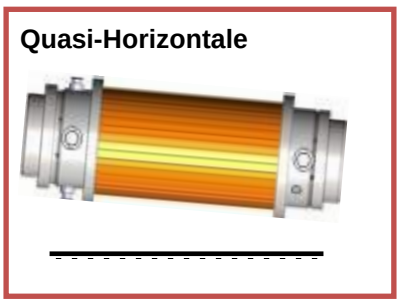
- Lors de la 2ème chute : le capot amortisseur a parfaitement assuré sa fonction en s'écrasant (voir la photo ci-contre).



Le basculement naturel de la maquette a provoqué un deuxième impact côté fond repris par le support de jupe.

- A la fin de la séquence de chute, les mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent que les deux barrières de l'emballage TN® G3 conservent un bon niveau d'étanchéité.

Séquence Quasi-Horizontale (QH)



Le colis chute dans une position quasi-horizontale. Le faible angle par rapport à l'horizontale génère un premier impact sur le support de jupe côté fond.

La rotation du colis autour du point d'impact provoque un effet de fouettement augmentant les dommages lors du deuxième impact côté tête, et crée en particulier un effet d'éjection du capot de tête.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

La tenue du capot de tête est indispensable pour assurer une isolation thermique du système de fermeture lors de l'épreuve réglementaire de feu.

- Après la chute (photo ci-contre), les vis de fixation du capot de tête sont restées intègres maintenant le capot solidaire du colis.
- A la fin de la séquence de chute, les mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent que les deux barrières de l'emballage TN® G3 conservent un bon niveau d'étanchéité.

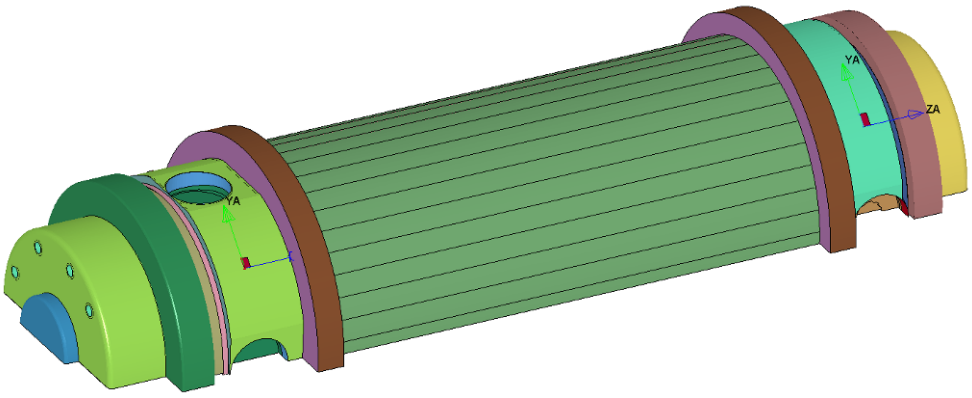
Fin de campagne de chutes

A la suite de l'ensemble des séquences de chutes décrites ci-avant, des mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent un bon niveau d'étanchéité de la soudure du corps forgé acier de la maquette.

Modélisation numérique

La modélisation numérique (exemple de demi-modèle illustré ci-après) permet de reproduire le comportement observé sur la maquette lors de toutes les chutes libres de 9,3 m, à l'aide du logiciel de calcul dynamique LS-DYNA3D.

Cette étape de recalage du modèle permet en particulier de reproduire correctement l'accélération globale lors de la chute, la déformation des amortisseurs externes, et de majorer numériquement les efforts dans les vis du système de fermeture (bouchon et couvercle) qui ont été mesurés lors des chutes à l'aide de vis instrumentées. Dans le cas particulier de la séquence AT, le modèle reproduit également l'accélération vue par le contenu (effet de l'impact différé) et la déformation de l'amortisseur interne.



