


<b>Orano NPS</b> <b>DOSSIER DE SURETE</b>  <b>TN 28 VT</b>	<b>Diffusion normale Orano</b> <b>CHAPITRE 00 – ANNEXE 1</b> <b>DESCRIPTION ET PERFORMANCES DU MODELE DE COLIS TN28VT</b>		 <b>orano</b>	
	Préparateur / signature	Date		
	Vérificateur / signature	Date		
<b>Identification :</b>		<b>DOS-22-003087-001</b>	<b>Version : 1.0</b>	<b>Page 1 / 26</b>

---

### Sommaire

État des révisions	2
1. OBJET	4
2. DESCRIPTION DU MODELE DE COLIS TN 28 VT	4
3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE	8
4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE	13
5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT	15
6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION	17
7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE	21
8. CONDITIONS D'UTILISATION	24
9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE	25
10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE	25
11. REFERENCES	25

---

## État des révisions

Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
Ancienne référence : DOS-06-00031446-002			
0	09/06	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprise du document 12916-Z-00-1 Rév. 3.</li> <li>- Ajout des contenus correspondant aux canisters de résidus vitrifiés produits par BN-GS.</li> <li>- Suppression des résultats de calculs de chute sur tourillons sans plaque de fermeture du chapitre 1-8 et intégration des résultats du tourillon avec plaque de fermeture issus du chapitre ZM-1-8.</li> <li>- Suppression du chapitre ZM-1-8</li> <li>- Ajout des chapitres 1-10 à 1-12.</li> <li>- Suppression du chapitre 2-2 couvert par le chapitre 2-4.</li> <li>- Suppression du chapitre 2-8.</li> </ul> <p>Modifications formelles.</p>	
1	06/07	Ajout des chapitres correspondant aux canisters de résidus compactés produits par AREVA-NC	
2	10/07	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Passage d'un colis de type B(U) à un modèle de colis de type B(M).</li> <li>- Remplacement de la dénomination commerciale BN-GS par Sellafield Ltd.</li> <li>- Ajout des canisters factices dans les chargements incomplets de résidus compactés.</li> <li>- Suppression de l'annexe 1-3 concernant la rupture fragile.</li> </ul> <p>Ajout de l'annexe 2-12 relative à la puissance interne minimale permettant de garantir une température de virole de 6°C minimum.</p>	
3	10/08	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour du calcul de relâchement d'activité pour les résidus compactés suivant : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ la mise à jour du spectre isotopique maximal suivant le tableau 0A.7,</li> <li>▪ la mise à jour des valeurs de relâchement de gaz radioactifs (3H, 85Kr et 14C).</li> </ul> </li> </ul> <p>Mise à jour du calcul de criticité afin de prendre compte un milieu fissile composé d'oxyde d'Uranium et une répartition hétérogène de l'eau dans le modèle.</p>	
4	10/08	Mise à jour de la température minimale de virole interne et de la puissance minimale associée à une température ambiante de -40°C.	
5	03/10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour de la température minimale de virole interne et de la puissance minimale associée à une température ambiante de -40°C.</li> <li>- Intégration d'une étude de la température minimale de virole lorsque l'emballage est soumis à une température ambiante variable sans ensoleillement.</li> <li>- Modification du taux de fuite global garanti en fin de fabrication ou en entretien périodique.</li> </ul> <p>Réintroduction des contrôles de vérification de blindage et de transfert thermique réalisés dans le cadre du programme d'entretien de l'emballage.</p>	
6	09/11	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajout des configurations de chargement de canisters de résidus vitrifiés CSD-B dans les paniers à 5 et 7 logements.</li> <li>- Ajout d'une configuration de chargement de canisters de résidus compactés CSD-C dans un panier à 5 logements.</li> <li>- Introduction des puissances minimales par CSD-V garantissant la température minimale de virole à -40°C.</li> <li>- Mise à jour des hypothèses CSD-C (relâchement gazeux et criticité), et introduction des canisters capés.</li> </ul> <p>Ajout de la mention « CSD-V » dans les paragraphes relatifs à ce contenu, pour les différencier des CSD-B qui sont aussi des canisters de résidus vitrifiés.</p>	
7	07/12	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intégration du contenu mixte de CSD-C et CSD-B.</li> <li>- Mise à jour des hypothèses de relâchement des CSD-C.</li> <li>- Mise à jour de l'étude de résistance mécanique des tourillons.</li> </ul> <p>Prise en compte des variations de propriété du bois du capot en température, prise en compte des propriétés minimales du couvercle et de ses vis.</p>	
8	06/17	Refonte du document.	

**État des révisions**

Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
Nouvelle référence : DOS-22-003087-001			
1.0	Cf. 1 <sup>e</sup> page	Mise à jour du formalisme Mise en cohérence des justifications de sûreté	

## 1. OBJET

L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du modèle de colis TN 28 VT, destiné au transport par voie routière, ferroviaire ou maritime, chargé de Canisters Standards de Déchets Vitriifiés CSD-V et CSD-B, de Canisters Standards de Déchets Compactés CSD-C, ou d'un mixte de canisters CSD-C et CSD-B, dans un panier à 5 ou 7 logements, en tant que colis de type B(M) contenant des matières fissiles au regard de la réglementation.

## 2. DESCRIPTION DU MODELE DE COLIS TN 28 VT

### 2.1. Description générale du modèle de colis TN 28 VT

Par définition, un colis est un emballage chargé de son contenu radioactif.

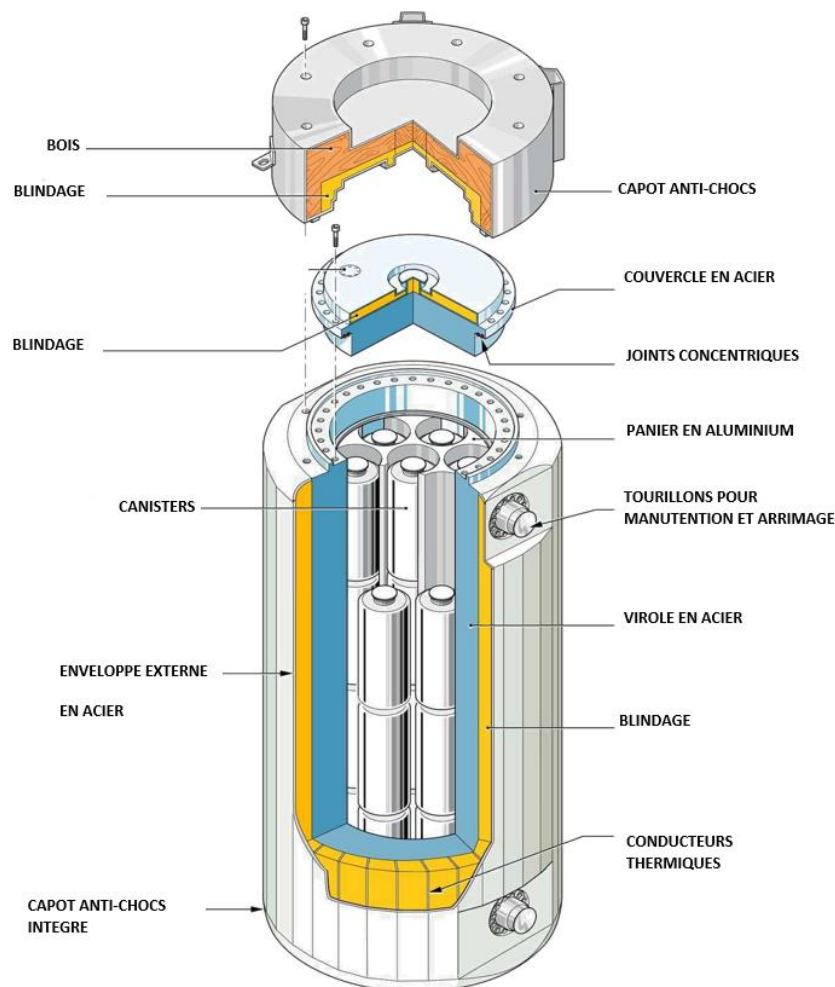
L'emballage TN 28 VT est de forme générale cylindrique. Il est conçu pour transporter :

- des Canisters Standards de Déchets Compactés (CSD-C) ;
- des Canisters Standards de Déchets Vitriifiés (CSD-V et CSD-B).

