



# DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1

Référence du document :  
CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-Unités-O4

Page 1/32

## DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1

FORMULAIRES ASSOCIES AU DOCUMENT	REFERENCE

### Résumé

Ce document présente l'analyse de sûreté de l'emballage TN-BGC 1, utilisé pour le transport par voies terrestre et aérienne de matières plutonifères ou uranifères non irradiées potentiellement fissiles.  
Les éléments présentés démontrent que le modèle de colis respecte la réglementation en vigueur.

NOM	V. PAUTROT	Cf. page suivante	M. BOUCHER	C. LEIB-PELLENC
FONCTION	Chargé d'affaires SGPE/GAET		Chef du GAET	Chef du SGPE
VISA				
	REDACTEUR	VERIFICATEURS	APPROBATEUR	ÉMETTEUR



# DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1

Référence du document :  
CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-Unités-O4


Page 2/32

## Liste des vérificateurs

Nom	Fonction	Visa
M. BOUCHER	Chef du GAET	
J. DANAN	Chargé d'affaires SGPE/GAET	


## Liste de diffusion

ENTITES	FONCTIONS	NOM
BDoc		
DTEL / SGPE	Chef de service	C. LEIB-PELLENC
DTEL / SGPE / GAET	Chef de groupe	M. BOUCHER
DTEL / SGPE / GAET	Chargé d'affaires	V. PAUTROT
DTEL / SGPE / GAET	Chargé d'affaires	J. DANAN

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 3/32


## HISTORIQUE DES VERSIONS PRECEDENTES

INDICE	DATE D'APPLICATION	OBJET DE LA VERSION
A	Cf. visa	Version originale


	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 4/32

## SOMMAIRE

<b>1. OBJET .....</b>	<b>6</b>
<b>2. REGLEMENTATION APPLICABLE.....</b>	<b>6</b>
<b>3. DEFINITION DE L'EMBALLAGE .....</b>	<b>6</b>
3.1 Description générale.....	6
3.1.1 Cage .....	8
3.1.2 Corps .....	8
3.1.3 Système de fermeture .....	8
3.1.4 Système amortisseur.....	9
3.2 Manutention et arrimage .....	9
<b>4. DEFINITION DES CONTENUS .....</b>	<b>10</b>
4.1 Forme physique.....	10
4.2 Forme chimique.....	10
4.3 Caractéristiques radiologiques .....	11
4.4 Puissance thermique.....	11
4.5 Masses de matières fissiles .....	12
4.6 Dispositions particulières.....	12
4.7 Aménagements internes .....	12
<b>5. DEFINITION DES FONCTIONS DE SURETE DU MODELE DE COLIS.....</b>	<b>13</b>
<b>6. ANALYSE DE LA RESISTANCE STRUCTURELLE .....</b>	<b>16</b>
6.1 Objectifs.....	16
6.2 Résultats.....	17
6.2.1 Effet des gradients thermiques.....	17
6.2.2 Résistance à une pression interne .....	17
6.2.3 Résistance des organes d'arrimage et de manutention.....	17
6.2.4 Epreuves représentatives des conditions normales de transport .....	18
6.2.5 Epreuves représentatives des conditions accidentelles de transport .....	18
6.2.6 Conclusion.....	19
<b>7. ANALYSE THERMIQUE.....</b>	<b>19</b>
7.1 Objectifs.....	19
7.2 Données d'entrée .....	20
7.3 Résultats.....	20
7.3.1 Conditions de transport de routine .....	20
7.3.2 Conditions normales et accidentelles de transport .....	20

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 5/32

<b>8. ANALYSE DU CONFINEMENT</b> .....	<b>21</b>
8.1 Objectifs.....	21
8.2 Données d'entrée .....	21
8.3 Résultats.....	22
<b>9. ANALYSE DE LA RADIOPROTECTION</b> .....	<b>23</b>
9.1 Objectifs.....	23
9.2 Données d'entrée .....	24
9.3 Résultats.....	24
<b>10. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE</b> .....	<b>25</b>
10.1 Objectifs.....	25
10.2 Données d'entrée .....	26
10.3 Définition du système d'isolement.....	26
10.4 Résultats.....	27
<b>11. ANALYSE DES RISQUES SUBIDIAIRES</b> .....	<b>27</b>
11.1 Risque lié au dégagement gazeux .....	28
11.1.1 Objectif .....	28
11.1.2 Données d'entrée .....	28
11.1.3 Résultats.....	28
11.2 Risque lié à la pyrophoricité .....	29
<b>12. EXPLOITATION DE L'EMBALLAGE</b> .....	<b>29</b>
12.1 Instructions d'utilisation .....	29
12.1.1 Manutention.....	29
12.1.2 Arrimage.....	29
12.1.3 Contrôles avant expédition.....	30
12.2 Instructions de maintenance .....	30
<b>13. SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE</b> .....	<b>31</b>
<b>14. CONCLUSION</b> .....	<b>32</b>

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 6/32

## 1. OBJET

Cette note présente l'analyse de sûreté de l'emballage TN-BGC 1 chargé de matières radioactives uranifères et/ou plutonifères (incluant l'américium et le neptunium).

Elle justifie la conformité à la réglementation applicable :

- par voie routière de colis de type B(M)F, pour les matières plutonifères fissiles,
- par voies routière et aérienne de colis de type B(U)F, pour les matières uranifères fissiles,
- par voies routière et aérienne de colis de type B(U), pour les matières uranifères et/ou plutonifères non fissiles ou fissiles exceptées.

## 2. REGLEMENTATION APPLICABLE

- [1] SSR-6 (Edition de 2018) – AIEA – Règlement de transport des matières radioactives – Prescriptions de sûreté particulières
- [2] Accord international relatif au transport des marchandises Dangereuses par Route (ADR) en vigueur
- [3] Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (arrêté TMD)
- [4] Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses (IT de l'OACI)
- [5] Instruction du 26 juin 2008 relative aux règles techniques et procédures administratives applicables au transport commercial par aéronef et le règlement CE N°859/2008 du 20 août 2008 (EU OPS1)

## 3. DEFINITION DE L'EMBALLAGE

### 3.1 DESCRIPTION GENERALE

L'emballage TN-BGC1 est présenté sur la **Figure 1**. Il est constitué :

- d'une cage dont la structure est formée de tubes en aluminium soudés,
- d'un corps recevant dans sa cavité un aménagement interne décrit au paragraphe 5.7; ce corps est constitué d'une virole et d'un fond, entourés d'un mélange à base de résine assurant la protection neutronique et thermique, et comporte à sa base un amortisseur en bois ; le corps est relié à la cage par des pattes de fixation soudées sur le corps et vissées sur la cage,
- d'un système de fermeture de la cavité du corps comportant essentiellement un bouchon, une bague de serrage en bronze et une bague baïonnette,
- d'un capot amortisseur protégeant l'emballage en cas de chute du côté du bouchon.



## DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1

Référence du document :  
CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-Unités-O4

Page 7/32

Les dimensions principales nominales de l'emballage sont les suivantes :

- section de la cage : 600 x 600 mm<sup>2</sup> ;
- hauteur hors tout de la cage : 1 821 mm ;
- diamètre du corps en partie courante : 295 mm ;
- diamètre du capot : 466 mm ;
- hauteur hors tout du corps équipé du capot : 1 808 mm.