Par la suite, les principes de modélisation du modèle numérique de la maquette validé par la chute réalisée sont appliqués au modèle de colis afin de :

- valider les plages de variation des composants du colis ;
- dans le cas particulier de la chute OT, valider la tenue du système de fermeture en tenant compte d'un impact différé du contenu ;
- déterminer l'accélération maximale permettant de vérifier la tenue mécanique du panier ;
- valider l'absence de risque de rupture brutale à – 40 °C de la bride de serrage du bouchon : l'intensité de contrainte maximale reste inférieure à la ténacité du matériau, sur la base d'un défaut normalisé. Un facteur de sécurité réglementaire de 1,4 est considéré ;
- valider la tenue du système vissé des capots ; dans cet objectif des essais complémentaires réalisés sur des essais élémentaires représentatifs du système vissé des capots de la maquette et du modèle d'emballage ont permis de qualifier un critère de tenue en rupture.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Enfin, les résultats numériques confirment l'étanchéité du modèle en démontrant que le taux de compression des joints d'étanchéité après chute reste suffisant. Ces calculs couvrent toute la plage possible de température (de -40 °C aux températures maximales des conditions normales de transport) en fonction des variations possibles des propriétés des matériaux et de leur évolution au cours du temps (déformation rémanente à la compression des joints).

Suite aux épreuves réglementaires des chutes en conditions accidentelles de transport, les deux barrières de l'emballage TN® G3 conservent leur étanchéité, et ce pour toutes les configurations de chute.

Un modèle numérique spécifique du panier permet d'en démontrer la résistance lors des différentes configurations de chutes, en se basant sur les accélérations déterminées par les modèles numériques du colis. Les calculs dynamiques LS-DYNA3D permettent de vérifier la non-rupture (déformation inférieure à la limite à la rupture du matériau) de la structure en acier haute résistance assurant la cohésion du panier. Ces calculs couvrent toute la plage possible de température (de -40 °C aux températures maximales des conditions normales de transport) en fonction des variations possibles des propriétés des matériaux.

Les autres endommagements de l'emballage concernent principalement les éléments amortisseurs (capots et couronnes de porte jupe).

La virole et le fond sont constitués entièrement d'acier dont le risque de rupture brutale à -40 °C est écarté par la garantie de sa non-fragilité à cette température. Seule la soudure virole / fond fait l'objet d'une analyse mécanique écartant le risque de rupture brutale à -40 °C.

4. Performances d'un point de vue thermique

4.1. En conditions de transport de routine

Paramètres du contenu importants pour l'étude

La caractéristique utilisée dans cette étude est la puissance linéique maximale définie dans la définition du contenu autorisé.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques de l'emballage influant sur les études thermiques sont :

- les matériaux et la géométrie du panier,
- la présence d'hélium dans la cavité,
- la virole en acier, son épaisseur,
- les conducteurs en cuivre ou les anneaux d'habillage en aluminium, leur épaisseur,
- la valeur des jeux entre les composants du colis,
- les propriétés thermiques des matériaux,
- Pour la variante cuivre, la convection entre les ailettes externes de refroidissement est caractérisée par un recalage sur un essai thermique sur une maquette tranche représentative du colis à l'horizontal, c'est-à-dire dans sa position de transport. Pour la variante aluminium, la définition des coefficients de convection dans la zone ailetée est obtenue à l'aide du code de calcul thermofluidique STAR CCM+.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- La température ambiante réglementaire,
- L'ensoleillement réglementaire appliqué :
  - 12/24h pour l'emballage dans sa variante habillage cuivre,
  - et de manière pénalisante 24/24h pour la variante aluminium.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée à l'aide du logiciel I-DEAS pour l'emballage variante habillage cuivre, utilisant un modèle numérique représentant le colis (emballage et panier). Le calcul thermique est réalisé selon la méthode des volumes finis avec le module TMG interfacé avec I-DEAS.

L'analyse est réalisée à l'aide du logiciel NX/Simcenter pour la variante habillage aluminium, utilisant un modèle numérique représentant le colis (emballage et panier). Le calcul thermique est réalisé selon la méthode des volumes finis avec le module Thermal/Flow interfacé avec NX/Simcenter.