L'emballage TN 28 VT dispose de deux types de paniers qui assurent pendant le transport, le bon positionnement des canisters dans la cavité de l'emballage. Il peut être équipé :

- soit d'un panier à 5 logements, permettant le transport d'un maximum de 20 canisters ;
- soit d'un panier à 7 logements, permettant le transport d'un maximum de 28 canisters.

Le colis TN 28 VT muni de son aménagement interne à 7 logements chargé de 28 canisters est illustré sur la figure ci-dessous :



Les dimensions extérieures hors-tout de l'emballage TN 28 VT sont :

- longueur = 6 607 mm,
- diamètre externe (hors tourillons) = 2 410 mm.

Le colis TN 28 VT est transportable par voie terrestre (routier ou ferroviaire) et maritime.

## 2.2. Description de l'emballage TN 28 VT

### 2.2.1. Les principaux composants de l'emballage TN 28 VT

L'emballage est constitué des principaux composants suivants :

#### Corps :

Le corps de forme cylindrique est constitué d'une virole épaisse et d'un fond, en acier au carbone forgé, réunis par une soudure. La protection neutronique et la protection contre les chocs en cas d'impact est assurée par la résine entourant radialement la virole. La résine est protégée du milieu extérieur par une enveloppe externe en acier. Le fond de l'emballage est également équipé d'une protection neutronique semblable. Des conducteurs thermiques traversent la résine située en partie radiale entre la virole épaisse et l'enveloppe externe et assurent la dissipation de la puissance thermique dégagée par les canisters vers l'enveloppe externe, elle-même en contact avec l'air ambiant. Côté fond, l'emballage est constitué d'un capot intégré assurant une protection contre les chocs pendant le transport. Ce capot est constitué de compartiments de bois et de résine fermés par une virole en acier.

#### Système de fermeture :

Le système de fermeture est formé d'un couvercle constitué d'un disque massif en acier inoxydable forgé et d'un champignon de manutention permettant sa préhension. Le couvercle comprend des compartiments de résine pour assurer le blindage neutronique. Le couvercle est maintenu en place par sa bride, fixée à la virole par des vis. La bride du couvercle, comporte sur sa face intérieure deux gorges trapézoïdales pour deux joints toriques concentriques en élastomères qui assurent l'étanchéité et permettent son contrôle au moyen d'un orifice de test obturé par un bouchon de contrôle équipé d'un joint. En périphérie, le couvercle est traversé par un orifice donnant accès à la cavité de l'emballage et permettant de contrôler l'étanchéité du joint du tampon d'orifice. En effet, cet orifice est fermé par un tampon d'orifice muni d'un joint suivi d'une tige d'orifice munie d'un joint et d'un bouchon blindé rempli de résine.

#### Capot de transport :

Le capot de transport (côté couvercle) est constitué de compartiments de bois et de résine et d'une structure en acier inoxydable qui protège le système de fermeture contre les chocs pendant le transport. Il sert également d'isolation thermique du couvercle de l'emballage en cas d'incendie et joue un rôle de blindage neutronique. Ce capot est fixé sur la face avant de la virole forgée au moyen de vis.

#### Tourillons :

Deux paires de tourillons (une paire côté couvercle et une paire côté fond) sont vissés sur la virole et sont utilisés pour la manutention et l'arrimage de l'emballage. Les tourillons assurent la protection contre les chocs lors des épreuves de chutes de l'emballage. Ils sont en acier et remplis en partie de résine, permettant ainsi d'assurer un blindage neutronique.

### 2.2.2. Enceinte de confinement

L'enceinte de confinement est constituée par :

- la virole forgée,
- le fond forgé,
- le couvercle et le tampon d'orifice,
- le joint torique à l'intérieur du couvercle et celui du tampon d'orifice.

### 2.2.3. Barrières d'étanchéité

Les deux ouvertures de l'enceinte de confinement de l'emballage TN 28 VT décrite au paragraphe 2.2.1 (le couvercle et le tampon d'orifice) sont équipées de deux barrières d'étanchéité contrôlables :

- l'étanchéité du couvercle est assurée par un système de double joints toriques concentriques en élastomère encastrés dans des gorges,
- l'orifice traversant le couvercle est obturé par un tampon d'orifice muni d'un joint torique élastomère et doublé par une tige d'orifice équipée d'un joint torique élastomère.

## 2.3. Description du contenu

Le contenu est constitué par l'aménagement interne prenant place dans la cavité de l'emballage et les canisters.

### 2.3.1. L'aménagement interne

L'aménagement interne prenant place dans la cavité comprend un panier (à 5 ou 7 logements), un jeu de cales de canisters fixées à la face interne du couvercle, et un jeu de secteurs de bague de retenue du panier.

Le panier est réalisé à partir de segments d'aluminium extrudés coupés à longueur et soudés entre eux longitudinalement. Le panier à 5 logements est équipé de plats de blindage en acier inoxydable. La manutention du panier vide est assurée par l'intermédiaire de trois oreilles en acier au carbone zingué (ou en acier inoxydable) fixées par vis et écrous en partie supérieure du panier.

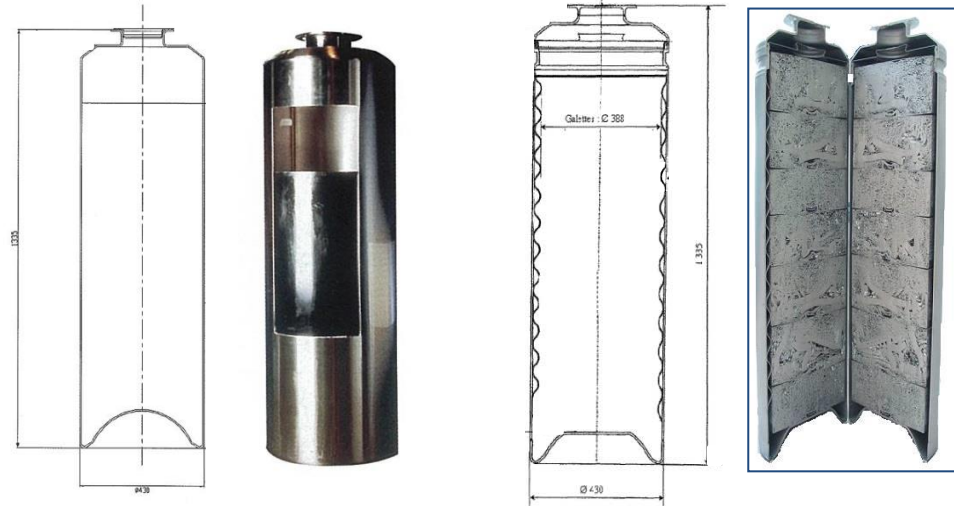
Le panier à 5 logements peut contenir un maximum de 20 canisters et le panier à 7 logements peut contenir un maximum de 28 canisters.

En partie axiale, le panier est bloqué par des secteurs de bague de retenue vissés à la cavité de l'emballage, destinés à éviter qu'en conditions de chutes, la masse du panier ne vienne accroître la charge dans les vis du couvercle.

Des cales de canisters fixées à la face interne du couvercle de l'emballage ont été conçues pour venir prendre appui sur les épaules coniques des canisters supérieurs et dimensionnées de façon à interdire tout impact des couvercles des canisters supérieurs contre la face interne du couvercle de l'emballage.

### 2.3.2. Les canisters

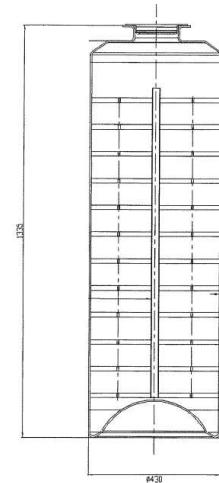
Les Canisters Standards de Déchets Vitriifiés (CSD-V et CSD-B) et les Canisters Standards de Déchets Compactés (CSD-C) ont la forme générale d'une bouteille cylindrique (voir figures ci-après) en tôle d'acier inoxydable, avec un goulot fermé par un couvercle soudé.