La masse maximale admissible de l'emballage chargé en transport est de 396 kg ; sa masse à vide est de 280 kg.

Les dimensions nominales de la cavité sont :

- longueur : 1 475 mm,
- diamètre : 178 mm

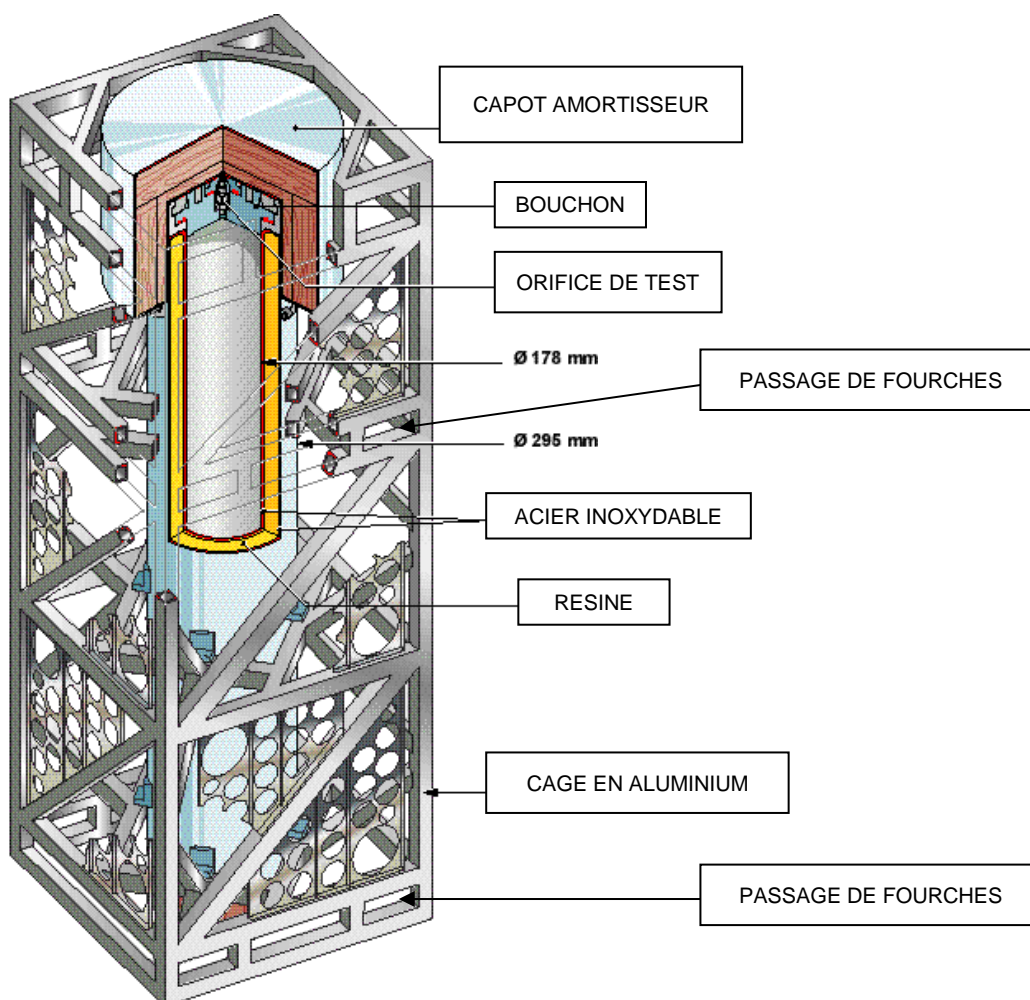



Figure 1 : Schéma de l'emballage TN-BGC 1

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 8/32

### 3.1.1 Cage

La cage est une structure en tubes d'aluminium de 30 x 30 mm et d'épaisseur 2 mm.

Des passages renforcés par des cornières sont aménagés à deux niveaux pour permettre le passage des fourches d'un chariot élévateur et ainsi de manutentionner l'emballage.

À l'intérieur de la cage, des cadres sont prévus pour relier la cage au corps. Ils sont soudés sur les montants verticaux de la cage et percés pour permettre le passage des vis de fixation des pattes du corps.

### 3.1.2 Corps

La cavité, de diamètre intérieur utile 178 mm et de longueur utile 1 475 mm, est formée d'une virole en acier inoxydable de 6 mm d'épaisseur (assurant l'essentiel du blindage gamma radial) et d'un fond d'épaisseur 8 mm également en acier inoxydable.

Une deuxième virole en acier inoxydable de 1,5 mm d'épaisseur et de 292 mm de diamètre intérieur délimite avec la première virole un espace rempli de résine chargée (épaisseur minimale : 48 mm) qui joue le rôle d'absorbant neutronique et d'isolant thermique actif.

Le fond est complété, de l'intérieur de l'emballage vers l'extérieur, par une plaque de répartition de 25 mm en acier à haute limite élastique, une couche de 24 mm de résine, un fond intermédiaire, un disque amortisseur en bois, une tôle en acier inoxydable.

En partie supérieure une bride usinée en acier inoxydable est soudée sur les deux viroles pour recevoir le système de fermeture décrit ci-après.

### 3.1.3 Système de fermeture


La fermeture de la cavité du corps est assurée par un système constitué de trois pièces principales : un bouchon, une bague de serrage et une bague baïonnette.

Le bouchon est maintenu en appui sur le corps par l'intermédiaire de la bague de serrage. Celle-ci est vissée dans la bague baïonnette qui prend elle-même appui sur la bride du corps.

Au centre du bouchon, un perçage équipé d'un raccord rapide permet l'éventuelle mise en dépression de l'emballage avant expédition et la remise à la pression atmosphérique à l'arrivée avant déchargement. Cet orifice est fermé par un capuchon.

L'étanchéité du bouchon sur le corps et du capuchon de raccord rapide est assurée par des joints internes toriques. Ces joints internes sont toujours doublés par des joints externes. Les espaces compris entre les joints communiquent tous deux avec un orifice de contrôle commun permettant de vérifier l'étanchéité du système de fermeture.



	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 9/32

### 3.1.4 Système amortisseur


Un capot amortisseur étanche coiffe la tête du corps et le système de fermeture.

Il est constitué par deux caissons en tôle d'acier inoxydable remplis, pour celui qui est le plus proche du corps, par de la résine et, pour le second, par du bois (balsa et peuplier).

Le capot est fixé sur le corps au moyen, d'une part de deux tiges coudées qui viennent se loger dans des pattes solidaires du corps, d'autre part de deux grenouillères, dont les extrémités sont vissées sur le capot et soudées sur le corps de l'emballage.