Chaque type d'habillage est étudié thermiquement selon un modèle numérique qui lui est propre. Les principales hypothèses et simplifications du modèle qui sont utilisées dans les 2 variantes d'habillage sont:

- Un demi-modèle est réalisé compte tenu de la symétrie du modèle de colis.
- La puissance des assemblages combustibles est directement appliquée sur les parois des logements. Le profil de puissance thermique des assemblages combustibles est pris en compte. Deux méthodes sont utilisées pour modéliser les assemblages combustibles :
  - Dans le cas de l'habillage cuivre, le calcul de la température des crayons des assemblages est réalisé par un modèle spécifique tenant compte des températures dans la section la plus chaude du colis (à mi-longueur) et propriétés d'émissivité des gaines et des parois de panier.
  - Dans le cas de l'habillage l'aluminium, les assemblages combustibles sont inclus dans le modèle numérique représentant le colis (via une modélisation homogène).
- Le panier étant majoritairement en aluminium, il se dilate plus que le corps sous l'effet de la température ce qui a tendance à réduire le jeu radial de montage du panier dans la cavité. Cette réduction du jeu est favorable pour l'évacuation de la puissance. Par un calcul itératif, le jeu à chaud est déterminé en considérant le jeu à froid le plus grand.
- Les ailettes externes favorisant le refroidissement du colis ne sont pas représentées. Le modèle tient compte des ailettes par l'intermédiaire d'un coefficient d'échange convectif calculé à partir d'un essai thermique réalisé sur une tranche d'emballage (variante habillage cuivre) ou déterminé par le code de calcul thermofluidique (variante habillage aluminium).

Les différentes positions des assemblages combustibles et du panier dans la cavité pouvant conduire à majorer les températures des composants sensibles de l'emballage (joints de confinement et résine) sont étudiées.

Résultats de l'étude

Le champ de températures dans le colis est utilisé dans les différentes parties du dossier de sûreté.

La température des composants sensibles à la température sont compatibles avec leur critère d'intégrité ; en particulier :

- Joint d'étanchéité : la température maximale des joints permet de justifier le non-endommagement des joints sur un nombre de cycles de transport compatible avec la fréquence de remplacement en maintenance.
- Résine neutrophage : la température maximale de la résine reste inférieure à sa limite d'utilisation.

4.2. En conditions normales de transport

Les épreuves réglementaires relatives aux conditions normales de transport n'affectent pas le comportement thermique du colis. Les températures atteintes par le colis en conditions normales de transport sont identiques à celles atteintes en conditions de transport de routine et les conclusions restent applicables.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

4.3. En conditions accidentelles de transport

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les calculs tiennent compte des endommagements suivants :

- Perforation d'un caisson de résine du corps suite à une chute sur poinçon au droit de l'orifice ou en partie courante dans la section la plus chaude de l'emballage.
- Le matériau amortisseur des capots prévu à cet effet n'est pas pris en compte ; seules la plaque anti-poinçonnement, la virole d'emboitement et la couronne aluminium des capots sont modélisées ; la plaque anti-poinçonnement est modélisée au plus près du corps de l'emballage.
- Le compartiment amortisseur sous le bouchon est considéré écrasé.

Pour le refroidissement après feu, le colis est considéré en position la plus pénalisante vis-à-vis des échanges dans la zone ailetée, c'est-à-dire en position verticale. L'échange convectif dans la zone ailetée a été caractérisé par des essais thermiques sur maquette plaque concernant la variante habillage cuivre. Pour la variante habillage aluminium, de façon pénalisante, les ailettes ne sont pas considérées dans les calculs. Des corrélations usuelles d'échange convectif sur surface lisse sont utilisées.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- application d'une température ambiante de 800 °C pendant 30 minutes autour du colis conformément à la réglementation,
- prise en compte d'une dispersion de 12 % du contenu radioactif.

Méthode d'analyse

Cette étude a été réalisée avec le code de calcul I-DEAS/TMG avec le même modèle qu'en conditions de transport de routine pour le cas habillage cuivre.

La démarche et la méthodologie de l'étude sur l'emballage avec un habillage en aluminium sont similaires à celles présentées pour l'habillage cuivre. Dans le cas de l'aluminium, le code de calcul utilisé NX/Simcenter distribué par Siemens PLM Software associé au module d'analyse thermique Thermal/Flow.

