






<b>Orano TN</b>  <b>DOSSIER DE SURETE</b>  <b>Emballage TN 13/2</b>	<b>Diffusion limitée Orano - Autorités</b>		 <b>orano</b>	
	<b>CHAPITRE 00 – ANNEXE 1</b>			
	Préparateur / signature 	Date 		
	Vérificateur / signature 	Date 		
<b>Identification :</b>		<b>DOS-18-004687-013</b>	<b>Version : 1.0</b>	<b>Page 1 / 21</b>

TN International

## DESCRIPTION ET PERFORMANCES DU MODELE DE COLIS TN 13/2

### Sommaire

État des révisions / versions	2
1. OBJET	3
2. DESCRIPTIONS ET DEFINITIONS	3
3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE	5
4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE	12
5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT	14
6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION	16
7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE	18
8. CONDITIONS D'UTILISATION	20
9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE	21
10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE	21
11. REFERENCES	21

## État des révisions / versions

Rév. ou Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
<b>Ancienne référence : DOS-07-00084864-002</b>			
0	30/10/07	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Révision portant sur les modifications apportées aux chapitres 00, 0, 0-1, 0A, 0A-3, 1, 1-3, 1-6, 1A, 1A-1, 1A-2, 1A-3, 2A, 2A-1, 2A-2, 3A, 4A, 4A-1, 5A, 6A, 6A-1, 6A-2, 7A-1 et 7A-2</li> <li>- Création des chapitres 1-14, 1-15, 1A-4, 1A-5, 1A-6, 1A-7, 1A-8, 3A-3, 5A-1, 5A-3</li> <li>- Suppression des chapitres 2, 2-2, 2-5, 4A-2, 5A-4 à 25, 5A-27 à 30, 5A-32 à 35</li> </ul>	[REDACTED]
1	04/2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour des résumés des chapitres 0, 0A, 2A, 3A et 6A-1</li> </ul>	[REDACTED]
2	07/2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour des résumés des chapitres 3A-3 et 6A-1</li> </ul>	[REDACTED]
3	12/2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour du résumé du chapitre 0 et des références des plans associés</li> </ul>	[REDACTED]
4	06/2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour du résumé des chapitres 0, 0A, 1A, 1A-3, 2A et annexes, 3A et annexes, 4A, 5A et annexes, 6A et 8A</li> </ul>	[REDACTED]
5	07/2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour du résumé des chapitres 0, 1, 1-6, 1-14, 6A-1, 6A-2</li> <li>- Création des chapitres 1-6-1, 1-15-3</li> </ul>	[REDACTED]
6	04/2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour du contenu n°6</li> <li>- Ajout du contenu n°9</li> </ul>	[REDACTED]
7	09/2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour du résumé des chapitres 1A, 2A, 3A et 6A</li> </ul>	[REDACTED]
8	06/2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Refonte du document</li> </ul>	[REDACTED]
<b>Nouvelle référence : DOS-18-004687-013</b>			
1.0		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifications de forme</li> <li>- Ajout de la possibilité de transporter des assemblages non irradiés</li> <li>- Suppression des « carquois » pour déchets activés</li> <li>- Modification du tableau des contenus</li> </ul>	[REDACTED]
		<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>	

## 1. OBJET

L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du modèle de colis TN 13/2, destiné au transport par voie routière, ferroviaire ou maritime, chargé :

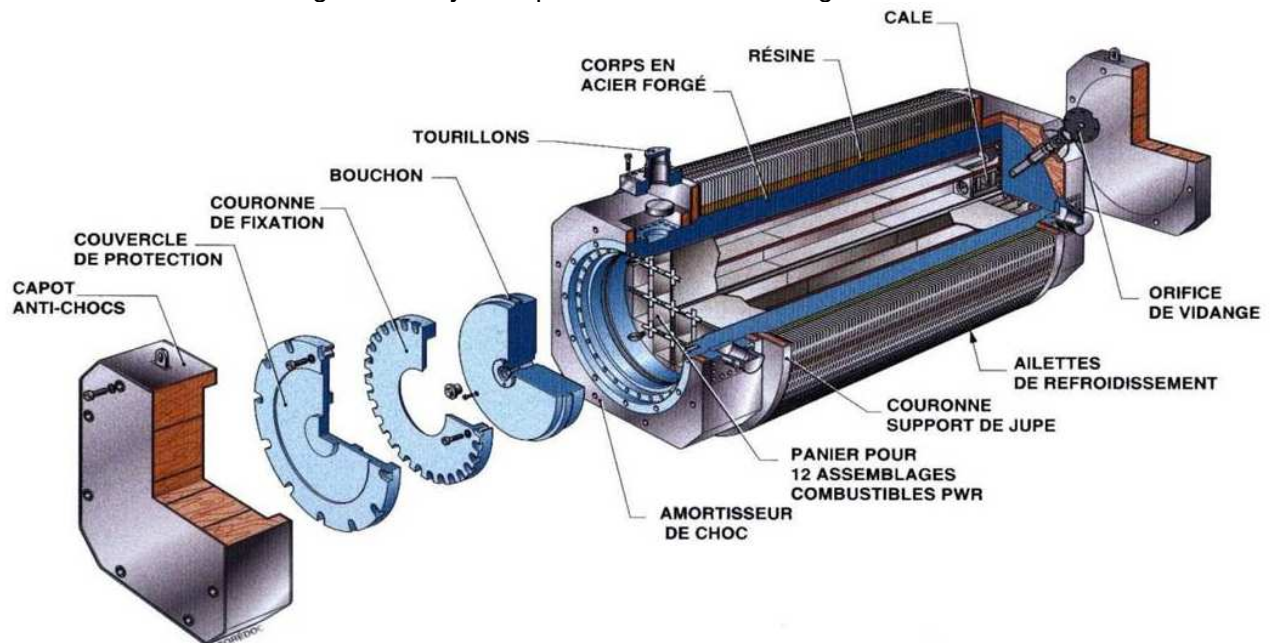
- d'assemblages combustibles REP irradiés ou non, de squelettes d'assemblages irradiés ou d'étuis pour déchets activés dans un aménagement interne de type 928 ou 929 en tant que colis de type B(M) contenant des matières fissiles au regard de la réglementation <1>,
- ou de grappes sources secondaires (GSS) dans leur postiche, disposé dans un aménagement interne de type 928 muni de dix barres de blindage, en tant que colis de type B(M) contenant des matières non fissiles au regard de la réglementation <2>.