### 3.2 MANUTENTION ET ARRIMAGE

La cage permet la manutention et l'arrimage de l'emballage en position horizontale ou verticale.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 10/32

## 4. DEFINITION DES CONTENUS

L'emballage TN-BGC 1 répond aux prescriptions réglementaires [1] à [3] applicables:

- aux emballages du type B(U)F pour matières uranifères fissiles, pour le transport par route :
  - de crayons ou tronçons de crayons ou pastilles d'oxyde d'uranium (contenu n°7),
  - de matières uranifères solides (contenu n°11),
  - de combustible TRIGA (contenu n°26),
  - de nitrate d'uranyle (contenu n°40),
  - d'éléments combustibles ou de plaques U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>Al (contenu n°50),
  - de combustibles Fort Saint Vrain (contenu n°52),
- aux emballages du type B(M)F pour matières plutonifères fissiles, pour le transport par route :
  - de crayons ou tronçons de crayons ou pastilles d'oxyde mixte uranium-plutonium (contenu n°8),
  - d'oxyde de plutonium (contenu n°9),
  - d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (contenu n°10),
  - de tétrafluorure de plutonium ou d'oxyde de fluorure de plutonium (contenu n°18),
  - de nitrure mixte d'uranium-plutonium (contenu n°19),
  - de plutonium sous forme métallique (contenu n°20),
  - de plutonium, d'uranium, de neptunium, d'américium ou d'un mélange de ces matières (contenu n°23),
- aux emballages du type B(U) pour matières radioactives non fissiles ou fissiles exceptées, pour le transport par route :
  - de plutonium, d'uranium, de neptunium, d'américium ou d'un mélange de ces matières sous (contenu n°53),
  - d'aiguilles (U,Pu,Am)O<sub>2</sub> (contenu n° 60).


Il répond en complément aux exigences [4] et [5] pour le transport par voie aérienne des contenus n°11, 26, 40, 52 et 60.

### 4.1 FORME PHYSIQUE

La matière radioactive se présente sous forme de solide pulvérulent ou compact et éventuellement sous forme de liquide (contenu n°40).

### 4.2 FORME CHIMIQUE

La matière radioactive se présente principalement sous forme d'oxyde ou de métal, mais également sous forme de sels, de nitrure, de fluorure ou de carbure. Elle peut être alliée avec d'autres éléments chimiques (Al, Mo, Fe, Si, Zr, etc.)

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	Indice : A  Page 11/32

### 4.3 CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES

L'activité du contenu doit être telle que, compte tenu de la nature et de l'énergie du rayonnement émis, les limites réglementaires de débit de dose autour du colis ne soient pas dépassées.

La présence d'américium 241 et de neptunium est autorisée dans les limites de 50 g ou, pour l'américium 241, dans la limite d'un ratio :

- $Am/(Pu+Am) \leq 6\%$  (en masse de métal lourd),
- $Am/(U+Pu+Am) \leq 4,1\%$  (en masse de métal lourd).

Pour les contenus plutonifères, le taux de fuite contrôlé avant transport est limité en fonction de l'activité spécifique du contenu comme précisé dans le tableaux ci-dessous :

Activité spécifique maximale ( $A_2/g$ )	Taux de fuite avant transport en $Pa.m^3.s^{-1}$ (SLR)
23	$2.10^{-4}$
46	$1.10^{-4}$
95	$5.10^{-5}$
486	$1.10^{-5}$

L'activité spécifique maximale du contenu n°60 est de 19  $A_2/g$ .

L'activité spécifique des contenus uranifères n'est pas limitée.

L'activité spécifique maximale du contenu n°40 est limitée à :


- 40,4  $A_2/m^3$  pour un transport par voie aérienne,
- 75,6  $A_2/m^3$  pour un transport par voie terrestre.

Dans le cas d'un transport aérien, l'activité du contenu est limitée à 3 000  $A_2$ .

### 4.4 PUISSANCE THERMIQUE

La puissance thermique des contenus uranifères est négligeable.

La puissance thermique maximale des contenus plutonifères est limitée à 60 W.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 12/32

#### 4.5 MASSES DE MATIERES FISSILES

Les masses de matières fissiles sont limitées en fonction des spécificités de chaque contenu afin de respecter les critères de sous criticité usuellement admis.

Pour certains contenus, les matières polymères plus hydrogénées que l'eau sont autorisées en quantités limitées ou quelconques.

#### 4.6 DISPOSITIONS PARTICULIERES

Pour les contenus plutonifères faisant l'objet d'un agrément de type B(M)F, en présence de matières polymères et/ou d'eau, afin de limiter la production de gaz inflammables dans la cavité du colis et de disposer d'une marge pour faire face à d'éventuels aléas pendant le transport, l'expéditeur prend les dispositions nécessaires pour que la durée prévue pour le transport n'excède pas 50 j :

- minoré de 7 jours pour un transport sur le territoire national,
- minoré de 14 jours pour un transport sur le continent européen.


Pour le contenu n°52, le transport n'est autorisé que si les couples « masse d'uranium » / « volume libre minimal dans l'aménagement interne » satisfont les conditions spécifiées.

Dans le cas où des poudres (ou toute autre forme finement divisée) métalliques sont transportées, il est procédé à un inertage de tous les volumes libres de la cavité de l'emballage.

#### 4.7 AMENAGEMENTS INTERNES

Chaque contenu est obligatoirement conditionné dans un ou plusieurs aménagements internes en acier inoxydable équipés de joints et calés axialement et radialement dans la cavité de l'emballage par un système d'entretoise en aluminium. Ces aménagements internes possèdent les caractéristiques nominales suivantes :

- diamètre interne inférieur ou égal à 120 mm,
- parois d'épaisseur minimale 2 mm.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 13/32


## 5. DEFINITION DES FONCTIONS DE SURETE DU MODELE DE COLIS

L'emballage TN-BGC 1, de type B Fissile, est destiné au transport des matières radioactives non irradiées sous diverses formes. L'emballage est conçu de manière à garantir les fonctions de sûreté suivantes :

- la dissipation de la puissance thermique interne,
- le confinement,
- la protection radiologique,
- le maintien de la sous-criticité,
- la protection contre les chocs,
- la protection contre les effets de l'incendie.

Les fonctions de sûreté à garantir et les éléments importants pour la sûreté associée sont :

- la dissipation de la puissance thermique interne, assurée par rayonnement entre les matières radioactives et la virole interne du corps, par conduction dans le corps et échanges thermiques entre le corps et l'air ambiant,
- le confinement, assuré par l'enveloppe de confinement et notamment par le bouchon et le capuchon de raccord rapide équipés de joints internes assurant l'étanchéité,
- la protection radiologique, assurée essentiellement par :
  - le blindage latéral en acier inoxydable des viroles interne et externe contre le rayonnement gamma et par la résine contre le rayonnement neutron,
  - le blindage de fond en acier inoxydable du fond de la cavité et des deux tôles de fermeture ainsi que par l'acier au carbone de la plaque de répartition contre le rayonnement gamma et par la résine et le bois contre le rayonnement neutron,
  - le blindage de tête en acier inoxydable du bouchon et des tôles du capot contre le rayonnement gamma et par la résine et le bois contre le rayonnement neutron,
- la maîtrise de la sous-criticité, assurée par le système d'isolement composé des éléments décrits pour chaque contenu.,
- la protection contre les chocs, assurée par le capot amortisseur et la cage,
- la protection contre les effets de l'incendie, principalement assurée par le bois et la résine. Le corps et le capot sont équipés de bouchons fusibles qui évitent les risques de surpression dus à la vapeur ;