Le calcul est réalisé en régime transitoire selon le synoptique suivant :

A. Le champ de température initial du colis est celui des conditions de transport de routine ayant conduit aux températures les plus élevées concernant les joints d'étanchéité du colis.

B. Pendant la période réglementaire de 30 minutes, le feu est simulé par :

   a. Une température ambiante réglementaire de 800 °C.

   b. Un coefficient d'échange convectif dans la zone ailetée égal au coefficient recommandé par la réglementation de 10 W/m²/K représentatif d'une convection forcée dans un incendie englobant, augmenté par l'accroissement de surface totale des ailettes.

   c. L'émissivité des flammes de 0,9 et l'émissivité des surfaces externes de 0,8 conformément à la réglementation.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

C. Après feu,

a. Le coefficient d'échange convectif dans la zone ailetée est celui de la convection naturelle du colis en position verticale (position plus pénalisante pour la convection). Ce coefficient est issu d'un recalage sur un essai thermique pour la variante habillage cuivre ou d'un code thermo-fluidique pour la variante habillage aluminium.

b. L'émissivité des surfaces externes reste à 0,8.

Les différentes positions des assemblages combustibles et du panier dans la cavité pouvant conduire à majorer les composants sensibles de l'emballage (joints de confinement et résine) sont étudiées.

Résultats de l'étude

L'exposition des joints à :

- 1 an en continu à la température maximale obtenue en conditions de transport de routine et conditions normales de transport,
- puis 7 jours au profil de température le plus pénalisant obtenu en conditions accidentelles de transport (supposée constante sur 7 jours de manière pénalisante),

Conduit à des endommagements cumulés très inférieurs à 1.

Enfin, les taux de remplissage des joints aux températures maximales en conditions accidentelles de transport sont inférieurs à 100 %.

5. Performances d'un point de vue confinement

L'analyse de confinement du modèle de colis TN® G3 inclut le cas du colis contenant des assemblages combustibles ainsi que celui du colis vide d'assemblage. L'enceinte de confinement est définie au paragraphe 2.6.

Les critères réglementaires de relâchement d'activité sont vérifiés par calcul analytique en suivant la méthodologie décrite dans la norme ISO 12807. Cette étude tient compte de :

- La perméation des gaz tritium et krypton à travers les joints élastomère ;
- Les fuites de gaz radioactif ;
- Les fuites de particules aérosols radioactives.

5.1. Conditions de transport de routine

En conditions de transport de routine, la pression d'utilisation normale maximale est négative ce qui prévient toute fuite vers l'extérieur.

5.2. En conditions normales de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

La quantité et l'activité des radioéléments sont déterminées sur la base des caractéristiques du combustible suivantes :

Type de combustible	UO_2			MOX
Taux de combustion moyen (GWj/t_{ML})	52	62	70	52
Durée de refroidissement (jours)	180	365	730	730

Dans le cas d'un transport avec au moins un crayon inétanche, la quantité d'eau totale apportée par ce(s) crayon(s) est prise en compte.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- Les taux de fuite maximaux de chacune des barrières d'étanchéité vérifiés avant expédition.
- La pression maximale de remplissage du colis défini dans les conditions d'utilisation.
- La pression de vapeur saturante due à la présence d'eau dans les crayons inétanches.
- Les températures maximales des gaz et des joints issues de l'analyse thermique.
- Le volume libre dans la cavité.
- La nature et la géométrie des joints des barrières d'étanchéité qui impactent les fuites par perméation.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- Le taux de crayons ruptés en conditions normales de transport est de 5 %.
- Le taux de relâchement des gaz de fission (dit RGF) est conforme aux recommandations de l'ASN.
- La pression externe du colis est de 0,85 bar ; cette pression limite le transport à une altitude de 1 000 m par rapport au niveau de la mer.
- La durée de transport de 275 jours pour le contenu sans crayon inétanche, et de 60 jours avec au moins un crayon inétanche.

