

Formulaire : PM04-4-MC-6-rév. 00

<b>AREVA TN</b> NUCLEAR LOGISTICS OPERATIONS	<b>DIFFUSION LIBRE AREVA</b>			 <b>AREVA</b>
<b>DOSSIER DE SURETE</b>  TN® 17/2	<b>DOSSIER PUBLIC</b>			
	Préparation	Date	Signature	Identification <b>DOS-18-004483-001</b>
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
	Vérification	Date	Signature	
	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
				Rév. 1.0 Page 1 / 24

TN International

## CARACTERISTIQUES DE PERFORMANCES DU COLIS

Version publique : les informations non-publiques sont masquées par un rectangle noir ■

### Sommaire

<b>ÉTAT DES REVISIONS</b> .....	<b>2</b>
<b>1. OBJET</b> .....	<b>3</b>
<b>2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS</b> .....	<b>3</b>
<b>3. PERFORMANCES D’UN POINT DE VUE MECANIQUE</b> .....	<b>7</b>
<b>4. PERFORMANCES D’UN POINT DE VUE THERMIQUE</b> .....	<b>13</b>
<b>5. PERFORMANCES D’UN POINT DE VUE CONFINEMENT</b> .....	<b>15</b>
<b>6. PERFORMANCES D’UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION</b> .....	<b>17</b>
<b>7. PERFORMANCES D’UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE</b> .....	<b>19</b>
<b>8. CONDITIONS D’UTILISATION</b> .....	<b>21</b>
<b>9. PROGRAMME D’ENTRETIEN PERIODIQUE</b> .....	<b>22</b>
<b>10. PROGRAMME D’ASSURANCE QUALITE</b> .....	<b>23</b>
<b>11. REFERENCES</b> .....	<b>23</b>
<b>12. GLOSSAIRE</b> .....	<b>23</b>

**ÉTAT DES REVISIONS**

Rév.	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
1.0	██████	Création du document	████████████████████

## 1. OBJET

L'objet de ce dossier public est de décrire les caractéristiques et les performances du colis TN<sup>®</sup> 17/2, destiné au transport par voie routière, ferroviaire ou maritime, de combustible nucléaire usé issu du fonctionnement des réacteurs civils à eau pressurisée (REP), des réacteurs civils à eau bouillante (REB) ou de conteneurs d'aiguilles PHENIX, en tant que colis de type B(M) contenant des matières fissiles au regard de la réglementation <1> (versions A et B) ou <2> (version C).

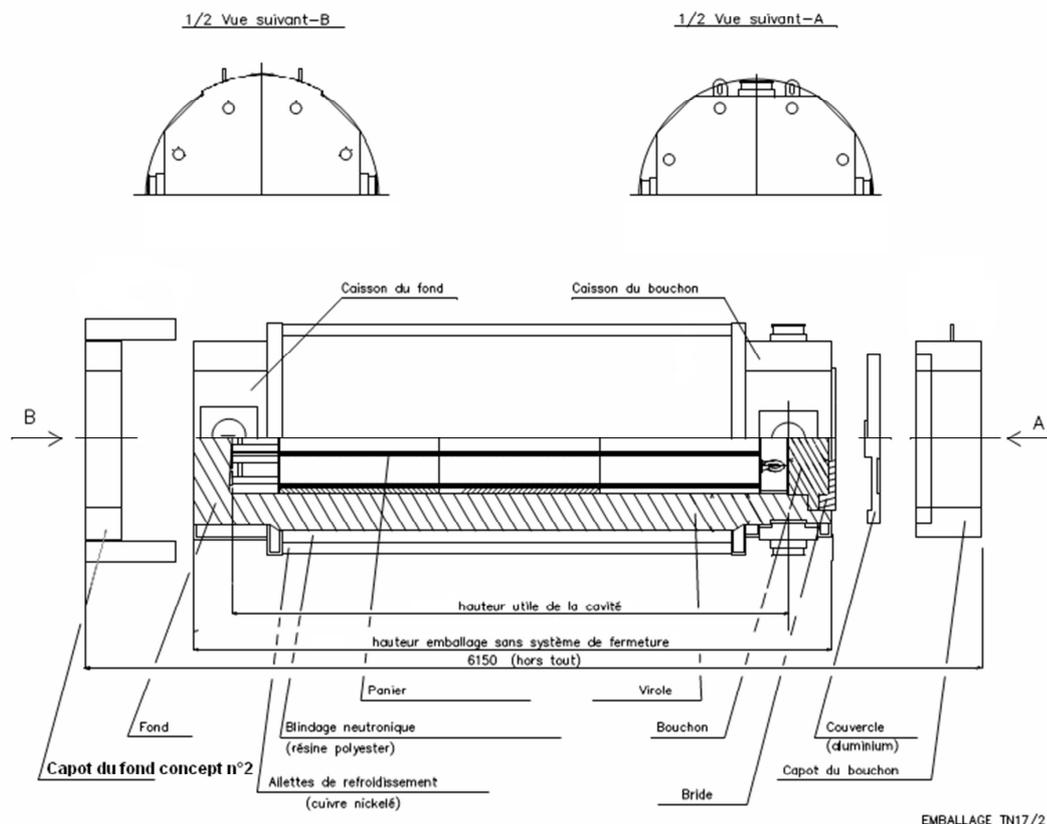
## 2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS

### 2.1 Description du colis

L'emballage TN<sup>®</sup> 17/2, pour les versions A et B, est destiné au transport par voie routière, ferroviaire ou maritime d'assemblages de combustible nucléaire usé de type REP ou REB constitués à partir de crayons de combustible en réseau et chargés dans un panier de type 903, 905 (type 1 ou 2), 923 ou 933.

L'emballage TN<sup>®</sup> 17/2, pour la version C, est destiné au transport par voie ferroviaire ou maritime de conteneurs d'aiguilles fissiles ou fertiles PHENIX dans des paniers de type PHENIX.