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	Indice : A  Page 14/32

Le tableau ci-dessous précise les paramètres à garantir pour chaque élément important pour la sûreté

Fonctions de Sûreté	Éléments importants pour la sûreté	Paramètres à garantir
Dissipation de la puissance thermique interne	Rayonnement entre les matières radioactives et la virole interne	Jeux d'airs dans la cavité
	Conduction dans le corps	Matériaux et épaisseur des viroles internes et externes Composition, densité et épaisseur de résine
	Echanges thermiques entre le corps et l'air ambiant	Matériaux de la virole externe
Confinement	Joint toriques internes d'étanchéité	Performances et caractéristiques des joints
	Enceinte de confinement	Cavité interne (constituée de virole interne, du fond du corps et de leurs soudures circonférentielles ainsi que du bouchon et du capuchon de raccord rapide) intègre
Protection radiologique	Blindage latéral	Matériaux et épaisseur des viroles interne et externe contre le rayonnement gamma Composition, densité et épaisseur de résine contre le rayonnement neutron
	Blindage axial (fond)	Matériaux et épaisseur du fond de la cavité et des deux tôles de fermeture, ainsi que de la plaque de répartition contre le rayonnement gamma Composition, densité et épaisseur de résine + densité humidité et épaisseur du bois contre le rayonnement neutron
	Blindage axial (tête)	Matériaux et épaisseur du bouchon et des tôles du capot contre de rayonnement gamma Composition, densité et épaisseur de résine + densité, humidité et épaisseur du bois contre le rayonnement neutron



**DEMONSTRATION DE SURETE  
DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1**

Référence du document :  
CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005

DSS


Indice : A

Plan de classement : DTEL-Unités-O4

Page 15/32

Fonctions de Sûreté	Éléments importants pour la sûreté	Paramètres à garantir
Maîtrise de la sous criticité (transport non aérien)	Cage (en CNT) Cavité interne Viroles interne et externe Résine borée Aménagement interne Entretoises de calage Matières polymères de concentration en hydrogène supérieure à celle l'eau Matière fissile	Largeur (*) Diamètre maximal Acier inoxydable Composition, densité et épaisseur Diamètre interne maximal et épaisseur de parois minimale Matériaux et dimensions Autorisées, limitées ou interdites (*) Masse, composition, forme et/ou nature physico chimique, (*)
Maîtrise de la sous criticité (transport aérien)	Acier, eau et carbone de l'emballage Matière fissile Matières polymères de concentration en hydrogène inférieure ou égale à celle l'eau Matières polymères de concentration en hydrogène supérieure à celle l'eau	Masses maximales Masse, composition, forme et/ou nature physico chimique (*) Limitées (*) Limitées ou interdites (*)
Protection contre les chocs	Capot amortisseur	Densité, humidité et épaisseur du bois Grenouillères + systèmes en U
	Cage	Matériau, géométrie et liaisons avec le corps
Protection contre les effets de l'incendie	Capot amortisseur	Densité, humidité et épaisseur du bois Grenouillères + systèmes en U
	Corps	Matériaux et épaisseur des viroles internes et externes Composition, densité et épaisseur de résine

(\*) Dépend du contenu

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 16/32

## 6. ANALYSE DE LA RESISTANCE STRUCTURELLE

### 6.1 OBJECTIFS

Ce paragraphe présente la résistance structurelle du modèle de colis constitué de l'emballage TN-BGC 1 chargé de son contenu et justifie qu'elle répond aux exigences réglementaires concernant les colis de type B pour le transport de matières radioactives fissiles.

L'analyse structurelle de l'emballage est basée sur une masse de colis de 396 kg, soit un chargement de 116 kg qui correspond à la masse maximale admissible pour le contenu.

La résistance mécanique du modèle de colis est examinée vis-à-vis des points suivants :


- efforts et contraintes générés par les différents contenus qu'il peut transporter :
  - gradients thermiques,
  - pression interne amenée par une élévation de température et, éventuellement, par le dégagement de gaz dans l'enceinte de confinement,
  - surpression interne liée à une explosion due à l'hydrogène libéré dans la cavité par radiolyse et/ou thermolyse des matières hydrogénées,
- opérations habituelles de manutention et de transport,

compte tenu des conditions de température et de pression ambiante définies par la réglementation.

La conformité du modèle de colis est également examinée vis-à-vis des épreuves réglementaires spécifiées par la réglementation, qui sont les suivantes :

- en conditions normales de transport :
  - l'épreuve d'aspersion d'eau,
  - l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 1,2 m,
  - l'épreuve de gerbage,
  - l'épreuve de pénétration,
- en conditions accidentelles de transport :
  - l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 9 m sur cible indéformable, applicable pour tous les contenus contenant moins de 1000 A2,
  - l'épreuve d'écrasement dynamique par une masse de 500 kg chutant de 9 m, applicable pour tous les contenus contenant plus de 1000 A2,
  - l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 1 m sur poinçon,
  - l'épreuve d'immersion sous une hauteur d'eau de 15 m pendant 8 heures,
  - l'épreuve poussée d'immersion sous une hauteur d'eau de 200 m pendant 1 heure, qui s'applique pour certains contenus contenant une activité de plus de  $10^5$  A2.



	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 17/32

Les études mécaniques s'appuient sur des calculs analytiques et numériques et sur des essais de chute réalisés avec plusieurs emballages du parc.

## 6.2 RESULTATS

### 6.2.1 Effet des gradients thermiques

L'étude est menée pour un gradient thermique de 41°C. Les contraintes déterminées sont très inférieures à la limite élastique de l'acier inoxydable utilisé.

### 6.2.2 Résistance à une pression interne

Les études justifient que l'emballage et les aménagements internes conservent leur intégrité et restent étanches lorsqu'ils sont soumis à une pression interne relative de respectivement 10 bars et 6,8 bars, même en cas d'explosion susceptible de se produire du fait des dégagements d'hydrogène provenant de la décomposition par radiolyse et/ou thermolyse des matières polymères présentes dans la cavité et de l'eau sorbée sur la matière radioactive. Pour certains contenus, les temps de transport sont limités afin de ne pas dépasser une pression interne relative de 6,8 bars.


### 6.2.3 Résistance des organes d'arrimage et de manutention

Les contraintes maximales dans la cage lors des opérations de manutention, déterminées en considérant une accélération de 2g, sont inférieures au critère d'admissibilité retenu qui est inférieur de 33% à la limite élastique du matériau.

La résistance de la cage est étudiée pour un transport par voie terrestre et par voie aérienne. Les contraintes maximales dans la cage soumise aux accélérations suivantes :

- accélération longitudinale de 1g combinée avec accélération verticale (incluant la gravité) de 1g +/- 0,3g vers le bas,
- accélération latérale de 0,7 g combinée avec accélération verticale (incluant la gravité) de 1g +/- 0,3 g vers le bas,

sont inférieures au critère d'admissibilité retenu qui est inférieur de 33% à la limite élastique du matériau. Pour un transport par voie terrestre, l'analyse en fatigue démontre que le nombre minimal de cycles admissibles est satisfaisant en regard des conditions d'exploitation de l'emballage.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 18/32

## 6.2.4 Epreuves représentatives des conditions normales de transport

### 6.2.4.1 Aspersion d'eau

La présence d'enveloppes en acier inoxydable étanches permet d'assurer l'herméticité de l'emballage à la pénétration de l'eau. Aucun des matériaux susceptibles d'être mouillés (acier, joint) ne peut être dégradé par l'eau. Aucune dégradation de l'emballage ne peut résulter d'une telle épreuve.