Canisters Standards de Déchets Vitriifiés

Canisters Standards de Déchets Compactés

Les canisters factices sont de géométrie similaire aux canisters de résidus vitrifiés et de résidus compactés (voir figure ci-contre). A l'intérieur, un ensemble de disques régulièrement espacés est soudé pour assurer la tenue mécanique.



Les Canisters Standards de Déchets Compactés CSD-C :

Les CSD-C sont issus du traitement de combustibles irradiés. Ils sont en acier inoxydable, remplis d'éléments de structure et de déchets technologiques compactés sous forme de galette.

Les Canisters Standards de Déchets Vitrifiés CSD-V :

Les CSD-V sont en acier inoxydable, remplis de résidus vitrifiés. Les résidus vitrifiés sont constitués de mélanges d'oxydes vitrifiés et proviennent du retraitement de combustibles Magnox, AGR, REB et REP.

Les Canisters Standards de Déchets Vitrifiés CSD-B :

Les CSD-B sont en acier inoxydable, remplis de résidus vitrifiés. Les résidus vitrifiés sont constitués de mélanges d'oxydes vitrifiés et proviennent du conditionnement par vitrification d'effluents de moyenne activité.

## 2.4. Bilan de masses

La masse maximale de l'emballage vide est de 94 750 kg.

La masse maximale admissible du colis TN 28 VT en transport est 113 000 kg.

La masse admissible en transport est celle utilisée de façon générique dans les études de sûreté.

### 3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE

Les chapitres 1 et 1A et leurs chapitres-annexes présentent l'ensemble des analyses mécaniques du modèle de colis TN 28 VT.

Le chapitre 1 et ses chapitres-annexes présentent la résistance structurelle de l'emballage.

Le chapitre 1A et ses chapitres-annexes présentent la résistance des aménagements internes.

#### 3.1. Résistance de l'emballage dans les conditions de transport de routine

##### Tenue mécanique de l'enveloppe de confinement

La tenue mécanique des principaux composants de l'enveloppe de confinement à savoir la virole, le fond et le couvercle est vérifiée dans les conditions de transport de routine en tenant compte :

- des effets de différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur de l'emballage,
- des gradients thermiques,
- des efforts apportés par les tourillons dans la virole en tenant compte des accélérations en manutention, en arrimage et en transport.

La conformité des différents composants constituant l'enceinte de confinement est vérifiée.

Il est démontré que les contraintes dans les composants constituant l'enceinte de confinement sont inférieures aux limites admissibles des matériaux spécifiés.

##### Tenue mécanique des structures annexes

La tenue mécanique des structures annexes de l'emballage TN 28 VT composées des éléments suivants est vérifiée, à savoir :

- l'enveloppe externe,
- le capot ainsi que sa visserie et ses oreilles de manutention,
- les compartiments de blindage neutronique du couvercle,
- le champignon de manutention du couvercle ainsi que ses vis.

L'analyse tient compte des effets de pressions, de températures et des chocs liés aux accélérations en cours de transport et de manutention.

Toutes les contraintes dans les éléments cités ci-dessus sont inférieures aux limites admissibles des aciers préconisés. La précontrainte de serrage des vis est suffisante.

##### Tenue mécanique des points de manutention et d'arrimage de l'emballage

L'emballage est muni de deux paires de tourillons vissés sur le corps forgé, utilisables pour sa manutention verticale et horizontale ainsi que son arrimage sur des supports appropriés fixés au véhicule.

La tenue des tourillons est vérifiée en tenant compte des accélérations vues en transport et en manutention.

La tenue en fatigue suite au cumul des cycles de sollicitation en transport et en manutention est également démontrée.

Les études permettent de justifier la tenue mécanique des tourillons pour une utilisation de 40 ans avec 52 transports par an.



### 3.2. Résistance de l'emballage dans les conditions normales de transport

La résistance de l'emballage aux épreuves réglementaires relatives aux conditions normales de transport est analysée, à savoir :

- l'épreuve de gerbage,
- l'épreuve d'aspersion et de pénétration,
- l'épreuve de chute libre de 30 cm.

#### Epreuve de gerbage

La forme de l'emballage empêche a priori tout gerbage. De plus, les analyses réalisées démontrent que cette épreuve ne risque pas d'endommager l'emballage et qu'elle est sans impact sur la sûreté du colis.

#### Epreuve d'aspersion et de pénétration

Ces épreuves ne peuvent pas avoir d'effet sur l'emballage TN 28 VT compte tenu de la nature des matériaux et l'absence de vanne susceptible d'être endommagée par la chute d'une barre.

Il est démontré que cette épreuve est également sans impact sur la sûreté du colis.

#### Epreuve de chute libre de 30 cm

Les analyses réalisées en conditions de transport de routine ont mis en évidence de faibles niveaux de contraintes apportées par les efforts mécaniques ou les gradients thermiques. Il a été démontré que les combinaisons d'efforts prises en compte ne sont pas à même d'altérer les capacités de l'emballage à retenir les matières radioactives.

De plus, les essais sur maquettes ont montré qu'après plusieurs chutes de 9 m en CAT selon différentes orientations, la maquette n'avait pas subi de dommages susceptibles de nuire ni au confinement du contenu, ni à l'efficacité du blindage. Il est donc prouvé que l'emballage résiste, a fortiori, à une chute de 30 cm en CNT.

#### Conclusion

Il est démontré que l'emballage peut supporter ces épreuves sans modification de sa géométrie.

### 3.3. Résistance de l'emballage dans les conditions accidentelles de transport

La résistance de l'emballage aux épreuves relatives aux conditions accidentelles de transport est analysée, à savoir :

- Résistance aux épreuves de chutes suivantes :
  - chutes de 9 m (selon différentes orientations),
  - chute de 1 m sur poinçon.
- Résistance à l'épreuve poussée d'immersion dans l'eau,

L'ensemble des analyses de chute est réalisé en considérant une énergie de chute correspondant à une masse totale de colis de 113 tonnes.

#### 3.3.1. Résistance de l'emballage aux épreuves de chutes

Le comportement de l'emballage TN 28 VT dans les conditions accidentelles de chutes réglementaires a été étudié au moyen de maquettes qui ont subi des épreuves de chutes de 9 m, selon différentes orientations, ainsi qu'une épreuve de chute de 1 m sur poinçon. Les maquettes ont permis de simuler le comportement de l'emballage en conditions accidentelles de chute.

Toutes les configurations possibles de chute libre de 9 m et de 1 m sur poinçon ont été au préalable analysées, afin de définir les essais de chute à réaliser : les séquences de chutes retenues et testées physiquement sont celles maximisant les dommages possibles à l'emballage.

### Principe de définition de la maquette de chute

Les épreuves de chutes ont été réalisées avec trois maquettes d'emballage, dont deux à l'échelle 1/3 et une représentant une tranche de l'emballage à l'échelle 1/4.

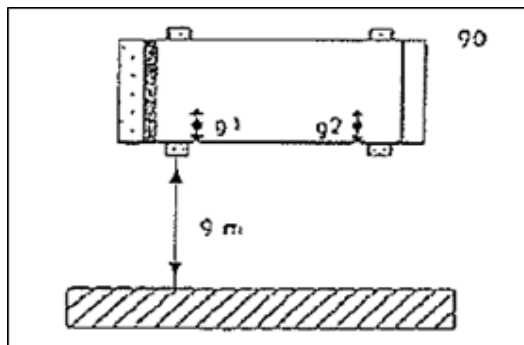
Les règles de similitudes sont appliquées afin de garantir que les contraintes mécaniques dans les composants des maquettes sont à minima les mêmes que celles dans les composants du modèle d'emballage. Le comportement mécanique en chute sera le même sur les maquettes et sur le colis.