De forme générale cylindrique, le colis est illustré sur la figure ci-dessous en position horizontale (en version de transport d'assemblages de type REP):



EMBALLAGE TN17/2

Les dimensions générales hors-tout du colis sont :

- Longueur : 6 150 mm
- Diamètre avec le capot amortisseur de fond concept n° 2 : 1 977 mm

L'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 autorise trois versions :

- Versions A et B, destinées au transport d'assemblages de combustible usé et qui diffèrent principalement par l'épaisseur de résine en partie courante,

- Version C, destinée au transport des conteneurs d'aiguilles, dont l'épaisseur de résine est identique à celle de la version A et qui diffère principalement par une épaisseur de bouchon réduite et par le fait qu'un canister est positionné dans la cavité de l'emballage.

Les versions A et B se déclinent chacune en deux variantes 1 et 2 ; la variante 2 diffère de la variante 1 par une épaisseur plus importante de blindage radial neutronique aux extrémités du corps forgé.

## 2.2 Description de l'emballage

Les principaux composants de l'emballage sont :

- Pour les versions A et B :
  - 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 (fond et virole) soudés sur la totalité de leur épaisseur. 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. Quatre orifices équipés de joints élastomères permettent un accès à la cavité. Aux extrémités de la zone ailetée, deux porte-jupes en acier inoxydable sont utilisés pour fixer des jupes qui protègent les ailettes lors des opérations de chargement et de déchargement dans une piscine.
  - Un système de fermeture de la cavité interne 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. Le bouchon est muni d'un orifice obturé par un capuchon de raccord vissé et équipé de joints élastomères.
  - Deux capots amortisseurs (en tête et en fond) protégeant le système de fermeture et le fond de l'emballage contre les chocs des conditions normales et accidentelles de transport. Ces capots sont constitués d'une enveloppe en acier inoxydable. Le capot de tête contient du balsa et du chêne et est vissé au système de fermeture. Le capot de fond concept n°2 contient des blocs d'aluminium et de balsa et est vissé sur le fond de l'emballage.
- Pour la version C,
  - Un corps et des capots amortisseurs identiques à ceux constituant la version A de l'emballage.
  - Un système de fermeture de la cavité qui diffère de la version A par la présence d'un bouchon d'épaisseur réduite.
  - Un canister étanche inséré à l'intérieur du corps principal en acier forgé. Le canister est constitué d'une virole en acier inoxydable, d'une bride et d'un fond en acier soudés à la virole, et d'un couvercle équipé de joints élastomère. Deux orifices équipés de joints élastomères permettent l'accès à la cavité du canister. La virole du canister est entourée d'un profilé cylindrique en alliage d'aluminium.

## 2.3 Description du contenu

Pour les versions A et B de l'emballage, le contenu est constitué par l'aménagement interne de la cavité et les assemblages combustibles usés suivants :

- Assemblages de combustible usé de type REP à réseau 15x15 ou 17x17 chargés dans les paniers 903, 923 ou 933.
- Assemblages de combustible usé de type REB à réseau 8x8, 9x9, 10x10, 4x(4x4) ou 4x(5x5) chargés dans les paniers 905, 923 ou 933.

Pour la version C de l'emballage, le contenu est constitué par l'aménagement interne PHENIX et des conteneurs d'aiguilles suivants :

- Conteneurs chargées d'aiguilles fertiles usées ou non de type PHENIX ;
- Conteneurs chargées d'aiguilles fissiles usées ou non de type PHENIX.

#### Description de l'aménagement interne :

Les différents aménagements internes de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 version A et B sont constitués par les paniers suivants :

- Le panier de type 903 comportant 7 logements de section carrée pour des assemblages de combustibles REP non encapsulés. Il est constitué par 3 éléments en alliage d'aluminium assemblés entre une plaque inférieure et une plaque supérieure via des pions de centrages et 4 tirants.
- Le panier de type 923 comportant 5 logements de section carrée pour des assemblages de combustible usé de type REP non-encapsulés ou des assemblages de combustible usé de type REB encapsulés ou non encapsulés et 2 logements de section carrée pour des assemblages de combustible usé de type REP ou REB encapsulés ou non encapsulés. Il est constitué par 3 éléments assemblés entre une plaque inférieure et une plaque supérieure via des pions de centrages et 4 tirants.
- Le panier de type 933 est identique au panier de type 923, exceptée pour la teneur minimale en bore de l'alliage d'aluminium qui diffère.
- Le panier de type 905 comportant 17 logements pour des assemblages de combustible usé de type REB non encapsulés. Il est constitué par l'empilement de 3 éléments en alliage d'aluminium assemblés par des pions et 4 tirants. Il y a deux types de paniers (type 1 et type 2) dont la teneur minimale en bore des tubes carrés en acier diffère.

Chaque assemblage de combustible usé est supporté par une cale en acier déposée au fond de chaque logement. Ces cales permettent de positionner les assemblages dans la cavité.

L'aménagement interne de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 version C est constitué de deux paniers dits paniers PHENIX. Les deux paniers PHENIX sont constitués de 12 logements de forme cylindrique et se déclinent en deux variantes :

- Les paniers de la variante 1 sont équipés de plaques intermédiaires en aluminium de type 1,
- Les paniers de la variante 2 sont équipés de plaques intermédiaires en aluminium de type 2.

Les aluminiums des types 1 et 2 diffèrent de par leurs caractéristiques mécaniques.

Une cale en acier inoxydable est installée dans le fond de la cavité du canister.

#### Description des assemblages de combustible usé et des conteneurs d'aiguilles PHENIX :

Les assemblages de combustible usés de type REP 15 x 15 ou 17 x 17 sont de type REP UO<sub>2</sub>. Les assemblages de combustible usés REP 15 x 15 comportent 204 ou 205 crayons de combustible usé. Les assemblages irradiés REP 17 x 17 comportent 264 crayons de combustibles

Les assemblages de combustible usés de type REB sont de type REB 8 x 8, REB 9 x 9 ou REB 10 x 10 ou REB 4 x (4 x 4), REB 4 x (5 x 5).