### 6.2.4.2 Compression - gerbage

L'étude est réalisée pour démontrer que le colis supporte 5 fois sa charge. Il est justifié que les contraintes mécaniques dans les montants de la cage sont très faibles écartant tout risque de flambage. Le corps de l'emballage, suspendu à l'intérieur de la cage, ne supporte pas de charge au cours de cette épreuve car celle-ci est intégralement reprise par la cage. Aussi, cette épreuve n'a aucune influence sur les fonctions de sûreté du modèle de colis.

### 6.2.4.3 Pénétration

Cette épreuve ne crée aucun dommage significatif sur la surface externe de l'emballage quel que soit le point d'impact.

### 6.2.4.4 Chutes libres d'une hauteur de 1,2 m

Les campagnes d'essais de chute montrent que l'emballage et ses aménagements internes résistent à cette épreuve sans altération de leurs fonctions de sûreté.


## 6.2.5 Epreuves représentatives des conditions accidentelles de transport

### 6.2.5.1 Epreuves de chute

Les différentes campagnes d'essais de chute, réalisés à température ambiante, et confortées par des simulations numériques réalisées à -40°C et à +90°C, montrent que le modèle de colis résiste aux épreuves mécaniques réglementaires (chute de 1 m sur poinçon et chutes de 9 mètres). En particulier, le taux de fuite est maintenu et la géométrie de l'enceinte de confinement et des aménagements internes est conservée.

### 6.2.5.2 Epreuve d'immersion

L'emballage immergé sous 15 m d'eau subit une pression relative externe de 1,5 bar, et de 20 bar sous 200 m. Cette dernière pression est retenue de façon enveloppe dans les calculs qui démontrent que l'enveloppe de confinement résiste à une pression de 20 bar relatifs sans que les matériaux de ses constituants ne soient sollicités au-delà de leur limite élastique.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 19/32

Par conséquent, le modèle de colis reste bien étanche à la suite des épreuves d'immersion.

## 6.2.6 Conclusion

La résistance structurelle de l'emballage TN-BGC 1 et de ses aménagements internes satisfont aux prescriptions réglementaires pour un modèle de colis de type B contenant des matières fissiles dans toutes les conditions de transport.

## 7. ANALYSE THERMIQUE

### 7.1 OBJECTIFS

Ce paragraphe présente l'analyse du comportement thermique de l'emballage TN-BGC 1, ainsi que des contenus qu'il transporte, en conformité avec la réglementation [1] pour les colis de type B. Afin de couvrir l'ensemble des contenus et des configurations existantes, les calculs thermiques sont réalisés sur des configurations enveloppes qui couvrent tous les cas envisageables.

Dans les études, il est tenu compte :


- de la puissance maximale susceptible d'être dégagée par le contenu,
- des caractéristiques des différents aménagements internes et contenus,
- des conditions normales et accidentelles de transport définies par la réglementation.

Les prescriptions réglementaires et leurs critères d'acceptation associés, pour les CNT et les CAT sont résumés ci-dessous :

- en CNT, sans ensoleillement et à la température ambiante de 38°C, la température des surfaces accessibles du colis doit rester inférieure à 50°C (85°C en transport sous-utilisation exclusive),
- en CNT :
  - pour un transport par voie terrestre, avec l'ensoleillement réglementaire défini dans [1] et à la température ambiante de 38°C,
  - pour un transport par voie aérienne, sans ensoleillement et à la température ambiante de 38°C.

Les températures maximales atteintes par les constituants du colis doivent rester dans les domaines d'utilisation de leur matériau constitutif et permettre le maintien des performances d'étanchéité du modèle de colis.

- en CAT, suite à l'épreuve de l'incendie (période d'exposition de 30 minutes à un feu de température moyenne de flamme d'au moins 800°C), suivie d'une phase de refroidissement, définie par l'exposition du colis à température ambiante de 38°C et sous ensoleillement réglementaire [1], les performances de sûreté doivent être maintenues.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 20/32

## 7.2 DONNEES D'ENTREE

Le transport peut se dérouler par voie terrestre ou aérienne.

Le colis peut être transporté verticalement ou horizontalement. Il est transporté uniquement verticalement en caisson adapté à la protection physique. La puissance dégagée par le contenu peut varier de 0 à 60 W.

La chaleur est dissipée par convection naturelle et rayonnement dans l'air ambiant, et transmise par conduction à travers les principaux éléments du corps de l'emballage

En CTR et en CNT, le colis est considéré isolé ou en caisson. Il est toujours modélisé vertical et sans déformations. La cage n'est pas modélisée et est remplacée par de l'air dans les calculs en caisson.

En CAT, la géométrie de l'emballage est modifiée pour tenir compte des conséquences des épreuves de mécaniques représentatives des CAT (Cf. paragraphe 6). De manière pénalisante, le colis est étudié isolé, sans le caisson de protection physique, qui est supposé avoir disparu. Durant la phase de refroidissement, le colis est considéré à l'horizontale.

## 7.3 RESULTATS

### 7.3.1 Conditions de transport de routine

Les températures calculées sur les surfaces accessibles du modèle de colis en CTR sont inférieures à 50°C pour les contenus dégageant une puissance thermique négligeable (faisant l'objet d'un agrément de type B(U)).


Elles sont supérieures à 50°C et inférieures à 85°C pour les contenus plutonifères (faisant l'objet d'un agrément de type B(M)), ce qui est acceptable mais impose un transport sous utilisation exclusive pour ces contenus.

### 7.3.2 Conditions normales et accidentelles de transport

En CNT et en CAT, les températures atteintes par les divers constituants du modèle de colis sont acceptables pour les matériaux qui le composent, notamment les joints de confinement, en transport terrestre et aérien.

La résine est toutefois soumise en surface à des températures de l'ordre de 800°C. Des essais de feu, menés par le propriétaire de cette résine, montrent que, soumise à une température extérieure de 800°C, la résine carbonise en surface et est dégradée sur une épaisseur de 10 mm, le reste de la résine gardant ses propriétés neutrophages nominales.

Les températures atteintes par les gaz de la cavité permettent de déterminer la surpression retenue dans l'analyse du relâchement (Cf. paragraphe 8).

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 21/32

Les températures atteintes par les matières polymères sont retenue dans l'analyse des risques subsidiaires (Cf. paragraphe 11).

Compte tenu des configurations de calcul étudiés :

- le transport en caisson de 24 colis est autorisé pour les contenus uranifères et pour les contenus n°53 et 60,
- le transport en caisson de 12 colis est autorisé pour les contenus plutonifères dégageant une puissance thermique maximale de 60 W / colis.