Méthode de calcul

La méthodologie décrite dans la norme ISO 12807 est basée sur un scénario en 2 phases :

- La phase de rentrée d'air : pendant la durée de transport (275 jours pour les contenus sans inétanche ; 60 jours pour les contenus comprenant au moins un crayon inétanche), la pression atmosphérique est supposée majorante (1,1 bar absolu). Le colis étant en dépression, le flux de fuite se fait de l'extérieur vers l'intérieur, et augmente la pression dans la cavité. Il n'y a pas de relâchement d'activité pendant cette phase.

- La phase de relâchement d'activité : à la fin de la période de transport, la pression atmosphérique chute brutalement à 0,85 bar. Cette fois, le flux de fuite se fait de l'intérieur vers l'extérieur. Le relâchement d'activité reste inférieur au critère réglementaire de 10^{6} A_2/h.

Résultats de l'étude

Le critère réglementaire est respecté.

5.3. En conditions accidentelles de transport

Les différences principales avec le calcul en CNT sont les suivantes :

- Le taux de crayons ruptés en conditions accidentelles de transport est de 100 %.
- Les températures maximales des gaz et des joints sont issues des calculs thermiques en conditions accidentelles de feu (paragraphe 4.3).

Les résultats montrent une marge significative par rapport au critère réglementaire de 1 A_2 cumulé sur une semaine.

Dans le cas d'un transport avec au moins un crayon inétanche, de l'eau résiduelle peut subsister à l'intérieur du crayon. La radiolyse de cette eau conduit à générer du dihydrogène. La quantité de gaz produite doit rester inférieure à la limite inférieure d'inflammabilité dans la cavité, qui est déterminée en considérant les températures maximales des gaz issues de l'étude thermique en conditions accidentelles de transport. Cette limite sert de critère pour les

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

mesures d'hydrogène requises avant expédition (voir paragraphe 8), permettant le calcul de la durée de transport.

6. Performances d'un point de vue radioprotection

Les critères retenus de débit d'équivalent de dose couvrant les conditions réglementaires de transport sont les suivants :

- Conditions de transport de routine (CTR) : 2 mSv/h au contact du colis.
- Conditions normales de transport (CNT) : moins de 20 % d'augmentation du débit de dose maximal au contact du colis.
- Condition accidentelles de transport (CAT) : 10 mSv/h à 1 m du colis.

6.1. En conditions de transport de routine

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les sources de rayonnement du contenu radioactif maximal sont limitées par la définition d'un système d'inéquations présenté dans la définition du contenu.

De plus, les débits d'équivalent de dose au contact du colis sont évalués pour les chargements typiques avec les principales caractéristiques combustibles suivantes :

Chargement	**UO_2 n°1**	**UO_2 n°2**	**UO_2 + MOX**	
Combustible	UO_2		UO_2	MOX
Nombre d'assemblage	12		8	4
Taux de combustion moyen (MWj/t_{ML})	60 000	70 000	60 000	52 000
Durée de refroidissement (années)	2	2,5	14,3	6,7

Le profil d'irradiation des assemblages combustibles est pris en compte.

L'activation des pièces d'embout des assemblages combustibles durant leur irradiation en cœur est prise en compte.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

La protection contre les rayonnements est assurée par la nature et l'épaisseur des matériaux de l'emballage.

Le blindage radial est principalement formé par :

- la virole épaisse en acier,
- La résine de blindage neutronique :
  - coulée dans les augets délimités par des conducteurs en cuivre (TN®G3 variante habillage cuivre),
  - sous forme de blocs insérés dans les logements des anneaux d'habillage en aluminium (TN®G3 variante habillage aluminium).
- une enveloppe externe constituée :
  - de plaques de cuivre (variante habillage cuivre),
  - d'anneaux en aluminium (variante habillage aluminium).

Le blindage radial, en dehors de la zone centrale, est principalement formé par :

- la virole épaisse en acier dont l'épaisseur est localement réduite au niveau du système de fermeture et sous les tourillons,

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

- des caissons de résine protégés par les tôles de fermeture en acier,
- des tourillons contenant un bloc de résine et leur couronne de résine protégée par une tôle d'acier recouvrant les têtes de vis.

Le blindage axial en tête est principalement constitué par :

- les parties massives en acier du système de fermeture (bouchon, bride de serrage, couvercle) et la plaque anti-poinçonnement contenue dans le capot de tête,
- la couche de blindage supplémentaire contenue dans le bouchon,
- la couche de résine contenue dans le bouchon et sa tôle de fermeture en acier.