Les maquettes de l'emballage échelle 1/3 sont représentatives de l'emballage échelle 1. Il est démontré que les différences de fabrication entre les maquettes et le modèle de colis sont conservatives ou sans incidence notable sur la représentativité des maquettes lors de la chute de 1 m sur poinçon ou lors des chutes de 9 m.

L'aménagement interne et le contenu radioactif sont représentés par un lest. Ce lest tient compte de la répartition de masse du contenu.

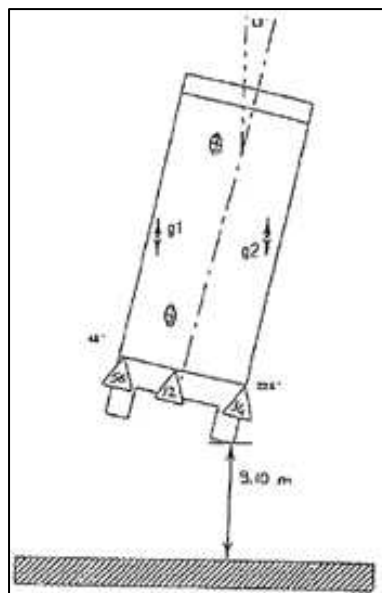
### Séquences de chutes

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



#### Séquence horizontale sur tourillon de 9 m

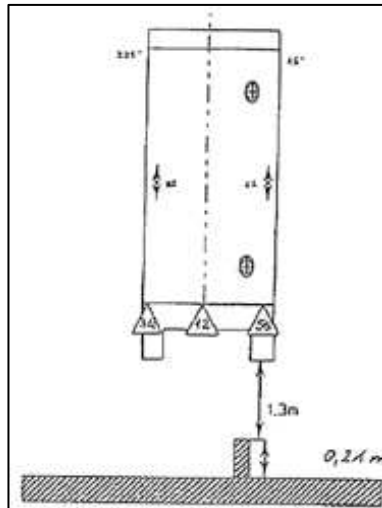
Une chute libre horizontale d'une hauteur de 9 m sur les tourillons de l'emballage.



#### Séquence oblique capot

Une chute oblique sur le coin du capot du couvercle d'une hauteur de 9,10 m.

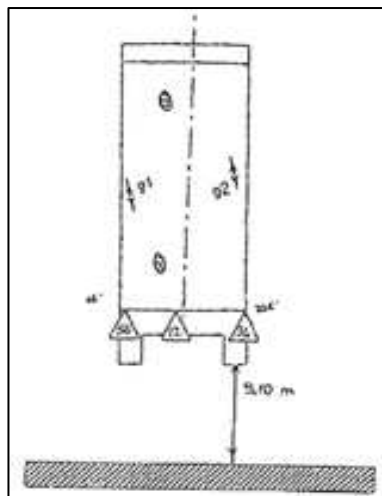
Cette chute vise à endommager au maximum le capot de transport qui sert à protéger le système de fermeture de l'emballage.



### Séquence tape d'orifice

Une chute libre verticale d'une hauteur de 1,3 m sur un pion de 0,21 m et dans l'axe de la tape d'orifice.

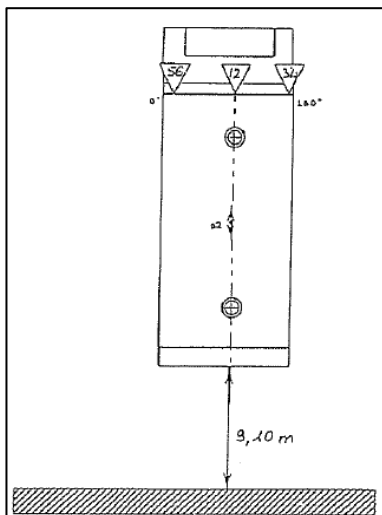
Cette chute sert à perforer le capot de transport et à endommager l'orifice de test d'étanchéité de l'enceinte de confinement, présent sur le système de fermeture.



### Séquence verticale capot de couvercle

Une chute libre verticale sur le capot du couvercle d'une hauteur de 9,10 m.

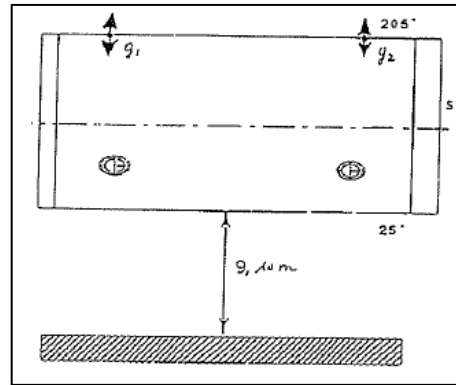
Cette chute sollicite l'étanchéité du système de fermeture.



### Séquence capot de fond

Une chute libre verticale sur le capot de fond intégré à l'emballage, d'une hauteur de 9,10 m.

Cette chute sollicite le système de fermeture en flexion sous son propre poids, ainsi que d'éventuels phénomènes vibratoires.



### Séquence horizontale 9,10 m

Une chute libre horizontale d'une hauteur de 9,10 m sur la génératrice 25°.

### Fin des séquences de chutes

A l'issue des séquences de chutes, l'étanchéité des joints élastomères du couvercle et le cas échéant, du tampon d'orifice a été testée concluant au maintien de l'étanchéité de l'enceinte de confinement.

### Modélisation numérique

Ces séquences de chutes ont été complétées par des analyses numériques de chutes combinant diverses hypothèses d'environnement et de conditions à l'intérieur de l'emballage :

- la température ambiante de -40°C ou 38°C (avec ensoleillement),
- la prise en compte de la puissance interne,
- la prise en compte de la pression dans la cavité.

Des modèles numériques du colis ont donc été construits afin de simuler à l'aide du logiciel de calcul dynamique LS-DYNA3D, des configurations de chutes complémentaires aux séquences de chutes sur maquettes.

Les modèles numériques construits sont représentatifs du comportement de l'emballage durant les essais de chutes sur maquette.

### Conclusion

Les résultats des essais montrent que l'emballage conserve son étanchéité, son blindage et ses dimensions après une chute réglementaire de 9 m sur un sol indéformable, quelle que soit l'orientation.

Les analyses de chutes réalisées par calcul numérique montrent également que l'étanchéité de l'emballage est garantie.

Il a été démontré que les épreuves réglementaires de chutes en conditions accidentelles de transport ne peuvent causer au colis TN 28 VT aucun dommage susceptible de nuire à l'intégrité de l'enveloppe de confinement et à son étanchéité.

Il est en outre prouvé que le capot reste en place et que les déformations subies, tant par le capot que par l'enveloppe externe, sont très limitées et n'entraînent qu'une diminution négligeable du blindage.

La virole est constituée entièrement d'acier dont l'absence de risque de rupture fragile est justifiée pour des températures supérieures ou égales à +6°C ou -15°C selon les propriétés en résiliences des viroles des emballages de la flotte TN 28 VT. Seule la zone de fond d'emballage couvrant également la zone de soudure fond-virole fait l'objet d'une analyse mécanique écartant le risque de rupture fragile à - 40 °C.

### **3.3.2. Résistance de l'emballage à l'épreuve poussée d'immersion dans l'eau**

La résistance à l'épreuve poussée d'immersion pour l'emballage TN 28 VT est vérifiée par calcul analytique.

### 3.4. Résistance de l'aménagement interne en CNT et CAT

Il est montré que les paniers à 5 et 7 logements satisfont aux conditions normales et accidentelles de transport ; à savoir qu'ils sont prévus pour :

- résister aux épreuves réglementaires concernant les conditions normales de transport,
- résister aux épreuves réglementaires concernant les conditions accidentelles sans risque de déformations susceptibles de changer la géométrie sur laquelle les calculs de transfert thermique sont basés,
- se dilater librement dans la cavité de l'emballage et résister aux contraintes thermiques en cours d'utilisation.

## 4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE

Le chapitre 2A et ses chapitres-annexes présentent l'ensemble des analyses thermiques du modèle de colis TN 28 VT.

Les analyses thermiques visent à évaluer le comportement thermique de l'emballage TN 28 VT chargé de son contenu et à vérifier que les températures atteintes par les différents composants du colis n'excèdent pas les limites des matériaux spécifiées.