Les différents contenus du modèle de colis TN<sup>®</sup> 17/2 version A ou B sont constitués par :

- des assemblages de combustible usé de type REP UO<sub>2</sub> 15 x 15 de type 3 chargés dans un panier de type 903. Il peut contenir 6 ou 7 assemblages.
- 17 assemblages de combustible usé non encapsulés de type REB UO<sub>2</sub> chargés dans un panier 905 de type 1 ou 2. Les assemblages sont de type REB 8 x 8, 9 x 9, 10 x 10 de type 1, 4 x (4 x 4) et 4 x (5 x 5) de type 1.
- 16 assemblages de combustible usé non encapsulés de type REB UO<sub>2</sub> chargés dans un panier 905 de type 1 ou 2. Les assemblages sont de type REB 8 x 8, 9 x 9, 10 x 10 de type 1, 4 x (4 x 4) et 4 x (5 x 5) de type 1 à 4.

- 17 assemblages de combustible usé non encapsulés de type REB UO<sub>2</sub> chargés dans un panier 905 de type 2.
- 7 assemblages de combustible usé de type REP UO<sub>2</sub> 15 x 15 et 17 x 17 chargés dans un panier 923. Le chargement peut comporter 7, 6 ou 4 assemblages REP 15 x 15. Il peut comporter 7, 6 ou 4 assemblages REP 17 x 17. Le mélange de différents types d'assemblages n'est pas autorisé.
- 7 assemblages de combustible usé de type REB UO<sub>2</sub> 8 x 8, 9 x 9, 10 x 10, 4 x (4 x 4) ou 4 x (5 x 5) chargés dans un panier 923. Les assemblages peuvent être transportés encapsulés.
- 7 assemblages de combustible usé de type REB UO<sub>2</sub> 15 x 15 chargés dans un panier 933. Le chargement peut comporter 6 ou 7 assemblages.
- 7 assemblages de combustible usé de type REB UO<sub>2</sub> 8 x 8 chargés dans un panier 933.
- 14, 15 ou 16 assemblages de combustible usé de type REB UO<sub>2</sub> 8 x 8, 10 x 10 de type 2 ou 4 x (5 x 5) de type 5 chargés dans un panier 905 de type 1 ou 2.
- des assemblages de combustible usé de type REP UO<sub>2</sub> 17 x 17 de type 3 chargés dans un panier 923. Le chargement peut comporter 7 assemblages.
- 16 assemblages de combustible usé de type REP UO<sub>2</sub> 4 x (5 x 5) de type 6 chargés dans un panier 905 de type 1 ou 2. Les assemblages doivent être transportés en étant non encapsulés.
- 10 assemblages de combustible usé non encapsulés de type REB UO<sub>2</sub> 8 x 8, 10 x 10 de type 2, 4 x (5 x 5) de type 5 chargés dans un panier 905 de type 1 ou 2 (seulement pour la version A de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2).
- 4 assemblages de combustible usé de type REP UO<sub>2</sub> 15 x 15 et 17 x 17 chargés dans un panier 923 (seulement pour la version A de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2).
- 6 assemblages de combustible usé de type REP UO<sub>2</sub> 15 x 15 de type 4 chargés dans un panier 933.

Les différents chargements autorisés pour les paniers PHENIX (TN<sup>®</sup> 17/2 version C) sont les suivants :

- aiguilles fissiles UO<sub>2</sub>-PuO<sub>2</sub>,
- aiguilles fissiles UO<sub>2</sub>,
- aiguilles fertiles UO<sub>2</sub>,

Le combustible est usé ou non usé.

Les aiguilles sont conditionnées soit en étuis AA194 puis en conteneurs C195 ou C194, soit directement en étuis AA195. Le nombre d'étuis chargés par panier peut atteindre 12 dans le cas d'un chargement constitué exclusivement d'aiguilles fertiles, ou 10 dans les autres configurations de chargement.

#### Paramètres importants :

Les contenus autorisés sont limités par les paramètres de sûreté suivants :

- La géométrie du contenu,
- l'enrichissement maximal, le taux de combustion moyen maximal et le temps de refroidissement minimal du contenu,
- la masse maximale des crayons dans un conteneur,
- pour les versions A et B uniquement : l'alignement des crayons dans un conteneur.

## 2.4 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).

La version C dispose d'une seconde barrière de confinement constituée du canister dont l'étanchéité est assurée par des joints au niveau du couvercle et au niveau des deux plaques de fermeture des orifices.

## 2.5 Barrières d'étanchéité

Toutes les ouvertures de l'enceinte de confinement de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2, décrites au paragraphe 2.4, sont équipées d'une simple barrière d'étanchéité contrôlable. Celle-ci est notamment constituée par deux joints élastomères délimitant un espace relié à un orifice de contrôle d'étanchéité.

L'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 version C dispose d'une seconde barrière d'étanchéité notamment constituée par les deux joints élastomères installés dans le couvercle du canister. Ces joints délimitent un espace relié à un orifice de contrôle d'étanchéité.

## 2.6 Système d'isolement

Le système d'isolement est constitué par :

- Le contenu radioactif (assemblages de combustible usé, ou conteneur d'aiguilles) et l'aménagement interne,
- la barrière d'étanchéité décrite au § 2.5 pour les emballages TN<sup>®</sup> 17/2 version A et B
- les deux barrières d'étanchéité décrites au § 2.5 pour l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 version C.

## 2.7 Bilan de masse

La masse maximale autorisée du colis TN<sup>®</sup> 17/2 en transport est de 79 670 kg pour les versions A et B et de 78 300 kg pour la version C. Les études de sûreté sont réalisées avec une masse enveloppe de 80 000 kg en transport et manutention horizontale, et de 83 000 kg en manutention verticale.

# 3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE

## 3.1 Conditions de transport de routine

### Tenue de l'enceinte de confinement

La tenue mécanique de l'enceinte de confinement en conditions de transport de routine est vérifiée à partir des données d'entrée suivantes :

- La géométrie et les matériaux des différents composants.
- La température de chaque composant. Les valeurs de température considérées sont issues des analyses thermiques en conditions de transport de routine.
- La pression interne de conception de la cavité.

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 des tourillons, des vis de fixation et du corps au droit de la liaison est justifiée pour des chargements statiques (en manutention et en arrimage) représentatifs des accélérations vues en transport, ainsi qu'à la fatigue suite au cumul des cycles de sollicitation en transport et en manutention.