## 8. ANALYSE DU CONFINEMENT

### 8.1 OBJECTIFS

L'objet de ce paragraphe est de démontrer que le modèle de colis satisfait aux exigences et critères réglementaires, issus de la réglementation applicable du présent dossier de sûreté, relatifs aux taux admissibles de relâchement de radioactivité.

Selon les exigences issues de la réglementation applicable, les valeurs maximales admissibles de taux de relâchement d'activité d'un colis de type B sont :

- en CNT :  $10^{-6}$  A2/h,
- en CAT : 1 A2/semaine.

Le relâchement d'activité est estimé pour chaque orifice (bouchon principal et capuchon d'orifice) et l'activité totale relâchée est comparée aux critères réglementaires énoncés ci-dessus.


L'étude de confinement analyse également :

- le taux de remplissage des gorges de joints aux températures atteintes par les joints en conditions normales et accidentelles de transport,
- le taux de compression des joints à basse température,

afin de garantir que les joints conservent leur propriétés d'étanchéité à -40°C jusqu'à la température maximale déterminée en conditions accidentelles de transport.

### 8.2 DONNEES D'ENTREE

Les pressions motrices qui, associées au critère d'étanchéité vérifié avant transport, permettent de quantifier l'activité relâchée sont déterminées à partir des températures de la cavité de l'emballage déterminées au paragraphe 7 à laquelle s'ajoute la pression issue des dégagements gazeux (Cf. paragraphe 11).

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 22/32

La pression extérieure considérée est de 0,6 bar pour un transport par voie terrestre et de 0,05 bar pour un transport par voie aérienne.

La méthodologie est basée sur la résolution de l'équation de :

- Knudsen, pour les contenus solides,
- Poiseuille, pour les contenus liquides.

Les valeurs maximales de concentration d'aérosols dans la cavité du colis considérées dans l'étude, valeurs obtenues sur la base d'une compilation de résultats expérimentaux, sont de :

- $10^{-3}$  g/m<sup>3</sup> en conditions normales de transport,
- 9 g/m<sup>3</sup> durant 30 minutes puis  $10^{-1}$  g/m<sup>3</sup> le reste de la semaine, en conditions accidentelles de transport.


### 8.3 RESULTATS

Les valeurs d'activité spécifique maximale à garantir pour respecter les critères en fonction du critère contrôlé avant transport sont précisées dans le tableau ci-dessous pour des matières plutonifères, hors contenu n°60, en présence d'une quantité limitée d'eau et/ou de matières polymères :

Activité spécifique maximale (A <sub>2</sub> /g)	Taux de fuite avant transport en Pa.m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> (SLR)
23	$2.10^{-4}$
46	$1.10^{-4}$
95	$5.10^{-5}$
486	$1.10^{-5}$

Pour les matières uranifères et pour le contenu n°60, le critère d'étanchéité contrôlé avant transport est fixé à  $5.10^{-4}$  Pa.m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> SLR. L'activité spécifique maximale à garantir pour respecter les critères réglementaires est de 19 A<sub>2</sub>/g (déterminée de façon conservative dans le cas pénalisant d'un transport aérien).

Dans le cas particulier du contenu n°40, le critère d'étanchéité contrôlé avant transport est fixé à  $1.10^{-5}$  Pa.m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> SLR. L'activité spécifique maximale à garantir pour respecter les critères réglementaires est de 75,6 A<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> dans le cadre d'un transport par voie terrestre et de 40,4 A<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> dans le cadre d'un transport par voie aérienne.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 23/32

Le taux maximal de remplissage des gorges de joint du bouchon et du capuchon d'orifice, déterminé en considérant les tolérances maximales pour les joints et minimales pour les gorges, est précisé ci-dessous.

	Bouchon	Capuchon d'orifice
CNT	93,4 %	95,5 %
CAT	97,8 %	100 %

Le risque d'extrusion des joints délimitant l'enceinte de confinement de l'emballage est ainsi maîtrisé.

Le taux minimal de compression des joints à -40°C est précisé ci-dessous.

Bouchon	Capuchon d'orifice
18,3 %	14,3 %

Le taux de compression des joints à basse température est satisfaisant. Le maintien des propriétés d'étanchéité à basse température est maîtrisé.

## 9. ANALYSE DE LA RADIOPROTECTION

### 9.1 OBJECTIFS


L'objet de ce paragraphe est :

- d'évaluer l'efficacité du blindage du colis constitué par l'emballage TN-BGC1 muni de ses aménagements internes et chargé de différents contenus,
- de justifier que les critères réglementaires [1] de débit de dose sont respectés.

Les limites réglementaires concernant le débit de dose total (neutrons et gamma) dans le cadre d'un transport de matières radioactives sous utilisation exclusive sont :

- en conditions de transport de routine (CTR) :
  - 10 mSv.h<sup>-1</sup> au contact des parois du colis,
  - 2 mSv.h<sup>-1</sup> en tout point de la surface externe du véhicule,
  - 0,1 mSv.h<sup>-1</sup> à 2 mètre de la surface externe du véhicule (\*),
- en conditions accidentelles de transport (CAT) :
  - 10 mSv.h<sup>-1</sup> à 1 mètre des parois du colis.

En CNT, il ne doit pas être constaté d'augmentation de plus de 20% du débit de dose maximal sur toute surface externe du colis.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS  <u>Indice</u> : A
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	Page 24/32

## 9.2 DONNEES D'ENTREE

Trois contenus, représentatifs des contenus plutonifères autorisés dans le modèle de colis, sont étudiés :

- le contenu n°1 constitué de 50 g d'américium 241 sous forme quelconque,
- le contenu n°2 constitué de 5 kg de Pu sous forme d'oxyde contenant 6 % en masse d'américium 241,
- le contenu n°3 constitué de 17 kg d'U,Pu sous forme d'oxyde de teneur en Pu/(U+Pu) de 32 % et dont l'uranium est appauvri, contenant 4,1% en masse d'américium 241.

Les contenus uranifères autorisés dans le modèle de colis sont de facto couverts par ces contenus.

En conditions de routine et en conditions normales de transport, le modèle de colis est considéré intègre.

En conditions accidentelles de transport, conformément aux conclusions des paragraphes 6 et 7, la résine du corps de l'emballage est supposée avoir disparu sur une épaisseur de 15 mm et le capot n'est pas modélisé.

Pour le contenu n°1, la source est considérée sous forme de poudre avec peu d'autoabsorption ou sous forme compacte pour prendre en considération les neutrons de réaction. Elle est positionnée soit en fond de cavité soit le long de la cavité. En CTR comme en CAT, l'aménagement interne et les cales ne sont pas modélisés.

Pour les contenus n°2 et 3, la source est « condensée » et positionnée en fond de l'aménagement interne, centré radialement par des cales en aluminium dans la cavité de l'emballage. Les cales ne sont pas modélisées en CAT.