### 4.1. Méthode d'analyse et code de calcul

Les analyses réalisées en CNT et CAT couvrent toutes les configurations de chargement de CSD-V, CSD-C et CSD-B autorisées dans l'emballage TN 28 VT.

La modélisation numérique, c'est-à-dire la géométrie et le maillage de l'emballage et de son contenu, ainsi que les post-traitements sont réalisés à l'aide du logiciel I-DEAS.

L'analyse thermique, c'est-à-dire la mise en données des conditions aux limites, des échanges thermiques et la résolution du calcul thermique est réalisée à l'aide du module thermique TMG associé au logiciel I-DEAS.

### 4.2. Analyses thermiques dans les conditions normales de transport

Les analyses thermiques tiennent compte des conditions normales de transport définies par la réglementation <1>, soit :

- une température extérieure de 38°C,
- un ensoleillement, appliqué de manière pénalisante 24h/24h.

#### 4.2.1. Hypothèses de modélisation et paramètres importants

Les paramètres importants pris en compte dans les hypothèses de modélisation sont les suivants :

##### Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les principales caractéristiques du contenu influant sur les études thermiques sont :

- le type de contenu (décrit au paragraphe 2.3), c'est-à-dire les caractéristiques et les propriétés des matériaux des canisters chargés et de l'aménagement interne considéré,
- le nombre de canisters chargé dans l'emballage,
- la puissance thermique par canister et la puissance maximale dissipée par le contenu à l'intérieur du colis.

##### Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

- les caractéristiques et les propriétés des matériaux de l'emballage tenant compte entre autre des conducteurs thermiques,
- le gaz de remplissage de la cavité, air ou hélium, selon le contenu.

### Puissance thermique

La puissance thermique au sein du contenu est répartie soit de manière homogène soit de manière hétérogène, selon les études, créant ainsi dans la cavité des zones plus chaudes que d'autres.

### Positionnement du contenu

Le positionnement du contenu (canisters + panier) dans la cavité est considéré centré dans l'ensemble des études, excepté dans une étude visant spécifiquement à analyser l'effet du décentrement du panier dans la cavité.

Des études d'influence ont été menées afin d'étudier spécifiquement l'effet de la répartition de la puissance au sein du chargement de canisters (homogène ou hétérogène) et l'effet du positionnement du panier dans la cavité et des canisters dans leurs logements (centré ou décentré) sur les températures des composants.

## **4.2.2. Echanges thermiques**

Les échanges thermiques se font par conduction, rayonnement et convection :

- le rayonnement et la convection sur la paroi externe de l'emballage,
- les conductions radiale et axiale dans les différents milieux de l'emballage et du panier,
- la conduction et le rayonnement dans les lames de gaz des jeux intérieurs à la cavité de l'emballage.

## **4.2.3. Résultats de l'étude en CNT**

Pour des chargements de Canisters Standards de Déchets Compactés (CSD-C) et des Canisters Standards de Déchets Vitriifiés (CSD-V et CSD-B) dans l'emballage TN 28 VT, les températures maximales atteintes par les différents composants du colis n'excèdent pas les limites des matériaux spécifiées.

## **4.3. Analyses thermiques dans les conditions accidentelles de transport**

Les analyses thermiques tiennent compte des conditions accidentelles de transport définies par la réglementation <1>, composées des chutes réglementaires à l'issue desquelles une épreuve de feu de 30 minutes suivi d'une phase de refroidissement est considérée.

### **4.3.1. Hypothèses de modélisation et paramètres importants**

#### Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les principales caractéristiques du contenu influant sur les études thermiques sont :

- le type de contenu (décrits au paragraphe 2.3), c'est-à-dire les caractéristiques et les propriétés des matériaux des canisters chargés et de l'aménagement interne considéré,
- le nombre de canisters,
- la puissance maximale dissipée par le contenu à l'intérieur du colis.

#### Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

- l'état de l'emballage après chute est considéré (trou de poinçon traversant le capot de transport de l'emballage TN 28 VT dans le cadre d'une étude spécifique),
- les caractéristiques et les propriétés des matériaux de l'emballage en tenant compte entre autre des conducteurs thermiques,
- le gaz de remplissage de la cavité, air ou hélium, selon le contenu.

#### Puissance thermique

La puissance thermique est répartie de manière homogène au sein du contenu.

### Positionnement du contenu

Le contenu est centré dans la cavité.

#### **4.3.2. Echanges thermiques**

Les températures maximales de l'emballage sont calculées en considérant le colis placé verticalement (tête en bas) dans un environnement à 800°C pendant 30 minutes.

La phase de feu est suivie d'une phase de refroidissement à 38°C sous ensoleillement.

Les échanges thermiques externes se font par rayonnement et convection.

Les échanges thermiques au sein du colis se font par conduction et rayonnement.

#### **4.3.3. Résultats de l'étude en CAT**

Les résultats montrent que les températures de l'emballage et de son contenu restent acceptables et que le confinement du contenu est conservé en fin d'épreuve de feu.

Les températures maximales atteintes par les composants du colis n'excèdent pas les limites des matériaux spécifiées.

#### **4.4. Vérifications complémentaires sur la base des résultats thermiques en CNT et CAT**

Les vérifications complémentaires présentées ci-après sont réalisées sur la base des températures issues des résultats d'analyses thermiques en CNT et CAT.

##### **4.4.1. Vérification du non-endommagement des joints**

A partir des températures maximales des joints atteintes en CNT et CAT, le non-endommagement des joints assurant l'étanchéité du couvercle et du tampon d'orifice est vérifié en considérant une utilisation pénalisante et cumulée de trois ans en CNT et d'une semaine en CAT, couvrant ainsi la fréquence de remplacement des joints de maintenance.

##### **4.4.2. Vérification du taux d'extrusion des joints**

A partir des températures maximales des joints atteintes en CNT et CAT, il est démontré, pour les joints de l'enceinte de confinement (joint intérieur du couvercle et joint du tampon d'orifice), le non-risque d'extrusion des joints de leur gorge qui pourrait créer un risque de décollement du couvercle.

Pour le joint du tampon d'orifice, la rigidité importante de l'assemblage de tampon d'orifice et l'importance de la longueur filetée engagée permettent d'exclure tout risque de décollement de la surface sous tête de tampon lié à une extrusion de joint.

Les joints assurent ainsi parfaitement le confinement en CNT et CAT des contenus CSD-C, CSD-V et CSD-B autorisés au transport.

## **5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT**

Le chapitre 3A présente l'ensemble des analyses de relâchement d'activité du modèle de colis TN 28 VT, tenant compte de toutes les configurations de chargement autorisées en emballage TN 28 VT (CSD-C, CSD-B et CSD-V).

Le chapitre 3A-1 présente l'analyse du relâchement de H<sub>2</sub> lors du transport de CSD-C dans l'emballage et la limite inférieure d'inflammabilité.

### **5.1. Analyse du relâchement d'activité du modèle de colis TN 28 VT**

#### **5.1.1. Méthodologie**

Dans les analyses de confinement, il est étudié en particulier en CNT et CAT :

- l'intégrité de l'enveloppe de confinement,

- la pression maximale atteinte à l'intérieur de l'enveloppe de confinement,
- la quantité maximale d'activité susceptible d'être relâchée (calculée en  $A_2$ ).

Il est démontré que les vis de fixation du couvercle ne peuvent pas se desserrer sous l'effet du transport et de la remontée de pression de la cavité.

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 élastomères (pour les contenus de CSD-C),
- des fuites de gaz radioactif,
- des fuites de particules aérosols radioactives.

L'activité relâchée est calculée en termes de  $A_2$  en se basant sur les taux de fuite mesurés avant transport.

### 5.1.2. Critères réglementaires

Les critères réglementaires de relâchement d'activité sont :

- en conditions normales de transport : le relâchement d'activité doit être inférieur à  $10^{-6} A_2$  par heure,
- en conditions accidentelles de transport : le relâchement d'activité doit être inférieur à  $1 A_2$  cumulé sur une semaine.