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

#### Résistance des structures annexes

La tenue mécanique des structures annexes de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 composées des éléments suivants est vérifiée, à savoir :

- Les capots amortisseurs et leurs oreilles de manutention,
- Les caissons.

Les valeurs de température considérées sont issues des analyses thermiques en conditions de transport de routine.

#### Résistance de l'aménagement interne

La résistance des différents aménagements internes aux sollicitations mécaniques et contraintes thermiques rencontrées en conditions de transport de routine ainsi que leur 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 réalisée en considérant une énergie de chute correspondant à une masse totale du colis de 80 000 kg.

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.

#### Chutes étudiées

Le comportement de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 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.

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 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 analyses des conditions accidentelles de chute ont été combinées avec diverses hypothèses d'environnement et de conditions à l'intérieur de l'emballage :

- Température ambiante de -27°C, 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 de la maquette de chute

Les épreuves de chutes représentatives du comportement mécanique de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 en conditions accidentelles de transport ont été réalisées avec une maquette de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 à l'échelle 1/3 équipée notamment d'une maquette de capot de fond de concept n° 1 (ancien concept remplacé depuis par le concept n° 2).

Des règles de similitude sont appliquées afin de garantir que le comportement mécanique de la maquette soit bien représentatif des conditions de chute réglementaires sur l'emballage à l'échelle 1 équipé du concept de capot n° 2 pour les chutes axiale, oblique et sur poinçon.

Il est démontré que les différences de fabrication entre la maquette et le modèle de colis sont conservatrices ou sans incidence notable sur la représentativité de la maquette lors des chutes.

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

Les règles de similitudes amènent à définir des hauteurs de chute corrigées pour tenir compte, notamment, des écarts de masse entre celle de la maquette et la masse maximale du modèle de colis.

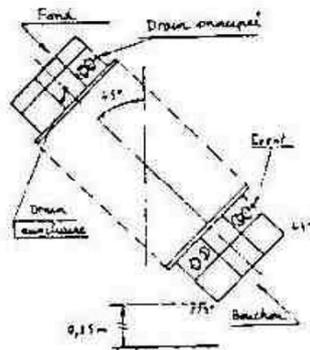
La maquette de chute a été fabriquée de manière à simuler le comportement le plus défavorable du modèle de colis.

Les chutes de la maquette équipée du capot de fond de concept n°1 sont décrites dans les séquences ci-après.

#### Première série de chutes

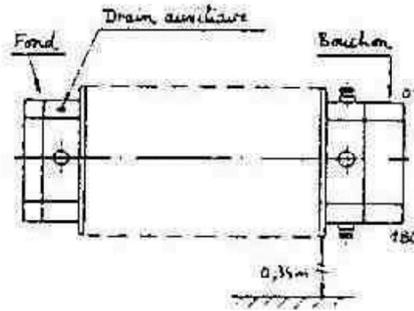
Les chutes réglementaires effectuées lors de la première série de chutes sont répertoriées ci-après.

- Chute n°1 : Chute avec angle côté bouchon d'une hauteur de 0,35 mètre.



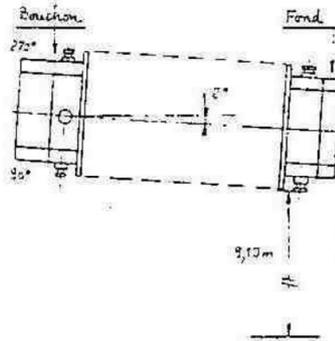
Les déformations observées sont un léger aplatissement du bouchon et de la jupe.

- Chute n°2 : Chute latérale d'une hauteur de 0,35 mètre.



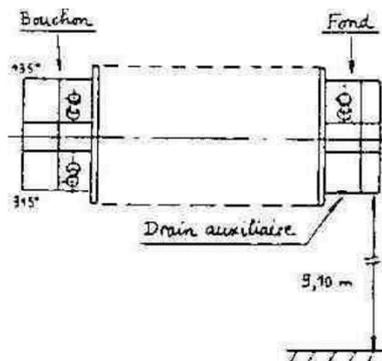
Les déformations observées sont des marques d'impact sur les tourillons et sur le bouchon (sans déformation), ainsi qu'un léger aplatissement de la jupe.

- Chute n°3 : Chute latérale avec léger angle d'une hauteur de 9,1 mètres (premier impact sur le capot de fond).



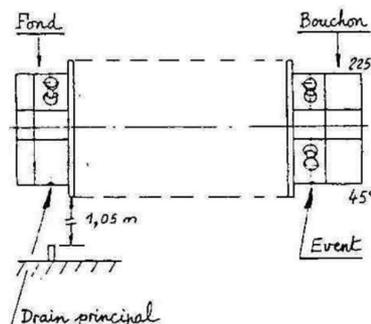
Les déformations observées sont un écrasement des tourillons et de la jupe.

- Chute n°5 : Chute latérale d'une hauteur de 9,1 mètres.



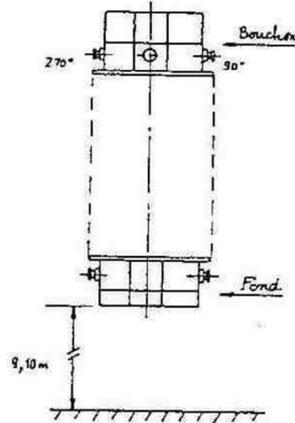
Les déformations observées sont un écrasement des jupes et du couvercle.

- Chute n°7: Chute sur poinçon d'une hauteur de 1,05 mètre sur l'orifice de drainage du capot de fond.



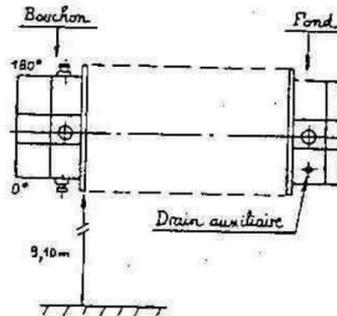
Les déformations observées sont l'impact du poinçon sur la plaque de fermeture de l'orifice de drainage, ainsi que de légères déformations autour de l'orifice de drainage.