## 9.3 RESULTATS

Les débits de dose maximaux sont obtenus pour le contenu n°2. Ils sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

		Débit de dose évalué (mSv/h)	Critère pour un transport sous utilisation exclusive (mSv/h)	
			Colis	Surface externe véhicule
CTR	Contact du colis (axial bas)	2,334	10	2 (*)
	Contact du colis (axial haut et radial)	0,853		
	2 m du colis	0,019		0,1 (*)
CAT	1 m du colis	0,098	10	

(\*) Le respect de ces critères est justifié en considérant de façon conservatrice les débits de dose déterminés au contact et à 2 m du colis



	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 25/32

Les exigences réglementaires de limitation débit de dose en utilisation exclusive sont respectés :

- en CTR :
  - au contact du colis,
  - au contact des parois latérales et supérieures du véhicule,
  - à 2 mètres de la surface externe du véhicule,
- en CAT, avec des marges conséquentes pour tous les contenus autorisés.

En CTR, le débit de dose calculé dépasse légèrement la limite réglementaire au contact du plancher du véhicule lorsque le point de calcul est situé au contact de la partie basse du colis. Cependant, compte tenu des hypothèses très pénalisantes retenues dans les calculs, ce léger dépassement est jugé acceptable.

En CNT, les protections radiologiques du modèle de colis ne sont pas dégradées suite aux épreuves représentatives des conditions normales de transport. De plus, du fait des hypothèses de modélisation retenues dans les calculs, les débits de dose maximaux déterminés en CTR ne seraient pas impactés par un éventuel déplacement du contenu dans la cavité de l'emballage.

Le respect du critère d'augmentation du débit de dose au contact du colis limité à 20% du débit de dose maximal déterminé en conditions de routine est acquis.

## 10. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE

### 10.1 OBJECTIFS


Ce paragraphe justifie la sous criticité du modèle de colis TN-BGC 1, chargé de matières fissiles dans les conditions normales et accidentelles de transport pour un transport par voie terrestre et pour un transport par voie aérienne pour les contenus n°11, 26, 40 et 52.

L'analyse de la sûreté criticité est basée sur le calcul du coefficient de multiplication ( $k_{eff}$ ) d'un colis isolé et d'un réseau de colis, dans les conditions réglementaires de modération et de réflexion.

Pour les transports par voie terrestre, trois configurations sont étudiées conformément à la réglementation :

- colis isolé résultant des épreuves simulant les conditions normales et les conditions accidentelles de transport. Dans ce cas le colis est réfléchi de toutes parts par 20 cm d'eau ;
- réseau de 5N colis en CNT réfléchi par 20 cm d'eau ;
- réseau de 2N colis en CAT réfléchi par 20 cm d'eau; la modération entre les colis est quelconque,

N représentant le nombre maximal de colis admissible sur le moyen de transport. Les configuration 5N colis en CNT et 2N colis en CAT peuvent être couvertes par un réseau infini de colis en CAT ou un réseau de 5N colis en CAT.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	Indice : A  Page 26/32

Pour les transports par voie aérienne, les études sont menées en tenant compte des éléments suivants :

- modélisation du milieu fissile sous forme de sphère,
- modération due aux matériaux hydrogénés de l'emballage (eau résiduelle et éléments carbonés du bois) et aux matériaux hydrogénés présents dans le contenu (polyuréthane, CH<sub>2</sub>),
- réflexion due à l'acier constituant l'emballage,
- réflexion par une couronne d'eau de 20 cm d'épaisseur.

Les critères d'admissibilité retenus sont les suivants :

- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,95 - \Delta k_{\text{eff}}$  pour un colis isolé et pour le transport aérien,
- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,98 - \Delta k_{\text{eff}}$  pour un réseau de colis.

Ces marges supplémentaires ( $\Delta k_{\text{eff}}$ ) sont appliquées pour certains milieux pour lesquels le nombre de benchmarks est insuffisant vis à vis du degré de qualification des codes utilisés.

## 10.2 DONNEES D'ENTREE

En CNT, le colis est modélisé intègre.

En CAT :


- la cage et les capots sont négligés,
- la résine est brûlée sur une épaisseur de 15 mm.

Dans toutes les conditions, il y a pénétration d'eau dans tous les espaces vides du colis, y compris dans les aménagements internes qui sont dans la cavité de l'emballage.

Différents milieux fissiles, enveloppes des contenus définis au paragraphe 5, sont étudiés. Les milieux fissiles sont repartis dans la cavité des aménagements internes autorisés (dont l'intégrité est garantie suite aux épreuves représentatives des CAT) et modélisés sous forme homogène et/ou hétérogène, modérés par une quantité quelconque d'eau. Pour certains contenus uranifères, le milieu fissile est modéré par une quantité limitée ou quelconque de polyéthylène.

## 10.3 DEFINITION DU SYSTEME D'ISOLEMENT

Pour un transport par voie terrestre, le système d'isolement permettant de garantir le maintien de la sous criticité du modèle de colis est constitué des éléments suivants :

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 27/32

- l'emballage : géométrie (diamètre maximal de la cavité de 181 mm), matériaux utilisés (acier inoxydable de la virole interne et externe de l'emballage), composition et épaisseur de la résine borée neutrophage (teneur en hydrogène et en bore, épaisseur de résine brûlée),
- le diamètre et l'épaisseur de l'aménagement interne en acier inoxydable,
- le système de calage qui délimite la position radiale occupée par la matière fissile,
- la cage de l'emballage (60 cm x 60 cm) qui assure le pas du réseau en configuration 5N colis en CNT (certains contenus seulement),
- la matière fissile : la limitation de la masse (certains contenus seulement), la forme physico chimique du milieu fissile (certains contenus seulement) et la teneur isotopique (certains contenus seulement),
- l'absence ou la présence en quantités limitées de matériaux hydrogénés de concentration en hydrogène supérieure à celle de l'eau (certains contenus seulement).

Pour un transport par voie aérienne, le système d'isolement permettant de garantir le maintien de la sous criticité du modèle de colis est constitué des éléments suivants :

- l'emballage : masse maximale d'acier de 340 kg, masse maximale d'eau de 2 kg et masse maximale de carbone de 2,5 kg,
- la matière fissile : la limitation de la masse et la forme physico chimique du milieu fissile (certains contenus seulement),
- l'absence de matériaux hydrogénés de concentration en hydrogène supérieure à celle de l'eau,
- la présence d'une quantité limitée de matériaux hydrogénés de concentration en hydrogène inférieure ou égale à celle de l'eau.


## 10.4 RESULTATS

Pour tous les contenus identifiés au paragraphe 5, les calculs mettent en évidence le respect des critères d'admissibilité précisés au paragraphe 10.1 dans la limite des masses maximales autorisées en transport.

## 11. ANALYSE DES RISQUES SUBIDIAIRES

L'objet de ce paragraphe est de démontrer que le modèle de colis constitué de l'emballage TN-BGC 1, chargé de ses différents contenus admissibles, permet de prévenir les risques :

- liés aux dégagements de gaz inflammables et leur accumulation dans le ciel de l'enceinte de confinement,
- de pyrophoricité des contenus métalliques pulvérulents.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 28/32

## 11.1 RISQUE LIE AU DEGAGEMENT GAZEUX

### 11.1.1 Objectif

Le risque lié au dégagement gazeux est entraîné par la production et l'accumulation dans le volume libre de l'enveloppe de confinement de gaz inflammables par :

- radiolyse :
  - de l'eau sorbée sur le plutonium,
  - des matières polymères,
en CNT et en CAT,
- thermolyse des matières polymères en CAT.

Ce paragraphe permet :

- pour les contenus faisant l'objet d'un agrément de type B(U)F et pour le contenu n°60, de vérifier que le taux d'hydrogène reste inférieur à la limite inférieure d'inflammabilité (Lli) de l'hydrogène dans l'air,
- pour les contenus faisant l'objet d'un agrément de type B(M)F et pour le contenu n°53, d'évaluer l'augmentation de pression interne liée à ces dégagements et de justifier que l'intégrité et l'étanchéité de l'emballage et de l'aménagement interne sont conservés en cas de déflagration ou de détonation liée à un dépassement de la LIE.

### 11.1.2 Données d'entrée

Les masses d'eau et de matières polymères sont limitées en fonction du contenu et la puissance maximale autorisée est systématiquement retenue.


L'eau et les matières polymères sont supposées être à la température maximale déterminée en CNT et en CAT.

Les coefficients de dégagements gazeux des matières polymères sont corrigés en température par la loi d'Arrhenius pour la radiolyse et par la loi de Murphy pour la thermolyse.

Les calculs sont effectués pour un temps de transport de t jours dans les conditions normales de transport à l'issue desquels les CAT s'appliquent pendant 7 jours.

### 11.1.3 Résultats

Pour les contenus faisant l'objet d'un agrément de type B(U), les risques liés aux dégagements gazeux sont maîtrisés pour un temps de transport t de 365 jours.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 29/32

Pour les contenus faisant l'objet d'un agrément de type B(M), les risques liés aux dégagements gazeux sont maîtrisés pour un temps de transport t de 50 jours.

## 11.2 RISQUE LIE A LA PYROPHORICITE

Le risque lié à la prise en compte des phénomènes de pyrophoricité de certains contenus, principalement les matières métalliques sous forme finement divisée, est géré par l'inertage de la totalité des volumes libres du colis.

## 12. EXPLOITATION DE L'EMBALLAGE

### 12.1 INSTRUCTIONS D'UTILISATION

Les colis peuvent être inertés selon une procédure spécifique lorsque le contenu l'impose.

C'est la cage de l'emballage qui permet sa manutention et son arrimage. L'emballage peut être manutentionné et transporté en position verticale ou horizontale.

#### 12.1.1 Manutention

En position verticale, l'emballage peut être manutentionné de deux façons :

- par un chariot élévateur dont les fourches pénètrent dans les passages prévus à cet effet dans la cage (deux niveaux possibles),
- par des sangles ou des élingues venant s'accrocher au milieu des tubes renforçant les coins de la cage en partie supérieure.


En position horizontale, l'emballage peut être manutentionné en passant deux sangles autour de la cage.

#### 12.1.2 Arrimage

Lorsque le transport s'effectue en position verticale, l'arrimage est réalisé par le biais de sangles qui passent au-dessus de la cage. Des tapis anti glisse sont positionnés sous chaque colis. Lorsque plusieurs colis sont transportés, ils sont regroupés en lots de 2 à 6 à l'aide de sangles positionnées à mi-hauteur puis des sangles sont mises en place au-dessus de chaque rangée d'emballage.

Lorsque le transport du colis s'effectue en position horizontale, l'arrimage est prévu par calage au sol autour de la cage et par sangle au-dessus de la cage. Les colis peuvent être transportés gerbés sur 1 niveau. Ils sont alors positionnés dans un berceau en bois.

Les colis peuvent être arrimés directement sur le moyen de transport ou dans un caisson blindé lorsque le classement de la matière au titre du code de la Défense l'impose.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 30/32

### 12.1.3 Contrôles avant expédition

Avant expédition, il est notamment procédé aux contrôles réglementaires suivants :

- pour les contenus transportés sous un agrément B(M)F, mesures des températures permettant de vérifier que la température sur les surfaces accessibles de l'emballage à l'ombre, lorsque l'équilibre thermique est atteint, n'excède pas 85°C (transport sous utilisation exclusive),
- contrôles réglementaires de débit de dose sur le colis et sur le moyen de transport.

Lors de la réception de colis présentant un risque de dégagements gazeux (pour lesquels la démonstration de sûreté est basée sur la tenue à l'explosion (dépassement possible de la limite inférieure d'explosivité (LIE) de l'hydrogène dans l'air), l'ouverture du colis n'est autorisée que sous réserve des contrôles de contamination et de présence d'H<sub>2</sub> négatifs. Les critères sont :

- pas de contamination décelable au-delà de la limite de détection des appareils utilisés,
- taux d'H<sub>2</sub> dans l'air inférieur à 3%.

## 12.2 INSTRUCTIONS DE MAINTENANCE

Chaque emballage fait l'objet :


- d'une petite maintenance, tous les 15 transports à plein ou tous les 3 ans, selon ce qui est le plus limitatif,
- d'une grande maintenance, tous les 40 transports à plein ou tous les 6 ans, selon ce qui est le plus limitatif.

Les opérations de petite maintenance consistent :

- au changement des joints toriques,
- au contrôle dimensionnel des filetages,
- à l'inspection visuelle des pièces de fermeture de l'enceinte de confinement,
- à l'inspection visuelle du corps, du capot et de la cage,
- à un essai d'étanchéité par remontée de pression du système de fermeture.

Les opérations de grande maintenance consistent :

- à un essai de surcharge des points de manutention (barres obliques supérieures de la cage),
- à un essai d'étanchéité des bouchons fusibles des capots,
- à un essai d'étanchéité à l'hélium de l'enceinte de confinement (système de fermeture et corps),
- à un contrôle par ressuage des soudures accessibles en parties haute et basse de la cage.


	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 31/32

### 13. SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE

Les réglementations de transport en vigueur font obligation d'appliquer des exigences de management de la qualité pour :

- la conception,
- la fabrication et la qualification,
- l'exploitation (chargement, transport, déchargement, entreposage en transit),
- la maintenance et la réparation.

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 adaptés de management de la qualité ainsi que produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.

	<b>DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TN-BGC 1</b>	
	Référence du document : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS005	DSS
	Plan de classement : DTEL-Unités-O4	<u>Indice</u> : A  Page 32/32

## 14. CONCLUSION

Le modèle de colis constitué par l'emballage TN-BGC 1 chargé de son contenu est conforme à la réglementation applicable aux colis de type B contenant des matières fissiles :

- les essais de chute et simulations numériques garantissent la tenue mécanique de l'emballage et du système de confinement,
- la température de surface externe est inférieure à 85°C en CNT,
- le confinement de la matière radioactive est maintenu aux pressions et températures atteintes en CNT et en CAT,
- le modèle de colis respecte les critères réglementaires de relâchement d'activité en CNT et en CAT,
- les débits équivalents de dose calculés en CTR, en CNT et en CAT sont inférieurs aux limites réglementaires,
- le modèle de colis respecte les critères de sûreté-criticité,
- les risques liés à la radiolyse/thermolyse et à la pyrophoricité des matières transportées sont maîtrisés,
- les instructions d'utilisation et de maintenance relatives à toutes les opérations importantes pour la sûreté sont définies.