## 2. DESCRIPTIONS ET DEFINITIONS

### 2.1. Description du colis

Le combustible nucléaire utilisé issu du fonctionnement des réacteurs à eau légère pressurisée REP est constitué à partir de crayons combustibles assemblés en réseau. Le traitement de ces produits nécessite leur transport. L'emballage TN 13/2 permet de réaliser ces transports.

Le colis de forme générale cylindrique est illustré sur la figure ci-dessous :



Les dimensions générales hors-tout du colis sont :

- Longueur : 6 670 mm,
- Diamètre : 2 530 mm.

### 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 blindage neutronique, d'une structure de dissipation thermique composée d'ailettes de refroidissement, de tourillons et de caissons protecteurs. Le corps forgé est composé de plusieurs parties (virole et fond) réunies par une soudure circulaire. Trois paires de tourillons vissés sur le corps (deux en tête et une en fond) forment les points de préhension pour la manutention et l'arrimage de l'emballage. Des orifices équipés de joints élastomères permettent un accès à la cavité.

Identification :

DOS-18-004687-013

Version : 1.0

Page 4 sur 21

- Un système de fermeture de la cavité interne est formé d'un bouchon en acier inoxydable forgé maintenu par une bride de serrage en acier fixée par des vis et d'un couvercle de protection en aluminium maintenu par des vis.
- Deux capots amortisseurs, un pour la protection du système de fermeture et un pour la protection du fond, fixés chacun par des vis. Ils sont constitués d'une structure en acier inoxydable remplie de balsa et d'aluminium (capot du fond concept n°2) et de balsa et chêne (capot avant).

### 2.3. Enceinte de confinement

L'enceinte de confinement de l'emballage est constituée par le corps, le bouchon, la bride, le capuchon de raccord rapide de l'orifice de prélèvement d'échantillons (orifice E), les 3 sièges de tampons et les 3 tampons des orifices d'évent (A) et de drainage (B) et (C).

### 2.4. Barrières d'étanchéité

Toutes les ouvertures de l'enceinte de confinement de l'emballage TN 13/2 décrite au paragraphe 2.3 sont équipées de deux barrières d'étanchéité contrôlables. Chacune d'elle étant constituée par deux joints élastomères délimitant un espace relié à un orifice de contrôle d'étanchéité terminé par un bouchon de contrôle.

### 2.5. Système d'isolement

Le système d'isolement est constitué par :

- Le contenu et ses caractéristiques telles que décrits au chapitre 0A, en particulier la masse de métal lourd et l'enrichissement du contenu radioactif,
- Le corps et les deux barrières d'étanchéité (bouchon et couvercle) décrits au §2.2.

### 2.6. Bilan des masses

La masse maximale admissible de l'emballage chargé en transport est de 114 580 kg.

### 2.7. Description du contenu

Les différents contenus sont constitués par :

- au maximum 12 assemblages REP de réseau 17 × 17 à oxyde d'uranium, pouvant être dans certains cas mélangés avec :
  - des squelettes d'assemblages REP irradiés (assemblages ne contenant aucun crayon combustible),
  - des étuis pour déchets activés DAE (ne contenant aucune matière fissile ou matière hydrogénée),disposé dans un aménagement interne de type 928 ou 929,
- au maximum 2 grappes sources secondaires (GSS) dans leur postiche, disposé dans un aménagement interne de type 928 muni de 10 barres de blindage.

Le panier 929 est destiné au transport d'assemblages combustibles REP non encapsulés.

Les paniers 928 et 929 sont constitués de trois éléments assemblés entre une plaque inférieure et une plaque supérieure par des pions et quatre tirants. Chacun des éléments est constitué de quatre secteurs en alliage d'aluminium au bore assemblés par des vis et des plaques de fixation. La manutention de l'ensemble est assurée par l'intermédiaire de tirants.

La structure des deux types de panier est similaire. Seules certaines dimensions diffèrent notamment la section utile minimale des logements.

Identification :

DOS-18-004687-013

Version : 1.0

Page 5 sur 21

Les contenus autorisés dans l'agrément sont limités par les paramètres suivants :

- la géométrie de l'assemblage,
- l'enrichissement, le taux de combustion maximal et le temps de refroidissement minimal des assemblages combustibles, résumés dans le tableau suivant :

Numéro de contenus	4		10	6		9		11	12 (GSS)	
Enrichissement initial max en uranium 235 (%)	4,05			4,55						-
Taux de combustion maximal (MWj/t <sub>U</sub> )	52 500			52500	62500	52500	62500	62500	-	
Durée de refroidissement minimum (jours)	180	365	365	180	365	180	365	365	40	

- la masse maximale d'uranium dans l'assemblage,
- la puissance thermique maximale dégagée par l'assemblage,
- le nombre de crayons inétanches,
- la quantité et l'activité des radioéléments présents dans les crayons après leur irradiation dans le réacteur et après la durée de refroidissement requise.

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

Les chapitres 1 et 1A et leurs annexes présentent l'ensemble des analyses mécaniques du modèle de colis TN 13/2.

#### 3.1. Conditions de transport de routine

##### Tenue à la pression

L'enveloppe de confinement est justifiée selon les règles de calcul des codes ASME Section III Division 1 Sous-section NE. L'enceinte de confinement est soumise aux sollicitations suivantes :

- Pression interne de l'enceinte de confinement,
- Accélération en manutention, en arrimage et en transport,
- Ensoleillement et gradients thermiques maximums du contenu,
- Phénomènes liés aux cycles de sollicitations (de pression, de température, de vibrations et de chocs).

La conformité aux codes ASME et CODAP des différents éléments constituant l'enceinte de confinement est vérifiée.

### Arrimage et manutention

L'emballage est muni de deux paires de tourillons utilisables pour sa manutention verticale et horizontale ainsi que pour son arrimage sur des supports appropriés fixés au véhicule, et d'une paire de tourillons auxiliaires, du côté du bouchon, utilisables pour sa manutention verticale.

La tenue mécanique des tourillons est justifiée pour des chargements statiques (en manutention et en arrimage), 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.

### Résistance des structures annexes

La tenue mécanique des structures annexes de l'emballage TN 13/2 sont vérifiées, à savoir :

- Capot de protection du bouchon et ses oreilles de manutention,
- Capot de protection du fond concept n°2 et ses oreilles de manutention,
- Caissons.

Toutes les contraintes dans les structures annexes citées ci-dessus sont inférieures aux limites admissibles pour tous les cas de chargement envisagés.

### Résistance de l'aménagement interne

La résistance de l'aménagement interne aux sollicitations mécaniques et contraintes thermiques rencontrées en conditions de transport de routine ainsi que sa libre dilatation dans la cavité sont vérifiées.

## **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) sont sans impact sur la sûreté du colis.

### Endommagements

L'emballage ne subit pas de dommages susceptibles de nuire ni au confinement du contenu ni à l'efficacité du blindage 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 115 tonnes.

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.

Identification :

DOS-18-004687-013

Version : 1.0

Page 7 sur 21

### Chutes étudiées

Le comportement de l'emballage TN 13/2 dans les conditions accidentelles de chute réglementaires a été étudié au moyen de maquettes à l'échelle 1/3 qui ont subi des chutes de 9 mètres ainsi que des chutes de 1 mètre sur poinçon selon différentes orientations. Les maquettes ont permis de simuler le comportement de l'emballage en conditions accidentelles de chute avec les deux concepts de capot de fond (capot de fond concept n°1 et capot de fond concept n°2).

Les analyses ont été complétées par des chutes étudiées numériquement.

Toutes les configurations possibles de chute libre de 9 mètres et de 1 mètre sur poinçon ont été analysées, afin de définir les essais de chute à réaliser : les séquences de chutes retenues et testées physiquement sont celles maximisant les dommages possibles aux barrières d'étanchéité du système de fermeture et les sollicitations possibles dans le système de fixation des capots de tête et de fond.

D'autre part, les épreuves de chute ont été combinées avec diverses hypothèses d'environnement et de conditions à l'intérieur de l'emballage :

- Température ambiante de -27°C (température minimale ambiante autorisée), 20°C ou 38°C,
- Avec ou sans prise en compte de la puissance interne,
- Avec ou sans prise en compte de la pression dans la cavité.

### Principe de définition des maquettes de chute

Les épreuves de chute ont été réalisées avec des maquettes représentatives du modèle de colis à l'échelle 1/3.

Une maquette numérique est également utilisée. Celle-ci est également à l'échelle 1/3.

Les règles de similitude sont appliquées afin de garantir que les contraintes mécaniques dans les composants des maquettes sont a minima les mêmes que celles dans les mêmes composants du modèle d'emballage. Le comportement mécanique en chute sera donc le même sur les maquettes et sur les 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 conservatrices ou sans incidence notable sur la représentativité des maquettes lors des chutes sur poinçon ou lors des chutes de 9 mètres.

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

Les règles de similitudes amènent à étudier le conservatisme des hauteurs de chutes pour tenir compte des écarts de masse entre celle de la maquette et la masse maximale du modèle de colis.

Conformément à la réglementation, le colis doit subir le cumul des épreuves de chutes des conditions normales et accidentelles de transport.

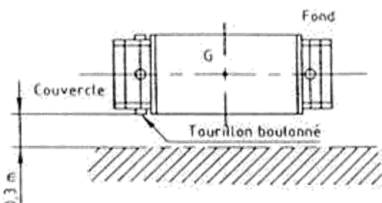
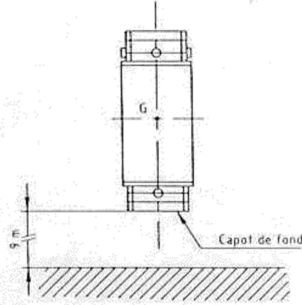
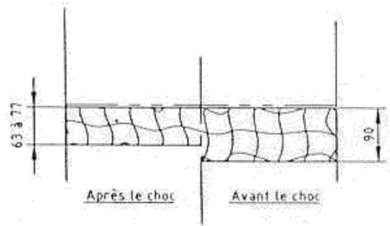
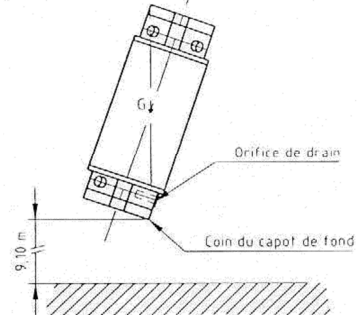
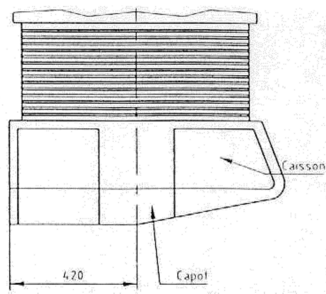
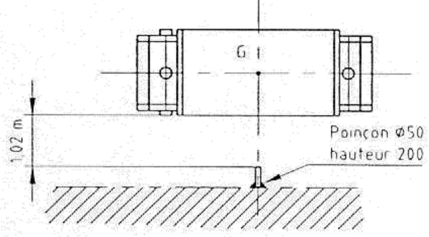
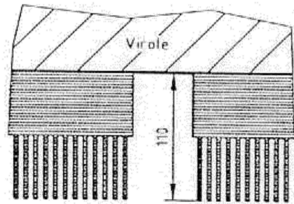
Trois séries d'essais ont été réalisées ; deux séries avec le capot de fond n°1 et une série avec le capot de fond n°2. La première maquette est une réplique à l'échelle 1/3 de l'emballage TN 13/1, munie d'un prolongateur : elle diffère de l'emballage TN 13/2 essentiellement par le système de fermeture. Néanmoins, les essais de chute effectués à l'aide de la maquette TN 13/1 et présentés ci-dessous couvrent également le cas du colis TN 13/2.



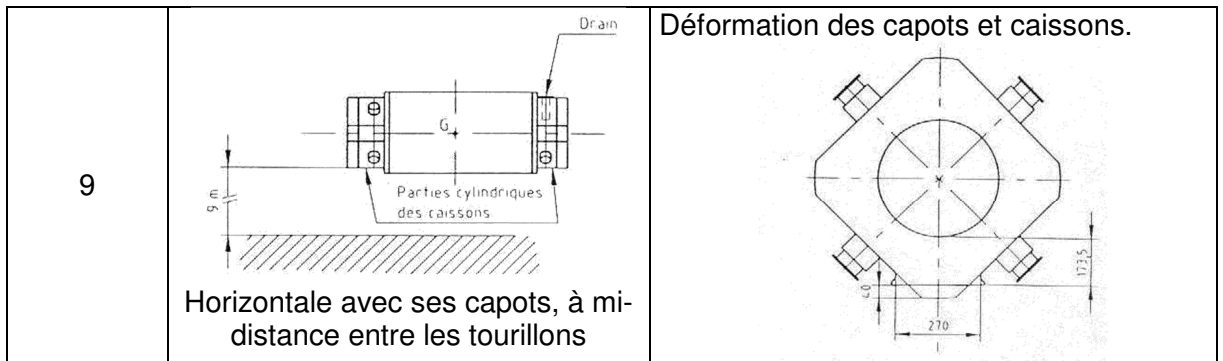
**La première série d'essais** a été effectuée à l'installation du BAM avec la maquette TN 13/1. Elle comporte 9 chutes, dont 5 seulement sont rapportées ci-après, à savoir :

- une chute de 0,30 m (essais n° 1),
- trois chutes de 9 m (essais n° 5, 6 et 9),
- une chute de 1,02 m sur poinçon (essai n° 7).

Ces cinq chutes sont résumées dans le tableau ci-dessous. Après chaque essai, un contrôle d'étanchéité à l'hélium a montré que le choc n'avait pas causé de fuite. En outre, les couples de desserrage ont été mesurés et ont montré qu'aucune vis n'avait été desserrée par le choc.

Numéro de l'essai	Orientation de la maquette TN 13/1	Déformations
1	 <p>Horizontale sans capot</p>	<p>Léger aplatissement des supports de jupe.</p> <p>Trace de choc sur le tourillon boulonné, mais pas de déformation.</p>
5	 <p>Verticale sans capot de couvercle</p>	<p>Seul le capot de fond est déformé par le choc.</p> 
6	 <p>Inclinée sans capot de couvercle</p>	<p>Déformation du capot et du caisson du fond.</p> 
7	 <p>Horizontale avec ses capots</p>	<p>Déformation des ailettes de cuivre et de la couche de résine.</p> 





**La seconde série d'essais** a été effectuée à l'installation de la COGEMA avec la maquette TN 13/2. Elle comporte 5 chutes, à savoir :

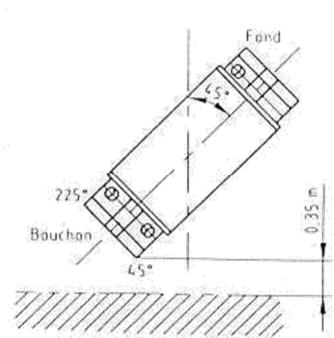
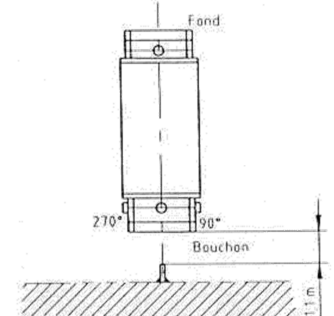
- une chute de 0,35 m (essai n° B-1),
- trois chutes de 9,10 m (essais n° B-3, B-4 et B-5),
- une chute de 1,10 m sur poinçon (essais n° B-2).

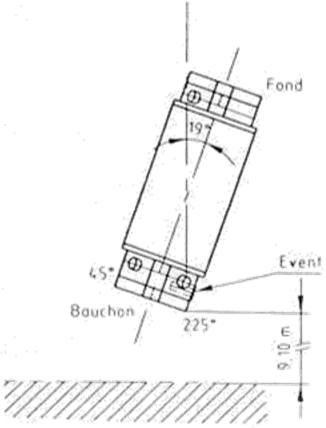
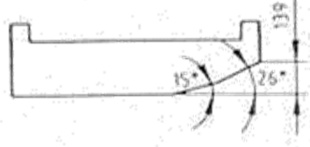
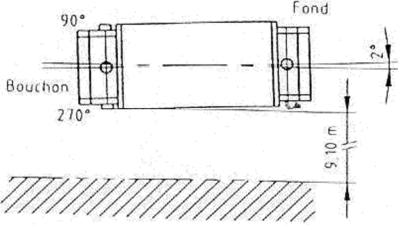
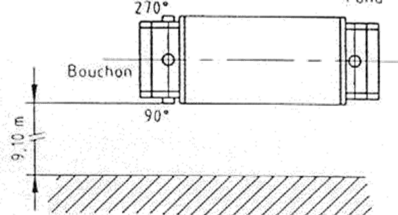
On peut observer que les hauteurs de chute sont légèrement supérieures aux valeurs réglementaires ; ceci compense en partie l'éventuel excédent de masse du colis TN 13/2 par rapport à celui de la maquette selon le rapport de similitude.

Ces cinq chutes sont résumées dans le tableau ci-dessous. Le contrôle d'étanchéité effectué après chaque chute a montré que le choc n'avait pas causé de fuite.

Il convient de mentionner que, du fait que le corps de la maquette était endommagé avant la seconde série d'essais de chute, le capot de fond n'a pu être fixé que par 2 vis au lieu des 8 prévues dans le concept TN 13/2. À cause de cette fixation insuffisante, les 2 vis se sont rompues et le capot de fond s'est détaché au cours de l'essai n° B-4. En conséquence, pour l'essai n° 5, le capot de fond a été remplacé par une plaque d'acier octogonale sensiblement de même poids, qui a été fixée par vis pénétrant dans des trous filetés percés à même le fond massif.

Les couples de desserrage mesurés ont montré qu'aucune vis n'avait été desserrée par le choc.

Numéro de l'essai	Orientation de la maquette TN 13/2	Déformations
B-1		<p>Léger aplatissement du coin du capot de bouchon.</p> <p>Léger aplatissement du support de jupe côté fond au cours du rebond.</p>
B - 2		<p>Perforation du capot de bouchon au voisinage de son centre (après l'impact, la maquette est restée fichée en position verticale sur le pion).</p>

Numéro de l'essai	Orientation de la maquette TN 13/2	Déformations
B - 3		<p>Écrasement du coin du capot de bouchon selon deux plans (à cause d'un rebond) formant des angles de 15° et 26° respectivement par rapport au plan de la face interne initiale.</p>  <p>Lors du basculement léger écrasement du support de jupe, du caisson et du capot côté fond.</p>
B-4		<p>Rupture et écrasement des 2 tourillons inférieurs. Écrasement supplémentaire des supports de jupe Flexion supplémentaire des ailettes de cuivre entre les parties aplaties des supports de jupe.</p>
B - 5		<p>Rupture et écrasement du tourillon inférieur. Écrasement supplémentaire des supports de jupe. Flexion supplémentaire des ailettes de cuivre entre les parties aplaties des supports de jupe.</p>

Les résultats des essais montrent que l'emballage conserve son étanchéité, son blindage et ses dimensions après une chute réglementaire de 9 mètres sur un sol indéformable, quelle qu'en soit l'orientation. Il en ressort également que la forme des tourillons permet leur écrasement pendant l'impact, sans risques pour le corps. La tenue des aménagements internes lors des chutes et les hypothèses géométriques sur lesquelles sont basées les études de criticité et l'analyse thermique sont vérifiées.

Les résultats de ces essais montrent également que l'emballage TN 13/2 résiste à l'épreuve réglementaire de chute de 1 mètre sur poinçon.

**La troisième série d'essais** montre la validation du capot de fond n°2 dans le cadre de son utilisation sur l'emballage TN 13/2.

Le comportement du capot de fond concept n°2 en chute verticale axiale de 9 m de l'emballage TN 13/2 est couvert par celui du capot de fond concept n°1.

Le comportement du capot de fond concept n°2 en chute verticale oblique de l'emballage TN 13/2 est couvert par celui du capot de fond concept n°1.

Un modèle numérique a permis de déterminer l'angle d'incidence et la génératrice de chute les plus pénalisants. Des essais réalisés avec la maquette d'emballage TN 13/2 version B échelle 1/3 munie du capot de fond concept n°2 démontrent la bonne tenue de la fixation de ce capot sur l'emballage TN 13/2.

Identification :

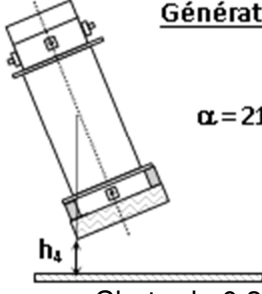
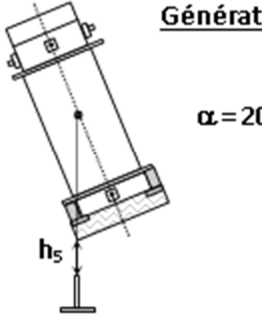
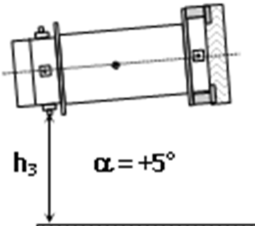
DOS-18-004687-013

Version : 1.0

Page 11 sur 21

La série d'essais comporte 3 chutes :

- une chute de 0,3 m sur capot de fond concept n°2 avec une incidence de 21° par rapport à la verticale, suivant la génératrice 0°, (essai n°4),
- une chute de 1 m sur poinçon, le point d'impact est au centre du bloc aluminium situé sur la génératrice 0° du capot de fond concept n°2, avec une incidence de 20,5° par rapport à la verticale (essais n°5),
- une chute de 9 m avec une incidence de +5° par rapport à l'horizontale (premier impact côté tête) suivant la génératrice 180° (tourillon avant –capot de fond concept n°2) (essais n° 3).

Numéro de l'essai	Orientation de la maquette TN 13/2	Déformations
4	<p style="text-align: center;"><u>Génératrice 0°</u></p>  <p style="text-align: center;"><math>\alpha = 21^\circ</math></p> <p style="text-align: center;">Chute de 0,3 m</p>	Faible endommagement du capot de fond concept n°2 conformément à l'attente.
5	<p style="text-align: center;"><u>Génératrice 0°</u></p>  <p style="text-align: center;"><math>\alpha = 20,5^\circ</math></p> <p style="text-align: center;">Chute de 1 m sur poinçon</p>	La chute sur poinçon n'a pas entraîné de déformations notables du bloc aluminium central qui est resté en place dans son caissonnage en acier.
3	<p style="text-align: center;"><u>Génératrice 180°</u></p>  <p style="text-align: center;"><math>\alpha = +5^\circ</math></p> <p style="text-align: center;">Chute de 9 m</p>	Le capot de fond concept n°2 est resté en place. Seule une vis située du côté de la génératrice d'impact a été cisailée.

Lors des chutes verticale axiale et oblique de 9 m, les accélérations subies par l'emballage TN 13/2 muni du capot de fond concept n°2 sont inférieures aux accélérations subies par l'emballage TN 13/2 muni du capot de fond concept n°1.

Par ailleurs, le maintien de la fixation de capot de fond concept n°2 sur l'emballage après les chutes horizontales de 9 m est démontré.

Enfin, on démontre que l'effet de fouettement lors d'une chute horizontale de 9 m avec faible angle d'incidence ne remet pas en cause l'étanchéité du système de fermeture.

### Analyses complémentaires

La tenue à la rupture fragile de l'emballage a également fait l'objet d'une analyse. Il est démontré que le choix des matériaux utilisés dans la fabrication de la virole de l'enceinte de confinement et de la bride de bouchon écarte le risque de rupture fragile à - 40°C.

La tenue de l'emballage aux épreuves réglementaire d'immersion à une profondeur de 200 mètres pendant une heure, de 0,9 mètre ou 15 mètres pendant 8 heures est étudiée. Il est démontré que l'enceinte de confinement reste intègre et ne se déforme pas.

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

Le chapitre 2A et ses annexes présentent l'ensemble des analyses thermiques du modèle de colis TN 13/2.

### **4.1. Conditions normales de transport**

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

La caractéristique utilisée dans cette étude est la puissance thermique maximale donnée dans la définition du contenu autorisé. Deux cas sont étudiés : contenus ne présentant aucun crayon inétanche et contenus présentant au moins un crayon inétanche.

#### 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 (de manière pénalisante, seul le panier 928 est modélisé dans les études),
- la cavité de l'emballage est remplie en hélium,
- la virole en acier, son épaisseur,
- les ailettes, leur épaisseur.

#### Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- la température ambiante réglementaire,
- l'ensoleillement réglementaire appliqué de manière pénalisante 24h/24h,
- le positionnement horizontal du colis,
- les échanges thermiques se font par conduction, rayonnement et convection,
  - le rayonnement entre le colis et l'extérieur est pris en compte,
  - les échanges à l'intérieur des jeux sont pris en compte (rayonnement et conduction),
- un gradient circonférentiel est pris en compte,
- la puissance thermique est répartie selon un profil axial de puissance thermique normalisé,
- le positionnement de la partie active des assemblages dans les logements du panier est choisie de façon à majorer les températures des joints de l'emballage. Le dépassement des parties actives du panier est également étudié.

#### Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée à l'aide du logiciel I-DEAS 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.

La puissance des assemblages combustibles est directement appliquée sur les parois des logements du panier. Le profil de puissance thermique des assemblages combustibles est pris en compte.

Deux configurations ont été évaluées avec un modèle 3D : un cas de contenus ne présentant aucun crayon inétanche et un cas de contenus présentant au moins un crayon inétanche. Pour chaque configuration, un profil de puissance correspondant est appliqué.

### Résultats de l'étude

La température maximale des composants est compatible avec leur critère d'intégrité ; en particulier :

- Joints 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. Par ailleurs, la dilatation des joints à fort taux de remplissage dans leur gorge entraîne un taux de remplissage maximal acceptable,
- Résine neutrophage : la température maximale de la résine reste inférieure à sa limite d'utilisation.

## **4.2. Conditions accidentelles de transport**

### Paramètres du contenu importants pour l'étude

La caractéristique utilisée dans cette étude est la puissance thermique maximale donnée dans la définition du contenu autorisé.

L'étude des contenus présentant au moins un crayon inétanche est couverte par celle des contenus sans crayons inétanches (puissance thermique supérieure).

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

L'analyse thermique du colis TN 13/2 en conditions accidentelles de transport se décompose en deux étapes principales, à savoir :

- étude thermique du colis TN 13/2 en conditions accidentelles de feu: maintien des performances d'isolation des capots et caissons,
- étude thermique des joints de l'orifice de drainage du colis TN 13/2 en conditions accidentelles de feu en considérant l'état du colis suivant : capots en place, caisson perforé au niveau de l'orifice du drainage.

### Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- application d'une température de 800°C pendant 30 minutes autour du colis conformément à la réglementation,
- Le positionnement horizontal ou vertical du colis.

Identification :

DOS-18-004687-013

Version : 1.0

Page 14 sur 21

Méthode d'analyse

Le modèle est réalisé à l'aide du logiciel I-DEAS. Le calcul thermique est réalisé selon la méthode des volumes finis avec le module TMG interfacé avec I-DEAS.

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

- Le champ de température initial du colis est celui des conditions normales de transport ayant conduit aux températures les plus élevées concernant les joints d'étanchéité du système de fermeture.
- Pendant la période réglementaire de 30 minutes, le feu est simulé par :
  - une température ambiante réglementaire de 800°C,
  - un coefficient d'échange convectif égal à  $10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  représentatif d'une convection forcée sur l'ensemble des parois (hors zone ailetée).

Les résultats intègrent l'influence du gradient circonférentiel.

Résultats de l'étude

La température maximale des joints d'étanchéité reste inférieure à leur critère d'exposition en régime transitoire. Par ailleurs, la dilatation dans les gorges des joints à fort taux de remplissage entraîne un taux de remplissage maximal acceptable.

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

Le chapitre 3A et ses annexes présentent l'ensemble des analyses de relâchement d'activité du modèle de colis TN 13/2 vide et chargé de ses contenus. L'enceinte de confinement est définie au §2.4.

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 ( $^3\text{H}$ ) et krypton ( $^{85}\text{Kr}$ ) à travers les joints élastomères,
- Les fuites de gaz radioactifs,
- 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 (MNOP) est négative ce qui prévient toute fuite vers l'extérieur.

**5.2. Conditions normales de transport**Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les sources radioactives sont déterminées sur la base des caractéristiques du combustible suivantes (couvrant l'ensemble des contenus autorisés) :

Cas	Type		TC	e	t <sub>r</sub>	Numéro de contenus
			(MWj/t <sub>ML</sub> )	(%)	(j)	
1	REP 17×17	UO <sub>2</sub>	52 500	4,05	180	4
2	REP 17×17	UO <sub>2</sub>	62 500	4,55	365	6 / 9 / 11
3	REP 17×17	UO <sub>2</sub>	52 500	4,05	365	4 / 10
4	REP 17×17	UO <sub>2</sub>	52 500	4,55	180	6 / 9
5	GSS	Sb-Be	-	-	20	12



Identification :

DOS-18-004687-013

Version : 1.0

Page 15 sur 21

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.

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

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- Le taux de fuite de l'enceinte de confinement est défini au chapitre 6A et vérifié avant expédition,
- La pression maximale de remplissage du colis défini au chapitre 6A,
- La pression de vapeur saturante due à la présence d'eau dans les crayons inétanches,
- Les températures maximales des gaz et des joints issues du chapitre 2A et de ses annexes,
- 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 %,
- La concentration maximale d'aérosols dans la cavité vaut  $10^{-3}$  g/m<sup>3</sup>,
- Le taux de relâchement des gaz de fission (RGF) est conforme aux recommandations de l'ASN,
- La pression externe du colis est de 0,85 bar,
- La durée de transport maximale autorisée est de 1 an pour les contenus sans crayons inétanches au chargement, et de 60 jours pour les contenus contenant au maximum 15 crayons inétanches.

#### Méthode de calcul :

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

- A. La phase de rentrée d'air : pendant la durée de transport (1 an 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.
- B. 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<sub>2</sub>/h.

#### Résultats de l'étude :

Le critère réglementaire est respecté.

### 5.3. Conditions accidentelles de transport

Les différences principales avec le calcul en conditions normales de transport 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,
- 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.

Les résultats montrent une marge significative par rapport au critère réglementaire de  $1 \text{ A}_2$  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 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

Le chapitre 4A et ses annexes présentent l'ensemble des analyses des débits d'équivalent de dose externes du modèle de colis TN 13/2.

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

- Conditions de transport de routine :
  - $2 \text{ mSv/h}$  au contact du colis et du moyen de transport,
  - $0,1 \text{ mSv/h}$  à  $2 \text{ m}$  du colis ;
- Conditions normales de transport :
  - la perte de l'intégrité de la protection radiologique suite aux épreuves des conditions normales de transport ne doit pas résulter en une augmentation de plus de 20% de l'intensité de rayonnement en tout point de la surface externe du colis pour les contenus agréés selon l'AIEA 1985 <1> ,
  - l'intensité de rayonnement maximale 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 pour les contenus agréés selon l'AIEA 2012 <2> ;
- Conditions accidentelles de transport :
  - $10 \text{ mSv/h}$  à  $1 \text{ m}$  du colis.

### 6.1. Conditions de transport de routine

Pour le transport de combustibles usés, le respect des critères en conditions de transport de routine, avant chargement est vérifié par des calculs prenant en compte les caractéristiques réelles des contenus, conformément aux prescriptions du chapitre 6A.

Pour le transport de GSS, la démonstration du respect des critères des conditions de transport de routine est effectuée par calculs en considérant les caractéristiques du colis telles que décrites aux chapitres 0 et 0A.

## 6.2. Conditions normales de transport

L'augmentation des débits de dose due à la perte de l'intégrité de la protection radiologique suite aux épreuves de conditions normales de transport est inférieure à 20% en tout point de la surface externe du colis.

Le critère des conditions normales de transport est donc respecté.

## 6.3. Conditions accidentelles de transport

### Paramètres du contenu importants pour l'étude

L'étude est réalisée pour des contenus enveloppes (contenus pénalisants du point de vue radioprotection) avec les principales caractéristiques combustibles suivantes :

	Panier 928	Panier 929
Enrichissement massique en uranium 235 (%)	4	4,5
Taux de combustion moyen (MWj/t <sub>U</sub> )	52 500	62 500
Durée de refroidissement (jours)	180	365

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

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

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

- Disparition de la moitié de la résine au niveau de la section courante.
- Disparition totale des capots amortisseurs,
- Disparition des ailettes hors de la résine.

La dégradation de la résine prise en compte dans les calculs en conditions accidentelles de transport est très pénalisante par rapport à l'altération de la résine suite aux épreuves mécaniques et thermique.

### Méthode de calcul

L'analyse de blindage du modèle de colis constitué par l'emballage TN 13/2 est effectuée à l'aide des codes de calcul :

- ORIGEN ARP pour le calcul des sources neutrons et gamma,
- APOLLO 2.5 pour les calculs d'activation du <sup>59</sup>Co,
- TRIPOLI 4.4 pour le calcul des débits d'équivalent de dose,
- CRISTAL V1.2 pour le calcul du coefficient de multiplication des neutrons.

### Résultats de l'étude

En conditions accidentelles de transport, le colis TN 13/2 respecte le critère de débit de dose réglementaire des conditions accidentelles de transport dès lors que les débits d'équivalent de dose mesurés autour du colis avant expédition respectent les limites réglementaires.

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

Le chapitre 5A et ses annexes présentent l'ensemble des analyses de sûreté-criticité du modèle de colis TN 13/2. La sûreté-criticité doit être assurée, suivant la réglementation pour :

- le colis isolé endommagé ou non,
- un réseau de 5 N (N étant le nombre permettant de définir la valeur du coefficient réglementaire – Criticality Safety Index CSI), colis non endommagé,
- un réseau de 2 N, colis non endommagé.

Les critères de sous-criticité pénalisants retenus sont les suivants :

- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$  pour le colis isolé, toutes incertitudes comprises ,
- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,980$  pour un réseau de colis, toutes incertitudes comprises.

La configuration colis endommagé est enveloppe. L'analyse de sûreté-criticité se limite au cas d'un colis isolé endommagé avec pénétration d'eau limité.

Nota : On entend par colis « non endommagé » l'état du colis à l'issue des épreuves des conditions normales de transport. On entend par colis « endommagé » l'état du colis à l'issue des épreuves des conditions normales de transport, suivies des épreuves des conditions accidentelles de transport.

### 7.1. Colis isolé

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

De manière pénalisante, les assemblages sont considérés ruinés.

Seule la matière fissile est modélisée et dispersée :

- sous forme d'un milieu hétérogène sphérique composé de sphérules d'oxyde d'uranium de rayon variable immergé dans l'eau,
- sous forme de poudre dispersée en fond de cavité et dans le panier pour la matière fissile sèche.

La description hétérogène de la matière fissile permet de majorer la réactivité du colis.

Une masse maximale de métal lourd enveloppe du colis et l'enrichissement maximal du combustible sont considérés.

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

De façon simplifiée et pénalisante, l'emballage est modélisé uniquement par la virole en acier, le fond et le système de fermeture (bouchon, bride). Du fait de la prise en compte de ces simplifications et de la non-modélisation des capots amortisseurs, le modèle géométrique est représentatif du colis dans l'état résultant des conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport.

Les compositions et densités des différents milieux constitutifs de l'emballage et des paniers sont prises en compte.

#### Hypothèses importantes pour l'étude

Le modèle d'emballage est constitué d'une 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.

On considère une quantité maximale d'eau dans le colis, enveloppe de la quantité d'eau susceptible de pénétrer dans la cavité suite aux épreuves d'immersion :

- immersion sous une hauteur d'eau de 15 m pendant 8 heures à l'issue des épreuves réglementaires des conditions normales de transport,

Identification :

DOS-18-004687-013

Version : 1.0

Page 19 sur 21

- immersion sous une hauteur d'eau de 0,9 m pendant une semaine à l'issue des épreuves réglementaires des conditions accidentelles de transport.

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

Des études complémentaires sont réalisées pour prendre en compte les endommagements de l'aménagement interne et des assemblages combustibles ou la présence d'eau dans tous les espaces libres de la cavité (avec la prise en compte de la présence d'assemblages encapsulés).

#### Méthode de calcul

Les calculs ont été réalisés avec le schéma de calcul APOLLO2-MORET4.

L'analyse de sûreté-criticité se déroule en deux parties :

- la première partie consiste en l'étude des milieux fissiles et des milieux de structure, un jeu de sections efficaces est alors déterminé pour chaque matériau du colis,
- la seconde partie correspond au calcul du  $k_{\text{eff}}$  du colis se basant sur ces jeux de section efficace.

#### Résultats

Le critère de sûreté-criticité retenu pour un colis isolé  $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$  (toutes incertitudes comprises) est respecté dans tous les cas de chargement, en prenant en compte la capacité de l'emballage à limiter la pénétration d'eau.

### **7.2. Réseau de colis**

L'emballage TN 13/2 possède une virole extérieure en acier d'épaisseur importante (épaisseur supérieure à 200 mm). Le colis peut ainsi être considéré comme isolé neutroniquement. L'analyse de la sûreté-criticité d'un ensemble de réseau de colis est donc couverte par celle du colis isolé et la réactivité d'un réseau infini de colis est sensiblement égale à celle du colis isolé de  $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$ .

## 8. CONDITIONS D'UTILISATION

L'emballage est conçu pour:

- être transporté à sec (avec des assemblages combustibles ou des grappes sources secondaires dans des postiches),
- être transporté avec une faible quantité d'eau dans sa cavité (avec des déchets activés ou dans le cas de l'emballage vide : drainage non suivi d'un séchage de la cavité),
- pour être chargé et déchargé verticalement en humide (cas de l'immersion en piscine ou de l'accostage sous piscine),
- pour être déchargé à sec (cas de l'accostage sous cellule).

Les analyses de sûreté décrites ci-avant nécessitent notamment d'exécuter les étapes, les vérifications et critères 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,
- le taux de fuite cumulé sur l'ensemble des orifices de l'emballage (bouchon, capuchon de raccord rapide, évent, rinçage et drainage),
- l'ensemble des opérations effectuées pour vérifier le séchage, la fermeture des cavités 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 :

Cas des contenus 4 et 6 : des mesures dans le temps du taux de dihydrogène sont requises, afin de déterminer la durée maximale de transport sur la base de la Limite Inférieure d'Inflammabilité ( $L_{II}$ ) minimale définie. Les dispositions suivantes doivent être réalisées :

- La durée maximale séparant la fermeture de l'ouverture de l'enveloppe de confinement ne doit pas excéder 60 jours,
- L'expéditeur s'assure que le transporteur dispose du temps nécessaire (aléas compris) pour réaliser le transport. Le transporteur présente à l'expédition les garanties du respect de la durée de transport (hors aléas),
- Après l'arrivée sur le site destinataire, le temps compté à partir de la fermeture de l'enveloppe de confinement de l'emballage jusqu'à son ouverture ne doit pas dépasser cette durée maximale diminuée de 7 jours.

Cas des contenus 10 et 11 : le transport peut être effectué sans mesure de taux de dihydrogène. Le nombre maximal de crayon inétanche au chargement impose le respect d'une puissance maximale par assemblage pour tous les assemblages du chargement, ainsi qu'un temps de transport.

- 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,
- la mise en place de l'étiquetage réglementaire.



## 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 transport réalisés ou la durée d'utilisation.

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),
- le contrôle (liaison virole forgée – ailettes) 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 doit être réparé ou justifié 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 document 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 celles-ci, 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 International de l'Énergie Atomique, n° SSR-6, édition 1985.
- <2> Règlement de transport des matières radioactives, norme de sûreté de l'Agence International de l'Énergie Atomique, n° SSR-6, édition 2012.