### 5.1.3. Analyse dans les conditions normales de transport

Les analyses couvrent toutes les configurations de chargement de CSD-V, CSD-C et CSD-B autorisées dans l'emballage TN 28 VT.

#### 5.1.3.1. Hypothèses et données importantes pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- le taux de fuite maximal de l'enceinte de confinement mesurés avant transport,
- la pression interne maximale de remplissage du colis,
- la concentration maximale d'aérosols dans la cavité vaut  $10^{-3} \text{ g/m}^3$ ,
- la pression de vapeur saturante (pour le cas de chargement avec des résidus compactés CSD-C),
- les températures de gaz dans la cavité et des joints issues de l'analyse thermique,
- le volume libre dans la cavité,
- la nature et la géométrie des joints de l'enceinte de confinement qui impactent les fuites par perméation.
- un canister est considéré rupté,
- la pression externe minimale est prise égale à 0,6 bar <1>.

#### 5.1.3.2. Résultats de l'analyse en CNT

Le critère règlementaire de  $10^{-6} A_2$  par heure est respecté.

Il est vérifié que la pression maximale atteinte à l'intérieur de l'enceinte de confinement en conditions normales de transport, est inférieure à la valeur conservatrice de 5 bars considérée dans les analyses de mécanique (voir paragraphe 3) où la tenue mécanique du couvercle est démontrée pour une pression interne de cavité prise égale à 5 bars.



#### 5.1.4. Analyse dans les conditions accidentelles de transport

##### 5.1.4.1. Hypothèses et données importantes pour l'étude

Les différences principales avec le calcul en conditions normales de transport sont les suivantes :

- tous les canisters sont considérés ruptés,
- les températures des gaz et des joints sont issues des calculs thermiques en conditions accidentelles de feu,
- la concentration maximale d'aérosols dans la cavité vaut  $9 \text{ g/m}^3$  durant la première demi-heure puis  $10^{-1} \text{ g/m}^3$  ensuite, soit une concentration de  $0,126 \text{ g/m}^3$  moyenné sur une semaine.

##### 5.1.4.2. Résultats de l'analyse en CAT

Le critère réglementaire de  $1 \text{ A}_2$  cumulé sur une semaine est respecté.

Il est vérifié que la pression maximale atteinte à l'intérieur de l'enceinte de confinement en conditions accidentelles de transport, est inférieure à la valeur conservative de 5 bars considérée dans les analyses de mécanique (paragraphe 3) pour la pression interne de la cavité.

#### 5.2. Analyse du relâchement de $\text{H}_2$ lors du transport de contenus CSD-C

Pour les configurations de chargement de CSD-C autorisées dans l'emballage TN 28 VT, il est démontré que pour le scénario d'entreposage et de transport défini, les taux de dihydrogène dans le ciel gazeux d'un canister (canisters étanches) et dans la cavité de l'emballage (canisters ruptés) restent inférieurs à la limite inférieure d'inflammabilité.

Les résultats obtenus montrent que tout risque d'inflammabilité lié au phénomène de radiolyse est exclu lors du transport de CSD-C.

La pression interne maximale dans la cavité du colis chargé de CSD-C à considérer comme donnée d'entrée dans l'étude de relâchement d'activité est déterminée.

### 6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION

Le chapitre 4A et ses chapitres-annexes présentent l'ensemble des analyses des débits d'équivalent de dose externes du modèle de colis TN 28 VT.

L'analyse des débits d'équivalent de dose autour du colis TN 28 VT couvre toutes les configurations de chargement autorisées de CSD-C, CSD-V et CSD-B dans l'emballage TN 28 VT.

#### 6.1. Critères réglementaires

Les critères réglementaires de radioprotection à respecter sont les suivants :

- Conditions de transport de routine :

Le débit de dose ne doit pas dépasser :

- $2 \text{ mSv/h}$  en tout point de la surface externe du colis,
- $0,1 \text{ mSv/h}$  en tout point situé à  $2 \text{ m}$  des surfaces latérales externes du véhicule.

- Conditions normales de transport :

Le débit de dose en tout point de la surface externe du colis ne doit pas augmenter de plus de  $20 \%$  suite aux épreuves des conditions normales de transport.

- Conditions accidentelles de transport :

Suite aux conditions accidentelles de transport, le débit de dose ne doit pas dépasser 10 mSv/h à 1 m de la surface externe du colis.

## 6.2. Codes de calcul

Pour l'étude du colis chargé de CSD-C, les calculs de débits d'équivalent de dose en CTR et CAT ont été réalisés à l'aide du code de calcul TRIPOLI 4.4.

Pour l'étude du colis chargé de CSD-V et CSD-B, les analyses ont été réalisées en CTR et CAT à l'aide des codes de calculs suivants :

- ORIGEN ARP pour l'évaluation des spectres énergétiques neutrons et gamma,
- TRIPOLI 4.7 pour les calculs de débits d'équivalents de dose.

## 6.3. Hypothèses importantes pour l'étude

### 6.3.1. Modélisation du blindage de l'emballage

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

Le blindage radial en partie courante est constitué principalement :

- d'une virole épaisse en acier au carbone forgé,
- d'une couche de résine traversée par des conducteurs,
- d'une enveloppe externe fine en acier.

Le blindage radial en extrémité est constitué :

- d'une virole épaisse en acier,
- d'une couche de résine,
- d'une enveloppe externe fine en acier.

Le blindage radial au niveau des tourillons est assuré par :

- la virole en acier d'épaisseur localement réduite,
- une couche de résine à l'intérieur du tourillon,
- une couche de résine au niveau des vis du tourillon,
- le tourillon lui-même en acier.

Le blindage axial côté couvercle est principalement constitué :

- d'un couvercle composé d'acier et de résine,
- et d'un capot composé d'acier, de résine et de bois.

Le blindage axial côté fond est constitué principalement :

- d'un fond épais en acier,
- d'une plaque en acier,
- d'une couche de résine suivie d'une couche de bois,
- d'une virole externe fine en acier.

### 6.3.2. Hypothèses de modélisation de l'emballage considérées en CTR

Le phénomène de vieillissement de la résine en conditions de transport de routine est pris en compte en considérant la perte de 100 % des propriétés de blindage de la résine sur une épaisseur pénalisante de 10 mm.

### 6.3.3. Hypothèses de modélisation de l'emballage considérées en CAT

Les endommagements de l'emballage considérés en conditions accidentelles de transport sont les suivants :

- le capot de tête et le bois du corps de l'emballage sont considérés perdus,
- la résine présente dans le couvercle, dans le fond de l'emballage ainsi qu'au niveau du tourillon est considérée perdue.

#### 6.3.4. Hypothèses de modélisation de l'emballage spécifiques à l'étude des contenus CSD-C en CAT

Les endommagements de l'emballage spécifiques à l'étude des contenus CSD-C considérés en conditions accidentelles de transport sont les suivants :

- la résine en partie radiale est considéré perdue,
- la virole externe en acier est considérée totalement perdue.

#### 6.3.5. Hypothèses de modélisation de l'emballage spécifiques à l'étude des contenus CSD-V et CSD-B en CAT

Les endommagements de l'emballage spécifiques à l'étude des contenus CSD-V et CSD-B considérés en conditions accidentelles de transport sont les suivants :

- l'épaisseur de résine en partie courante est diminuée,
- l'épaisseur de résine aux extrémités de la virole est diminuée,
- le volume de la résine F autour de la virole au niveau des tourillons est diminué.

#### 6.3.6. Caractéristiques du contenu

Les caractéristiques importantes des contenus CSD-C, CSD-V et CSD-B sont les sources de rayonnement issues des spectres d'activités respectifs des radio-éléments.

### 6.4. Méthodologie de calcul

#### 6.4.1. Calcul des débits d'équivalent de dose autour du colis chargé d'un contenu de CSD-C

Les termes sources (neutrons et gamma) sont répartis de façon homogène dans les résidus compactés.