Le blindage axial en fond est principalement constitué par :

- le fond forgé de la virole,
- une couche de résine et sa tôle de fermeture en acier.

Hypothèses importantes pour l'étude

Dans cette étude, l'effet du vieillissement de la résine a été pris en compte sur une durée d'utilisation de l'emballage de 20 ans en continu (chargement de la puissance maximale dans l'emballage pendant 20 ans).

Méthode de calcul

Les calculs de débits d'équivalent de dose ont été menés à l'aide du code TRIPOLI 4.4 ou TRIPOLI 4.7. Il permet de résoudre l'équation du transport des particules dans une géométrie à trois dimensions par la méthode de Monte Carlo. La bibliothèque des sections efficaces utilisée est ENDF/B-VI ou CEA V5.0 (basée sur JEFF-3.1.1).

Les coefficients de conversion de flux en dose sont issus de l'évaluation CIPR 74, recommandation CIPR 60.

Les sources induites (sources secondaires) créées par les réactions des neutrons sur les éléments de la résine neutrophage sont prises en compte.

Résultats de l'étude

Le respect des critères de débit d'équivalent de dose en conditions de transport de routine est garanti par le contenu radioactif maximal prévu pour le colis qui est défini par des inéquations de transport caractérisant les termes sources neutrons et gamma acceptables.

Les points dimensionnants au contact se situent :

- Pour le TN® G3 version L : à l'interface support de jupe-tourillon côté fond ;
- Pour le TN® G3 version S : à l'interface support de jupe-tourillon côté tête.

6.2. En conditions normales de transport

En conditions de transport de routine, les débits d'équivalents de doses au contact du colis en axial tête et fond et en extrémité du support de jupe sont très faibles au regard du critère réglementaire. Suite aux épreuves des conditions normales de transport, les débits d'équivalents de dose au contact des zones endommagées (amortisseurs constitués des capots et du support de jupe) sont toujours faibles et sont couverts par le point dimensionnant au contact du colis, à l'interface support de jupe-tourillon. Il n'y a donc pas d'augmentation notable des débits d'équivalent de dose à la surface du colis en CNT.

Il est justifié que le colis ne dépasse pas le critère des CNT à l'issue des épreuves réglementaires des CNT.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

6.3. En conditions accidentelles de transport

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les calculs tiennent compte des endommagements suivants :

- disparition d'au moins 40 % de l'épaisseur de résine et de la totalité du matériau amortisseur (mousse ou nid d'abeille) des capots,
- prise en compte d'une dispersion de 100 % du contenu radioactif.

Résultats de l'étude

Il est justifié que le contenu radioactif maximal prévu pour le colis défini par les inéquations respecte le critère réglementaire de débit d'équivalent de dose à 1 m en conditions accidentelles de transport.

7. Performances d'un point de vue sûreté-criticité

La sûreté-criticité doit être assurée, suivant la réglementation pour :

- le colis isolé en conditions de routine (c'est-à-dire tel que présenté au transport),
- le colis isolé en conditions normales de transport (c'est-à-dire résultant des épreuves réglementaires des conditions normales de transport),
- le colis isolé en conditions accidentelles de transport (c'est-à-dire résultant du cumul des épreuves des conditions normales et conditions accidentelles de transport),
- l'agencement de 5 N colis (N étant le nombre permettant de définir la valeur du coefficient réglementaire – Criticality Safety Index CSI) en conditions normales de transport,
- l'agencement de 2 N colis en conditions accidentelles de transport.

Les transports étant réalisés à sec, les conditions de transport de routine et conditions normales de transport sont couvertes par une seule configuration du colis en conditions accidentelles de transport en considérant le contenu ruiné.

Les critères de sous-criticité retenus sont les suivants :

$k_{eff} \leq 0,95$ pour le colis isolé ; toutes incertitudes comprises.

$k_{eff} \leq 0,98$ pour le colis en réseau ; toutes incertitudes comprises.