- Chute n°9 : Chute axiale de 9,1 mètres sur le capot de fond.



Les déformations observées sont l'écrasement du capot amortisseur de fond.

- Chute n°10 : Chute latérale d'une hauteur de 9,1 mètres.

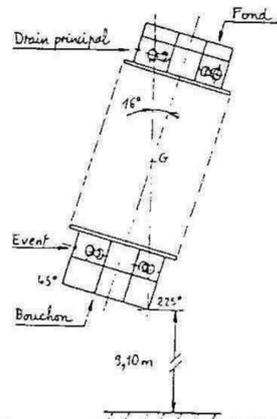


Les déformations observées sont un écrasement des tourillons ainsi que de la jupe et un écrasement des ailettes.

### Deuxième série de chutes

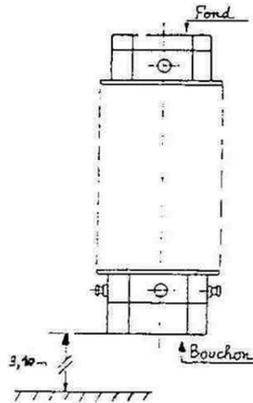
Les chutes réglementaires effectuées lors de la deuxième série de chutes sont répertoriées ci-dessous.

- Chute n°11 : Chute de 9,1 mètres avec angle côté bouchon.



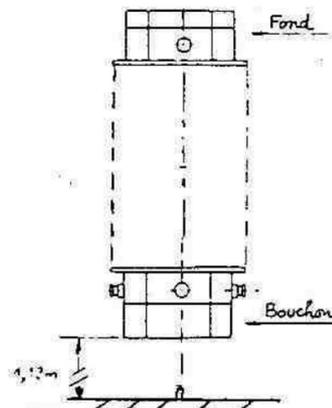
Les déformations observées sont un écrasement du coin du bouchon et un léger écrasement de la jupe, du compartiment et de la couverture du couvercle.

- Chute n°12 : Chute axiale coté bouchon d'une hauteur de 9,1 mètres.



Les déformations observées sont un écrasement du bouchon sur quelques centimètres.

- Chute n°13 : Chute axiale d'une hauteur de 1,15 mètre sur poinçon avec impact côté bouchon.



Les déformations observées sont une perforation au centre du bouchon.

A la suite de l'ensemble des séquences de chutes décrites ci-avant, des mesures montrent un bon niveau d'étanchéité de la maquette.

Un essai de chute complémentaire d'une maquette échelle 1/3 de l'emballage TN<sup>®</sup> 12/2 (concept d'emballage similaire au TN<sup>®</sup> 17/2 mais de masse supérieure) sur poinçon a également été utilisé pour justifier l'étanchéité de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 à l'issue des chutes sur poinçon au droit des orifices, en position oblique.

Enfin, des essais de chute complémentaires en position latérale d'une maquette échelle 1/3 de l'emballage TN<sup>®</sup> 13/2 (concept d'emballage similaire au TN<sup>®</sup> 17/2 mais de masse supérieure) ont également été réalisées. Le recalage numérique de ces essais a permis de valider les principes de modélisation du capot de fond n°2 dans le cas de l'emballage TN<sup>®</sup> 13/2. Ces principes de modélisation, appliqués aux simulations numériques de chute de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2, ont permis de justifier numériquement le comportement de l'emballage équipé du capot de fond n° 2 en chute latérale.

#### Analyses complémentaires

La tenue à la rupture fragile de l'emballage a également fait l'objet d'une analyse basée sur les résultats des simulations numériques de chute en chute latérale. Il est démontré que le choix des matériaux utilisés dans la fabrication de l'emballage écarte le risque de rupture fragile de l'enceinte de confinement :

- à -40°C pour les emballages version C,
- à -20°C ou -30°C (en fonction du type d'acier) pour les emballages versions A et B.

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

Le comportement mécanique des aménagements internes est justifié dans les conditions normales de transport et les conditions accidentelles de transport sur la base de accélérations de chutes de l'emballage calculées numériquement ou mesurées lors des essais de chute, notamment en tenant compte du phénomène d'amplification dynamique.

### Conclusion

Suite aux épreuves réglementaires des chutes en conditions accidentelles de transport, et à des calculs complémentaires, la tenue de l'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 ainsi que celle des aménagements internes sont vérifiées, et cela pour toutes les configurations de chute. La tenue de l'emballage est également vérifiée suite aux épreuves d'immersion.

Les analyses montrent que l'emballage résiste aux différentes conditions d'épreuve de chute sans subir de dommages susceptibles de nuire au confinement du contenu, à l'efficacité du blindage, à la capacité de dissipation thermique et au maintien de la sous-criticité du colis.

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

### 4.1 En conditions de transport de routine

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

Les paramètres du contenu importants pour l'étude sont :

- la puissance thermique totale émise par le contenu de l'emballage,
- la répartition linéaire de puissance du contenu, le long de la cavité de l'emballage,
- les matériaux et la géométrie des aménagements internes.

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

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

- La géométrie de l'emballage, qui dépend de la version de l'emballage (A, B ou C)
- La présence d'hélium dans la cavité,
- La virole en acier,
- La présence d'ailettes sur le corps de l'emballage.
- la convection entre les ailettes externes de refroidissement qui est caractérisée par un recalage d'un essai thermique réalisé sur une maquette tranche représentative du colis à l'horizontal, c'est-à-dire dans sa position de transport.

#### 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,
- les échanges thermiques se font par conduction, rayonnement et convection,

#### Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée sur la base d'un modèle numérique représentant le colis (emballage et panier).

Les différentes positions des assemblages combustibles et du panier (pour les versions A et B), des conteneurs, paniers et canister (pour la version C) dans la cavité pouvant conduire à majorer les températures des composants sensibles de l'emballage (joints de confinement et résine) sont étudiées.

## Résultats de l'étude

Les températures des composants sensibles à la température sont compatibles avec leur critère d'intégrité :

- Joints d'étanchéité : la température maximale des joints d'étanchéité permet de justifier leur non-endommagement sur un nombre de cycles de transport compatible avec leur fréquence de remplacement en maintenance. Par ailleurs, la dilatation des joints dans leur gorge entraîne un taux de remplissage inférieur à 100%, ce qui est acceptable.
- Résine neutrophage : la température maximale de la résine reste inférieure à sa limite d'utilisation.