Pour les calculs de débit d'équivalent de dose autour du colis, la source neutron considérée est constituée de :

- fissions spontanées du  $^{244}\text{Cm}$  présent dans les déchets compactés. L'énergie moyenne de ces neutrons est de l'ordre de 2 MeV,
- réactions ( $\alpha,n$ ) liées à la présence de  $^{244}\text{Cm}$  dans les résidus. Cette émission est ajoutée à celle des fissions spontanées,
- fissions induites : la multiplication des neutrons est prise en compte en utilisant un facteur de multiplication effectif  $k_{\text{eff}}$  de 0,05. Les résultats sont ensuite corrigés en prenant en compte de manière pénalisante  $k_{\text{eff}} = 0,1$ .

Pour les calculs de débit d'équivalent de dose autour du colis, la source gamma considérée est constituée uniquement de  $^{60}\text{Co}$  de manière à conduire à un débit d'équivalent de dose nominal au contact des canisters de 150 Gy/h.

Le respect des critères des débits d'équivalent de dose en CTR et CAT est donc vérifié par calculs en considérant le contenu radioactif maximal.

La démonstration du respect du critère après les chutes réglementaires des conditions normales est également vérifiée (voir paragraphe 6.6).

#### 6.4.2. Calcul des débits d'équivalent de dose autour du colis chargé d'un contenu de CSD-V

Le contenu radioactif admissible composé de canisters de résidus vitrifiés CSD-V est défini via une inéquation enveloppe.

L'inéquation permet de vérifier le respect des critères réglementaires de débits d'équivalent de dose aux points dimensionnant du colis en CTR et CAT en fonction des activités des principaux contributeurs aux débits d'équivalent de dose et en fonction du coefficient de multiplication des neutrons  $k_{\text{eff}}$ .

La démonstration du respect du critère après les chutes réglementaires des conditions normales est également vérifiée (voir paragraphe 6.6).

#### **6.4.3. Calcul des débits d'équivalent de dose autour du colis chargé d'un contenu de CSD-B**

Le respect des critères des débits d'équivalent de dose en CTR et CAT est vérifié par calculs via une inéquation en considérant le contenu radioactif maximal.

Afin d'avoir une inéquation qui prend en compte les caractéristiques spécifiques des CSD-B (de densité plus faible que les CSD-V), des facteurs sont appliqués aux activités limites autorisées définies pour les chargements composés de canisters de résidus vitrifiés CSD-V.

La démonstration du respect du critère après les chutes réglementaires des conditions normales est également vérifiée (voir paragraphe 6.6).

#### **6.4.4. Calcul des débits d'équivalent de dose autour du colis chargé d'un contenu mixte CSD-C/CSD-B**

La démonstration du respect des critères réglementaires en CTR, en CNT et en CAT pour un colis composé de l'emballage TN 28 VT chargé d'un mélange de canisters de résidus compactés CSD-C et de canisters de résidus vitrifiés CSD-B s'appuie sur les démonstrations réalisées pour un contenu homogène de canisters de résidus compactés CSD-C et pour un contenu homogène de canisters de résidus vitrifiés CSD-B au vue des marges importantes dégagées par l'étude de ces contenus.

### **6.5. Résultats de l'analyse en conditions de transport de routine (CTR)**

Le critère réglementaire en conditions de transport de routine est vérifié dans tous les cas de chargements autorisés.

Il est garanti pour le contenu radioactif maximal des CSD-C et CSD-B et pour le contenu maximal admissible défini via une inéquation pour les contenus CSD-V.

### **6.6. Résultats de l'analyse en conditions normales de transport (CNT)**

L'augmentation du débit d'équivalent de dose est évaluée en considérant de manière très pénalisante un écrasement de 72 mm de toute la partie courante de l'emballage, suite aux chutes latérales de 9 m réglementaires représentatives des CAT. L'augmentation de débit d'équivalent de dose induite par ce dommage est étudiée.

L'augmentation du débit d'équivalent de dose induit par l'écrasement du bois du fond de l'emballage suite aux chutes axiales de 30 cm réglementaires représentatives des CNT est également évaluée.

Il est ainsi démontré qu'en conditions normales de transport, quel que soit le type de contenu transporté, les débits d'équivalent de dose relatifs aux conditions de transport de routine ne subissent pas d'augmentation supérieure à 20 % en tout point de la surface externe du colis, suite aux chutes réglementaires représentatives des CNT.

### **6.7. Résultats de l'analyse en conditions accidentelles de transport (CAT)**

Le critère réglementaire en conditions accidentelles de transport est vérifié dans tous les cas de chargement.

Il est garanti pour le contenu radioactif maximal des CSD-C et CSD-B et pour le contenu maximal admissible défini via une inéquation pour les contenus CSD-V.

## 7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE

Le chapitre 5A et ses chapitres-annexes présentent l'ensemble des analyses de sûreté-criticité du modèle de colis TN 28 VT.

La sûreté-criticité doit être assurée, suivant la réglementation <1> 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 ou réseau 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 ou réseau de 2 N colis en conditions accidentelles de transport.

Les critères de sous-criticité sont les suivants :

- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$  pour le colis isolé,
- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,980$  pour le colis en réseau.

### 7.1. Méthodologie

La présence d'une virole d'acier d'épaisseur importante entraîne une isolation neutronique entre colis adjacents. En conséquence, un empilement de colis, endommagés ou non, dans les trois directions et dans les conditions les plus réactives, présente une réactivité sensiblement égale à celle du colis isolé. L'étude du colis isolé couvre donc l'étude du réseau de colis. De plus, la configuration « colis endommagé » est enveloppe de la configuration « colis non endommagé ».

Ainsi seul le cas d'un colis endommagé isolé composé de l'emballage TN 28 VT et de son contenu a été étudié dans cette analyse de sûreté-criticité.

L'analyse de la sûreté-criticité du colis est basée sur le calcul du coefficient de multiplication ( $k_{\text{eff}}$  ou  $k^\infty$ ) dans les conditions réglementaires de modération et de réflexion.

### 7.2. Critère réglementaire retenu

Le critère retenu à vérifier pour les calculs de sûreté-criticité est le suivant :  $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$ , où  $\sigma$  représente l'écart type.

### 7.3. Codes de calcul

Pour l'analyse de la sûreté-criticité du colis chargé de CSD-C ou de CSD-B, les calculs ont été réalisés avec le schéma de calcul APOLLO2-MORET4 (standard du formulaire cristal).

Pour l'analyse de la sûreté-criticité du colis chargé de CSD-V, les études ont été réalisées avec le code de calcul APOLLO.

### 7.4. Composition isotopique

Les analyses sont réalisées en considérant de manière pénalisante 100 % d' $^{235}\text{U}$  ou 100 % de  $^{239}\text{Pu}$  sous forme :

- d'uranium ou de plutonium métallique (CSD-V et CSD-B),
- d'oxyde d'uranium ou de plutonium :  $\text{UO}_2$  ou  $\text{PuO}_2$  (CSD-C).

Les masses d' $^{235}\text{U}$  ou de  $^{239}\text{Pu}$  considérées correspondent à :

- des masses maximales admissibles d' $^{235}\text{U}$  seul ou de  $^{239}\text{Pu}$  seul (CSD-B),

- des masses interprétées comme étant des masses d' $^{235}\text{U}$  seules ou de  $^{239}\text{Pu}$  seules (CSD-C),
- des masses équivalentes à  $^{239}\text{Pu}$  (CSD-V).

De manière pénalisante, les produits de fissions ou tout autre actinide ne sont pas considérés.

## 7.5. Hypothèses de modélisation importantes pour l'étude du colis chargé d'un contenu de CSD-C

### Géométrie de l'emballage et du panier

De façon pénalisante, la géométrie étudiée a supposé la disparition de certains matériaux de structure (résine, virole externe,) qui limitent la réactivité du colis par leur géométrie et la présence d'absorbant neutronique. Ainsi, de manière simplifiée, l'emballage a été modélisé uniquement par une virole en acier, le fond et le système de fermeture.

Les capots, la résine et les conducteurs ne sont pas modélisés.

Les paniers sont également modélisés de manière simplifiée, seule leur épaisseur d'aluminium est considérée autour et au contact de chaque canister avec prise en compte également de la distance entre deux canisters adjacents.