7.1. Colis isolé

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Dans cette étude, les assemblages combustibles sont considérés comme ruinés, c'est-à-dire que seuls l'oxyde d'uranium et l'oxyde mixte d'uranium et de plutonium le cas échéant sont modélisés dans la configuration géométrique la plus pénalisante (sous forme d'une sphère).

La matière est considérée hétérogène pour majorer la réactivité du colis.

L'enrichissement, la teneur en Pu et la masse de métal lourd sont les principales caractéristiques du combustible importantes pour cette étude.

L'enrichissement maximal initial et la teneur maximale initiale en Pu avant irradiation sont pris en compte.

La masse totale maximale d'oxyde d'uranium et d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium des 12 assemblages combustibles est prise en compte.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

L'emballage est considéré endommagé. Seule l'épaisseur de virole est éventuellement considérée. Les autres matériaux de structure de l'emballage et ceux de l'aménagement interne ne sont pas pris en compte. Ainsi, la matière fissile est entourée éventuellement d'une épaisseur d'acier (épaisseur de virole) et de 200 mm d'eau.

Hypothèses importantes pour l'étude

Le modèle d'emballage TN® G3 est constitué d'une double barrière d'étanchéité réputée étanche à l'issue des épreuves réglementaires, dont les contrôles avant transport pour vérifier la bonne fermeture, le séchage et l'étanchéité sont renforcés pour se prémunir de l'erreur humaine, et qui permet ainsi de considérer une introduction partielle d'eau dans la cavité conformément au règlement de l'AIEA <1>.

La quantité maximale d'eau présente dans le colis prend en compte les origines suivantes :

- la quantité d'eau susceptible de pénétrer lors d'une immersion sous une hauteur d'eau de 15 m pendant 8 heures à l'issue des épreuves réglementaires des conditions normales de transport,
- la quantité d'eau susceptible de pénétrer lors d'une immersion sous une hauteur d'eau de 0,9 m pendant 8 heures à l'issue des épreuves réglementaires des conditions accidentelles de chutes et de feu,
- la quantité d'eau potentiellement présente après le séchage de la cavité à une pression maximale de 10 mbar,
- la quantité d'eau contenue dans l'hydrate de bore issue de l'eau de piscine au moment du chargement,
- la quantité d'eau présente dans les crayons inétanches (le cas échéant).

Méthode de calcul

Les calculs ont été effectués avec le schéma de calcul APOLLO2-MORET4 (standard du formulaire CRISTAL).

Les modèles sont constitués de sphères concentriques représentatives de la matière fissile et de l'eau potentiellement présente dans la cavité, éventuellement de l'épaisseur de virole, et de 200 mm d'eau.

Résultats de l'étude

La réactivité maximale du colis est obtenue pour une quantité d'eau supérieure à la quantité d'eau susceptible d'être présente dans le colis.

Ainsi, la sous-criticité du colis isolé en transport est assurée.

7.2. Réseau de colis

L'emballage TN® G3 est constitué d'une virole épaisse en acier (épaisseur supérieure à 200 mm) qui isole neutroniquement son contenu. Ainsi, le respect du critère de $k_{eff} \leq 0,95$ pour le colis isolé (toutes incertitudes comprises) permet d'assurer le respect du critère réglementaire pour un réseau infini de colis.

Ainsi, l'indice de sûreté criticité vaut CSI = 0.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

8. Conditions d'utilisation

L'emballage est conçu pour être chargé et déchargé verticalement sous eau (cas de l'immersion en piscine ou de l'accostage sous fosse de chargement) ou à sec (cas de l'accostage sous cellule).