### 4.2 En conditions normales de transport

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

### 4.3 En conditions accidentelles de transport

#### Paramètres importants pour l'étude

L'analyse thermique du colis TN<sup>®</sup> 17/2 en conditions accidentelles de transport est effectuée à partir du modèle numérique des conditions normales de transport. Par ailleurs, des résultats d'un calcul complémentaire en conditions réglementaire de feu avec la prise en compte de l'effet du poinçonnement au niveau des orifices, et la perte éventuelle du capot de fond de l'emballage, permettent de déterminer les températures maximales des composants sensibles du colis dans les conditions accidentelles de transport.

#### Hypothèses importantes pour l'étude

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

- A. Le champ de température initial du colis est celui des conditions de transport de routine ayant conduit aux températures les plus élevées concernant les joints d'étanchéité du colis.
- B. Pendant la période réglementaire de 30 minutes, le feu est simulé par :
  - a. une température ambiante réglementaire de 800°C.
  - b. un coefficient d'échange convectif dans la zone ailetée égal au coefficient recommandé par la réglementation de 10 W/m<sup>2</sup>/K représentatif d'une convection forcée dans un incendie englobant, augmenté par l'accroissement de surface totale des ailettes.
  - c. L'émissivité des flammes de 0,9 et l'absorptivité des surfaces externes de 0,8 conformément à la réglementation.
- C. Après feu,
  - a. le coefficient d'échange convectif dans la zone ailetée est celui de la convection naturelle du colis en position verticale (position plus pénalisante pour la convection). Ce coefficient est issu d'un recalage sur un essai thermique.
  - b. L'émissivité des surfaces externes reste à 0,8.

Lors du refroidissement après feu, le colis est considéré dans chacune des deux positions, verticale et horizontale, ce qui est enveloppe vis-à-vis des échanges dans la zone ailetée. Les échanges thermiques se font par conduction, rayonnement et convection,

### Résultat de l'étude

Les températures atteintes par les composants du système de fermeture et les joints d'étanchéité du colis restent inférieures aux températures limites d'utilisation définies dans le dossier de sûreté.

Les taux de remplissage des gorges de joint aux températures maximales des conditions accidentelles de transport restent inférieurs à 100%, sauf pour un joint qui dépasse ce seuil tout en restant dans un domaine de performance acceptable excluant le risque de perte d'étanchéité.

### Tenue en température des joints

L'exposition des joints à :

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

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

L'enceinte de confinement est décrite au paragraphe 2.4.

Les critères réglementaires de relâchement d'activité radioactive maximum sont les suivants :

- $10^{-6}$  A<sub>2</sub>/h en conditions normales de transport.
- 1 A<sub>2</sub> cumulé sur une semaine en conditions accidentelles de transport.

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 ;
- Les fuites de gaz radioactifs,
- Les fuites de particules aérosols radioactives.

### 5.1 En conditions normales de transport

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

#### **Pour les versions A et B de l'emballage :**

Les caractéristiques des contenus étudiés dans l'analyse de confinement couvrent l'ensemble des contenus autorisés présentés dans le paragraphe § 2.3.

Assemblage REP	Cas 1 17x17	Cas 2 15x15	Cas 3 17x17	Cas 4 15x15
Taux de combustion moyen (MWj/tU)	55 000	60 000	60 000	55 000
Durée de refroidissement (j)	180	360	360	360
Enrichissement en <sup>235</sup> U	4,7 %	4,7 %	5 %	5 %

Assemblage REB	Cas 1 10x10	Cas 2 10x10	Cas 3 10x10
Taux de combustion moyen (MWj/tU)	50 000	50 000	60 000
Durée de refroidissement (j)	180	180	360
Enrichissement en <sup>235</sup> U	4 %	5 %	5 %

### Pour la version C :

Les caractéristiques des contenus étudiés dans l'analyse de confinement couvrent l'ensemble des contenus autorisés présentés dans le paragraphe § 2.3.

Aiguilles PHENIX	Cas 1 – Aiguilles Fissiles	Cas 2 – Aiguilles Fertiles
Taux de combustion (MWj/t)	152 000	37 500
Durée de refroidissement (mois)	72	72
Nombre de conteneurs par emballage	20	24

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

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- Les taux de fuite maximaux de chacune des barrières d'étanchéité vérifiés avant expédition,
- la pression maximale de remplissage du colis suivant le critère défini dans les conditions d'utilisation,
- les températures maximales des gaz et des joints issus de l'analyse thermique,
- la pression de vapeur saturante due à la présence d'eau dans les crayons inétanches (version A et B uniquement),
- 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

#### **Pour les versions A et B de l'emballage :**

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 pour les assemblages usés (RGF) est conforme aux recommandations de l'ASN,
- la durée de transport considérée est de :
  - 240 jours pour les contenus ne comportant pas de crayons inétanches,
  - 60 jours pour les contenus comportant un ou plusieurs crayons inétanches.

### Pour la version C de l'emballage :

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>,
- la durée de transport considérée est de 1 an.

#### 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, la pression atmosphérique est supposée majorée (1,04 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.
- B. La phase de relâchement d'activité : à la fin de la période de transport, la pression atmosphérique chute brutalement à 0,85 bar absolu. Cette fois, le flux de fuite se fait de l'intérieur vers l'extérieur. Le relâchement d'activité doit rester inférieur au critère réglementaire de  $10^{-6}$  A<sub>2</sub>/h.

#### Résultats de l'étude

Le critère réglementaire est respecté.

## 5.2 En conditions accidentelles de transport

Les principales différences avec le calcul en conditions normales de transport sont les suivantes (pour toutes les versions de l'emballage) :

- 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 g/m<sup>3</sup> durant la première demi-heure puis  $10^{-1}$  g/m<sup>3</sup> ensuite.

Les résultats montrent pour l'ensemble de ces cas une marge significative par rapport au critère réglementaire de 1 A<sub>2</sub> cumulé sur une semaine.

Pour les versions A et B, 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.

Pour la version C, le transport d'aiguilles inétanches contenant de l'eau est interdit. Ces mesures ne sont pas donc pas applicables.

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

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

- Conditions de transport de routine :
  - 2 mSv/h en tout point des surfaces extérieures du colis (10 mSv/h sous utilisation exclusive),
  - 2 mSv/h en tout point au contact des surfaces externes du véhicule de transport,
  - 0,1 mSv/h en tout point à 2 m des surfaces latérales externes du véhicule de transport.
- 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 mSv/h en tout point à 1 m des surfaces externes du colis.

## 6.1 En conditions de transport de routine

### Paramètres du contenu importants pour l'étude

- Pour le cas des assemblages de combustible usé, un contenu enveloppe est défini, qui possède les caractéristiques suivantes :

Type de panier	Panier BWR : 905	Panier PWR : 923
Combustible	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>
Taux de combustion moyen (GWj/t <sub>U</sub> )	60	60
Durée de refroidissement (j)	360	360

- Pour le cas des conteneurs PHENIX, les chargements considérés sont les suivants :
  - 12 conteneurs d'aiguilles fissiles UO<sub>2</sub>-PuO<sub>2</sub> refroidies 2 ans, chaque aiguille présentant un taux de combustion maximal de 150 000 MWj/t<sub>oxyde</sub>,
  - 12 conteneurs d'aiguilles fissiles UO<sub>2</sub> refroidies 2 ans, chaque aiguille présentant un taux de combustion maximal de 55 000 MWj/t<sub>oxyde</sub>,
  - 12 conteneurs d'aiguilles fertiles UO<sub>2</sub> refroidies 6 mois, chaque aiguille présentant un taux de combustion maximal de 37 500 MWj/t<sub>ML</sub>.

Ces contenus couvrent l'ensemble des contenus autorisés décrits au paragraphe 2.3 et définissent le contenu radioactif maximal du modèle de colis suivant l'AIEA 2012 <2>.

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

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

Le blindage radial est principalement formé par :

- Une virole épaisse en acier
- une couche de résine de blindage neutronique, traversée par les ailettes en cuivre,
- les ailettes en cuivre hors de la résine,
- les tourillons en acier,
- pour la version C uniquement, la virole en acier du canister et le profilé en aluminium.

Le blindage axial en tête est principalement constitué par :

- les parties massives en acier du système de fermeture (bouchon et bride de serrage),
- un bouchon en acier,
- un couvercle en aluminium,
- un capot amortisseur de tête constitué d'acier, de balsa et de chêne,

- pour la version C uniquement, le bouchon en acier du canister.

Le blindage axial en fond est principalement constitué par :

- le fond forgé en acier de la virole,
- un capot amortisseur de fond constitué d'acier, de balsa et de chêne,
- pour la version C uniquement, le fond en acier du canister

#### Hypothèses importantes pour l'étude

Pour les calculs, les géométries les plus pénalisantes ont été prises en compte.

#### Résultats de l'étude

Les critères réglementaires de débits d'équivalent de dose en conditions de transport de routine sont respectés.

### 6.2 En conditions normales de transport

Il est démontré qu'en conditions normales de transport, quel que soit le type de contenu, les débits d'équivalent de dose relatifs aux conditions de transport de routine ne subissent pas d'augmentation supérieure à 20 %.

### 6.3 En conditions accidentelles de transport

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

Les calculs tiennent compte des endommagements suivants :

- 1/3 de l'épaisseur de la résine a disparue après l'épreuve de feu réglementaire pour les versions A et B. Pour la version C, la résine est considérée complètement disparue.
- la zone ailetée n'est pas modélisée.

#### Résultats de l'étude

Les critères réglementaires de débits d'équivalent de dose en conditions accidentelles de transport sont respectés.

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

Pour les versions A et B (pour assemblages combustibles), la sûreté-criticité est assurée suivant l'édition de 1985 de la réglementation AIEA <1> pour :

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

La configuration du colis isolé endommagé avec présence d'une quantité limitée d'eau dans la cavité, en respect du paragraphe 685 b) de l'AIEA édition 1985 <1>, permet de couvrir l'ensemble des scénarii décrits ci-dessus.

Pour la version C (pour conteneurs à aiguilles), la sûreté-criticité est assurée suivant l'édition de 2012 de la réglementation AIEA <2> pour :

- le colis isolé en conditions de transport de routine,
- le colis isolé en conditions normales de transport,
- le colis isolé en conditions normales de transport suivies par les conditions accidentelles de transport,
- l'agencement de 5N colis en conditions normales de transport,

- l'agencement de 2N colis en conditions normales de transport suivies par les conditions accidentelles de transport.

La configuration du colis isolé en conditions normales de transport suivies par les conditions accidentelles de transport, avec une pénétration limitée d'eau en respect du paragraphe 680 a) de l'AIEA édition 2012, permet de couvrir l'ensemble des scénarios décrits ci-dessus.

Les critères de sous-criticité retenus sont les suivants :

- $k_{\text{eff}} \leq 0,95$  pour le colis isolé, toutes incertitudes comprises,
- $k_{\text{eff}} \leq 0,98$  pour le colis en réseau, toutes incertitudes comprises.

## 7.1 Colis isolé

### Paramètres du contenu importants pour l'étude

Dans cette étude, les assemblages combustibles ou les aiguilles sont considérés comme ruinés. C'est-à-dire que, pour les assemblages combustibles, seule la matière fissile est modélisée dans la configuration géométrique la plus pénalisante (sous forme d'une sphère pour les versions A et B, ou d'un cylindre pour la version C).

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

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

L'enrichissement maximal du combustible et la masse maximale de métal lourd sont considérés.

Pour les chargements d'aiguilles PHENIX (version C), la composition des parties fertiles des aiguilles fissiles  $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$  et des aiguilles fissiles  $\text{UO}_2$  est assimilée de manière pénalisante à celle du milieu fissile.

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

Pour les versions A et B, l'enceinte de confinement est telle que décrit au paragraphe 2.4 (il n'y a pas de modification de l'enceinte suite aux épreuves des conditions normales et accidentelles de transport).

La résine, les capots amortisseurs et les ailettes sont négligés.

L'enceinte de confinement est considérée entourée par une couronne d'eau de 200 mm d'épaisseur.

### Hypothèses de calcul

#### Pour les versions A et B transportant des assemblages combustibles usés :

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 conformément au paragraphe 565 b) du règlement de l'AIEA, édition 1985 <1>.

L'analyse de sûreté-criticité se limite au cas d'un colis isolé endommagé avec pénétration d'eau limitée.

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

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

- la quantité d'eau susceptible de pénétrer lors d'une immersion sous une hauteur d'eau de 0,9 m pendant une période étendue à 1 semaine à l'issue des épreuves réglementaires des conditions accidentelles de transport.

#### Pour la version C transportant des crayons Phénix :

Le modèle d'emballage est constitué de deux barrières d'étanchéité multiples réputée étanche à l'issue des épreuves réglementaires, dont les contrôles avant transport pour vérifier la bonne fermeture et l'étanchéité sont renforcés pour se prémunir de l'erreur humaine et qui permet ainsi de considérer une introduction partielle d'eau dans la cavité conformément au paragraphe 680 a) du règlement de l'AIEA, édition 2012 <2>.

L'analyse de sûreté-criticité se limite au cas d'un colis isolé en conditions accidentelles de transport avec pénétration d'eau limitée.

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

- la quantité d'eau susceptible de pénétrer lors d'une immersion sous une hauteur d'eau de 15 m pendant 8 heures à l'issue des épreuves réglementaires des conditions normales de transport,
- la quantité d'eau susceptible de pénétrer lors d'une immersion sous une hauteur d'eau de 0,9 m pendant une période étendue à 1 semaine à l'issue des épreuves réglementaires des conditions accidentelles de transport.

#### Résultats

Le critère de sûreté-criticité retenu pour un colis isolé  $k_{\text{eff}} \leq 0,95$  (toutes incertitudes comprises) est respecté dans tous les cas de chargement.

### 7.2 Réseau de colis

L'emballage TN<sup>®</sup> 17/2 est constitué d'une virole épaisse en acier (épaisseur supérieure à 200 mm) qui isole neutroniquement son contenu. Ainsi, le respect du critère  $k_{\text{eff}} \leq 0,95$  pour le colis isolé (toutes incertitudes comprises) permet d'assurer le respect du critère réglementaire pour un réseau infini du colis.

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

## 8. CONDITIONS D'UTILISATION

L'emballage est conçu pour être chargé verticalement sous eau ou à sec pour les versions A et B et à sec uniquement pour la version C. Il peut être déchargé verticalement sous eau ou à sec.

Le colis est conçu pour être transporté à sec

La cavité doit être remplie avec de l'hélium pour le transport des assemblages de combustible usé. La cavité du canister et l'espace entre le canister et l'emballage sont tous les deux remplis avec de l'hélium pour le transport des conteneurs d'aiguilles PHENIX. L'intérieur de la cavité peut être remplie avec un gaz inerte ou avec de l'air quand le colis est transporté à vide.

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 (après une mise en eau de l'emballage),
- 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 une barrière d'étanchéité.

- L'ensemble des opérations effectuées pour vérifier le séchage de la cavité, la fermeture de la cavité et le niveau d'étanchéité du colis doit être contrôlé par une personne différente de celle qui les a réalisés afin de vérifier la conformité au respect des exigences.
- Dans le cas d'un transport avec au moins un crayon inéanche, 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 (LII) minimale définie. La durée maximale séparant la fermeture de l'ouverture de l'enveloppe de confinement ne doit pas excéder 60 jours. Les dispositions suivantes doivent être réalisées :
  - o 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).
  - o Après l'arrivée sur le site destinataire, une fois le transfert de responsabilité du colis vers le destinataire réalisé, le destinataire doit garantir que l'ouverture du colis est réalisée dans un temps compté à partir de la fermeture de l'enveloppe de confinement de l'emballage qui ne doit pas dépasser la durée maximale diminuée de 7 jours.
- La mise en place des scellés.
- la vérification de la non contamination de l'emballage en conformité avec les limites réglementaires.
- le contrôle des débits d'équivalent de dose autour du colis en conformité avec les limites réglementaires.
- si, à la fois, l'emballage contient au moins un assemblage de combustible usé et le transport est effectué sans barrière thermique, le contrôle des surfaces accessibles en conformité avec la limite réglementaire de 85 °C.
- la mise en place de l'étiquetage réglementaire.

## 9. PROGRAMME D'ENTRETIEN 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) 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.
- le contrôle de la liaison corps-ailettes afin de vérifier le maintien de la fonction de sûreté des ailettes,
- Pour la version C de l'emballage, le contrôle de l'état du canister.

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 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, 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 International de l'Energie Atomique, collection Sécurité n°6, édition 1985 revue en 1990

<2>Règlement de transport des matières radioactives, norme de sûreté de l'Agence International de l'Energie Atomique, n° SSR-6, édition 2012

Pour ces deux références, les règles de conception et d'épreuves englobent celles des règlements applicables suivants :

- Accord européen 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) ;
- Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses (IT de l'OACI) ;
- 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) ;

## 12. GLOSSAIRE

REB : Réacteur à eau bouillante

REP : Réacteur à eau pressurisée

BWR : Boiling water reactor (= REB)

PWR : Pressurized water reactor (= REP)

$A_2$  : représente la quantité d'une matière radioactive sous forme « non spéciale » (donc potentiellement dispersable) qui occasionne 50 mSv de dose si on est exposé à un mètre durant 30 minutes.

$k_{\text{eff}}$  : Rapport du nombre de neutrons produits dans un milieu fissile par le nombre de neutrons perdus (par absorption ou fuite).  $k_{\text{eff}} < 1$  permet d'assurer qu'on n'a pas de réaction en chaîne.

Sv : Symbole du Sievert. Unité évaluant l'impact des rayonnements sur l'homme.

CSI : Indice de sûreté-criticité. Permet d'évaluer l'incidence du nombre de colis sur le risque de criticité. CSI = 0 signifie que même un nombre infini de colis ne peut engendrer d'accident de criticité.