### Environnement du colis

Le colis est isolé et entouré par une couronne d'eau de 200 mm d'épaisseur pour assurer la réflexion des neutrons.

### Quantité d'eau présente dans la cavité

L'eau occupe tous les espaces libres de la cavité.

### Milieu fissile

Le milieu fissile est assimilé à un milieu homogène composé de métal de structure, d'eau et d'oxyde de plutonium ( $\text{PuO}_2$ ) ou d'oxyde d'uranium ( $\text{UO}_2$ ).

### Canisters de résidus compactés

Les CSD-C sont modélisés par une enveloppe en acier inoxydable enfermant un étui en fer contenant des résidus compactés.

Les résidus compactés sont modélisés par deux milieux cylindriques empilés, avec les caractéristiques suivantes :

- une partie de hauteur variable contenant la matière fissile sous la forme d'un mélange homogène de métal de structure, d'eau et d'oxyde de plutonium ou d'oxyde d'uranium,
- une partie sans matière fissile de hauteur complémentaire, contenant un mélange homogène de métal de structure de masse volumique variable et éventuellement d'eau.

## 7.6. Hypothèses de modélisation importantes pour l'étude du colis chargé d'un contenu de CSD-V

### Géométrie de l'emballage et du panier

De manière pénalisante, le panier et l'emballage ne sont pas modélisés. Le modèle est constitué d'un réseau infini de résidus de verre.

### Environnement du colis

Seule la valeur du  $k_{\infty}$  est calculée dans la démonstration de sûreté-criticité.

### Quantité d'eau présente dans la cavité

L'eau occupe tous les espaces libres de la cavité.

### Milieu fissile

Les matières fissiles sont assimilées à du  $^{239}\text{Pu}$ .

Les matières fissiles sont réparties de manière homogène dans le volume du verre.

### Canisters de résidus vitrifiés

Chaque canister est modélisé par un cylindre en acier inoxydable,

Les résidus vitrifiés sont composés d'une matrice de verre dont la densité et la teneur massique minimale en  $\text{B}_2\text{O}_3$  est prise en compte dans les études.

## **7.7. Hypothèses de modélisation importantes pour l'étude du colis chargé d'un contenu de CSD-B**

### Géométrie de l'emballage et du panier

De manière simplifiée, l'emballage est modélisé uniquement par une virole en acier, le fond et le système de fermeture.

Le panier n'est pas modélisé. Néanmoins l'épaisseur minimale du panier entre deux canisters voisins est modélisée. Les matériaux de structure du panier en aluminium sont remplacés par un brouillard d'eau de densité variable.

### Environnement du colis

Le colis est isolé et entouré par une couronne d'eau de 200 mm d'épaisseur.

### Quantité d'eau présente dans la cavité

L'eau occupe tous les espaces libres de la cavité.

### Canisters de résidus vitrifiés

Chaque canister est modélisé par un cylindre en acier inoxydable.

### Milieu fissile

Les calculs de sûreté-criticité sont réalisés en considérant successivement une masse maximale de  $^{239}\text{Pu}$  par canister et une masse de maximale de  $^{235}\text{U}$  par canister.

### Résidus vitrifiés

Les résidus vitrifiés sont composés d'une matrice de verre dont la densité et la teneur massique minimale en  $\text{B}_2\text{O}_3$  est prise considérée dans les études.

La matière fissile est répartie de manière homogène dans le volume du verre.

Le verre est considéré étanche.

## **7.8. Résultats de l'évaluation de la sûreté-criticité du colis isolé chargé de canisters de résidus compactés (CSD-C)**

L'étude des coefficients de multiplication d'un colis isolé chargé de canisters de résidus compactés (CSD-C) montre que :

- le modèle de colis TN 28 VT muni d'un panier à 5 ou à 7 logements satisfait à la réglementation concernant les colis de type fissile dans la limite des contenus autorisés.
- l'Indice de Sûreté-Criticité (ISC) est égal à 0.

Les canisters de résidus compactés peuvent être remplacés par des canisters factices ne contenant aucun résidu.

#### **7.9. Résultats de l'évaluation de la sûreté-criticité du colis isolé chargé de canisters de résidus vitrifiés (CSD-V et CSD-B)**

L'étude des coefficients de multiplication d'un colis isolé chargé de canisters de résidus vitrifiés (CSD-B ou CSD-V) montre que :

- le modèle de colis TN 28 VT muni d'un panier à 5 ou 7 logements satisfait à la réglementation concernant les colis de type fissile dans la limite des contenus autorisés.
- l'Indice de Sûreté-Criticité (ISC) est égal à 0.

Les canisters de résidus vitrifiés peuvent être remplacés par des canisters factices ne contenant aucun résidu.

#### **7.10. Résultats de l'évaluation de la sûreté-criticité du colis isolé chargé d'un contenu mixte de canisters de résidus compactés (CSD-C) et de canisters de résidus vitrifiés (CSD-B)**

L'analyse de sûreté-criticité du colis chargé d'un contenu mixte de canisters de résidus compactés CSD-C et de canisters de résidus vitrifiés CSD-B s'appuie sur les résultats d'analyses respectives de ces contenus.

Le chargement d'un CSD-B à la place d'un CSD-C conduit à une baisse de la réactivité du modèle de colis, par conséquent les chargements mixtes de CSD-C et CSD-B sont couverts du point de vue de la sûreté-criticité par les calculs réalisés sur les contenus CSD-C.

## **8. CONDITIONS D'UTILISATION**

L'emballage est conçu pour être :

- chargé et déchargé verticalement à sec,
- transporté horizontalement et à sec.

Des procédures comportant une liste de contrôle de la bonne exécution des diverses opérations à effectuer sont mises en place.

Les analyses de sûreté décrites ci-avant nécessitent notamment d'exécuter les étapes, les vérifications et critères ci-dessous avant l'expédition du colis :

- contrôle d'aspect et de propreté de la cavité de l'emballage, du panier, de la surface interne du couvercle, des joints et de leur portée,
- les canisters chargés doivent respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé,
- contrôle de la bonne fermeture (couple de serrage des vis) et du niveau d'étanchéité (taux de fuite) de tous les composants constituant l'étanchéité,
- vérification des débits de dose maximaux autour du colis en conformité avec les limites admissibles réglementaires en balayant les zones singulières de l'emballage,
- vérification du respect des critères réglementaires de température sur les surfaces facilement accessibles en cours de transport,
- vérification de la non-contamination externe,
- vérification de la mise en place des scellés sur le capot condamnant l'accès des orifices,
- vérification de la présence et la fixation des étiquettes et marquages réglementaires,
- consignation des résultats de ces vérifications dans le dossier de transport.



## 9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE

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 transports réalisés et la durée d'utilisation.

Le programme d'entretien comprend notamment :

- le contrôle des tourillons assurant la manutention et l'arrimage du colis, incluant le contrôle de l'état de surface du tourillon permettant la détection de défaut, le contrôle du couple de serrage des vis et de leur état, ainsi que le démontage du tourillon et des essais de charge après remontage,
- le contrôle de l'enveloppe de confinement avec une vérification de son étanchéité précédée du remplacement des joints et de l'inspection des portées de joints,
- le contrôle de l'état du capot et de l'enveloppe externe,
- le contrôle de l'emballage dans son ensemble : vérification de son état général (remplacement de la visserie et des composants non conformes) et de sa capacité de dissipation calorifique à l'équilibre thermique.

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. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE

Les réglementations de transport en vigueur à la date du présent chapitre font obligation d'appliquer des programmes d'assurance 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 programmes d'assurance de la qualité adaptés à celle-ci, et produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.

## 11. REFERENCES

<1> Règlement de transport des matières radioactives, norme de sûreté de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, Edition applicable : voir chapitre 00.

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

- Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR),
- Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID),
- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigations intérieures (ADN),
- Code maritime international des marchandises dangereuses (code IMDG de l'OMI) ;

- Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (arrêté TMD),
- Arrêté du 23 novembre 1987 modifié relatif à la sécurité des navires, division 411 du règlement annexé (arrêté RSN).