Les analyses de sûreté décrites ci-avant nécessitent notamment d'exécuter les étapes (incluant les vérifications des critères associés) ci-dessous avant l'expédition du colis :

- Les combustibles chargés doivent respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé,
- Le drainage et séchage de la cavité.
- Le remplissage en hélium de la cavité à une pression maximale définie,
- La bonne fermeture (couple de serrage des vis) et le niveau d'étanchéité (taux de fuite) de tous les composants constituant les deux barrières d'étanchéité.
- L'ensemble des opérations effectuées pour vérifier le séchage de la cavité, la fermeture de la cavité et le niveau d'étanchéité du colis doit être contrôlé par une personne différente de celle qui les a réalisées afin de vérifier la conformité au respect des exigences.
- Dans le cas d'un transport avec au moins un crayon inétanche, une mesure du taux de dihydrogène est requise, afin de déterminer le nombre maximal de jours (D_{LII}) séparant la fermeture de l'enveloppe de confinement et son ouverture afin que le taux de dihydrogène ne dépasse pas le seuil d'Inflammabilité (LII) défini. Lors d'un transport, le nombre de jours (D_{max}) pendant lesquels l'enveloppe de confinement est fermée n'excède pas, en tout état de cause, la plus faible des deux valeurs suivantes :
  - D_{LII} minoré de 7 jours,
  - 53 jours.

  Afin de disposer d'une marge pour faire face à d'éventuels aléas pendant le transport, l'expéditeur prend les dispositions nécessaires pour que la durée prévue pour le transport, comptée à partir de la fermeture de l'enveloppe de confinement de l'emballage jusqu'à l'arrivée au site destinataire, n'excéde pas :
  - D_{max} minoré de 7 jours pour les transports nationaux,
  - D_{max} minoré de 14 jours pour les transports intracontinentaux,
  - D_{max} minoré de 30 jours pour les transports intercontinentaux.
- La mise en place des scellés.
- La vérification de la non contamination de l'emballage en conformité avec les limites réglementaires.
- Le contrôle des débits d'équivalent de dose autour du colis en conformité avec les limites réglementaires.
- Si, à la fois, l'emballage contient au moins un assemblage de combustible et le transport est effectué sans barrière thermique, le contrôle des surfaces accessibles en conformité avec la limite réglementaire de 85 °C.
- La mise en place de l'étiquetage réglementaire.

9. Programme d'entretien périodique

L'emballage est conçu pour une durée de vie d'au moins 40 ans. Le programme d'entretien prévu au cours de l'utilisation de l'emballage est défini en fonction de deux types de périodicités suivant les composants importants pour la sûreté : le nombre de cycles de transport réalisés et la durée d'utilisation.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Le programme d'entretien comprend notamment :

- le remplacement des joints des barrières d'étanchéité pour une durée compatible avec sa durée de vie ;
- le contrôle de l'état des composants des systèmes vissés (barrières d'étanchéités, capots et tourillons) afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté.
- le contrôle des tourillons assurant la manutention et l'arrimage du colis, incluant la détection de défaut, le démontage des composants, et un test en charge après remontage.

Tout emballage présentant un ou des composants ne satisfaisant pas aux critères spécifiés dans le programme d'entretien est mis hors service jusqu'à ce que l'action corrective appropriée soit effectuée.

Tout composant devenu non conforme peut être réparé ou accepté en l'état si une analyse complémentaire démontre que cela ne remet pas en cause les conclusions du dossier de sûreté. Dans le cas contraire, le composant doit être remplacé.

10. Système de Gestion de la Qualité

Les réglementations de transport en vigueur font obligation d'appliquer des Systèmes de Gestion de la Qualité de la qualité pour :

- la conception,
- la fabrication et les épreuves,
- l'utilisation,
- la maintenance,
- le transport,
- des colis de matières radioactives.

Ces activités sont réalisées par différents acteurs (concepteur, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, constructeurs, utilisateurs, expéditeurs, transporteurs, sociétés de maintenance...) qui doivent tous établir des Systèmes de Gestion de la Qualité adaptés à celles-ci, et produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.

11. Références

<1> Règlement de transport des matières radioactives, Agence Internationale de l'Energie Atomique – Prescriptions, SSR-6, Edition de 2018.

Les règles de conception et d'épreuves de l'édition 2018 du Règlement de l'AIEA englobent celles des règlements applicables suivants :

- Code maritime international des marchandises dangereuses (code IMDG de l'OMI) ;
- Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID) ;
- Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) ;
- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigations intérieures (ADN) ;
- Arrêté du 23 novembre 1987 modifié relatif à la sécurité des navires, division 411 du règlement annexé (dit arrêté RSN) ;
- Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit arrêté TMD) .

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable