







## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

	Direction de l'énergie nucléaire Département de services nucléaires Service des transports des matières radioactives Laboratoire d'Exploitation du Parc d'Emballages	CEA/DEN/CAD/DSN/STMR DO 539 20/07/17  17PFPM000781 diffusé le : 20/07/17
---	---	---

Niveau de confidentialité		Direction d'objectifs	Domaine	Projet	EOTP	Partenaire/Client
DO	<input checked="" type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	DDCC	TRANSPORT EMBALLAGE	-
DR	<input type="checkbox"/>	SD	<input type="checkbox"/>			
CCEA	<input type="checkbox"/>					

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

	Nom(s)	Fonction(s) et unité(s)	Visa(s)
Rédacteur	L. DROUARD	Chargé d'affaire LEPE	
Vérificateurs	F. BRUCKER	Chargée d'affaire LEPE	
	T. CUVILLIER	Chef du LEPE	p.i. C. LEROY 
Approbateur Emetteur	S. CLAVERIE-FORGUES	Chef du STMR	 Date : 21/07/2017

**SUIVI DES VERSIONS**

Indice	Date de l'indice	Rédacteur	Nature de la modification	Nb pages du document
01	20/07/2017	L. DROUARD	Émission initiale	19

Clf : 7.1.2.3

**DIFFUSION INITIALE**

DSN/DIR

DIR/CSMN

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

**SOMMAIRE**

<b>1. Objet</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Documents de reference</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Description du modèle de colis</b> .....	<b>5</b>
3.1. Description générale.....	5
3.2. Manutention et arrimage de l'emballage.....	6
3.3. Éléments importants pour la sûreté.....	6
<b>4. Description du contenu</b> .....	<b>6</b>
4.1. Dimensions et conditionnement.....	6
4.2. Composition.....	8
4.3. Propriétés radiologiques.....	9
4.4. Propriétés thermiques.....	10
<b>5. Étude de mécanique</b> .....	<b>10</b>
5.1. Objectifs.....	10
5.2. Données d'entrées.....	10
5.3. Résultats.....	10
<b>6. Étude thermique</b> .....	<b>11</b>
6.1. Objectifs.....	11
6.2. Données d'entrées.....	11
6.3. Résultats.....	12
<b>7. Étude de confinement</b> .....	<b>12</b>
7.1. Objectifs.....	12
7.2. Données d'entrées.....	12
7.3. Résultats.....	13
<b>8. Étude de radioprotection</b> .....	<b>13</b>
8.1. Objectifs.....	13
8.2. Données d'entrées.....	13
8.3. Résultats.....	14
<b>9. Étude de sûreté-criticité</b> .....	<b>15</b>
9.1. Objectifs.....	15
9.2. Données d'entrées.....	15
9.3. Résultats.....	16
<b>10. Instruction d'exploitation et de maintenance de l'emballage</b> .....	<b>16</b>
10.1. Utilisation.....	16
10.2. Maintenance.....	17

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

<b>11. Assurance qualité</b> .....	<b>17</b>
11.1. Fabrication .....	18
11.2. Conception .....	18
11.3. Utilisation .....	18
11.4. Maintenance.....	18
<b>12. Conclusion</b> .....	<b>19</b>

## LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Nacelle standard équipée</i> .....	7
---	---

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Liste des éléments importants pour la sûreté</i> .....	6
<i>Tableau 2: Récapitulatif des matières transportées</i> .....	9
<i>Tableau 3: Températures des joints de confinement en CNT et CAT</i> .....	12
<i>Tableau 4: Critères radiologiques réglementaires</i> .....	13
<i>Tableau 5 : facteurs de multiplication effectifs des neutrons maximaux des milieux fissiles</i> .....	16

**Démonstration de sûreté de l'emballage CTB****1. OBJET**

La présente note a pour but de présenter les solutions techniques retenues pour le transport de matières radioactives, fissiles ou non, avec l'emballage CTB afin d'assurer les diverses fonctions de sûreté au regard du cadre réglementaire applicable.

Ce dossier justifie la conformité à la réglementation applicable aux colis de types B(U) et B(U)F par voies routières et B(U) par voie aérienne.

**2. DOCUMENTS DE REFERENCE**

- [1] CTI - CEE - ONU, Accord européen relatif au transport international de marchandises Dangereuses par Route (ADR) en vigueur le 1er janvier 2017.
- [2] AIEA, Règlement de transport de matières radioactives n° SSR6, édition 2012.
- [3] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voie terrestre (dit « arrêté TMD »).

**3. DESCRIPTION DU MODELE DE COLIS****3.1. DESCRIPTION GENERALE**

Le modèle de colis, dénommé CTB est conçu pour permettre le transport de matières radioactives fissiles ou non, conditionnées de façon à éviter la contamination de la cavité interne de l'emballage.

L'emballage est de forme générale cylindrique et ses principales caractéristiques sont :

- longueur hors tout : 1 250 mm ;
- largeur externe hors tout : 700 mm ;
- hauteur externe hors tout : 720 mm ;
- masse maximale : 820 kg.

Le corps de l'emballage est cylindrique et repose sur quatre pieds solidaires de l'emballage. Il est constitué d'une enveloppe extérieure en acier au carbone peint et d'une enveloppe intérieure en acier inoxydable, entre lesquelles est coulée la protection radiologique réalisée en alliage d'aluminium. L'enveloppe intérieure est conçue pour recevoir une nacelle porte sources.

L'enveloppe intérieure, qui fait partie de l'enveloppe de confinement, est fermée côté chargement par un bouchon blindé et par une tôle. La tôle et l'enveloppe du bouchon sont en acier inoxydable austénitique. Ces organes sont équipés de joints en élastomère.

Les faces avant et arrière du corps sont protégées pendant le transport par deux capots amortisseurs de chocs et protégeant l'emballage de l'incendie. Les têtes de vis comportent des trous permettant la pose de scellés qui garantissent la non-ouverture du colis pendant le transport..

### Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

#### 3.2. MANUTENTION ET ARRIMAGE DE L'EMBALLAGE

Le corps de l'emballage est équipé de quatre oreilles pour la manutention et l'arrimage du colis.

Les capots sont équipés chacun d'une oreille de manutention qui peut être verrouillée après mise en place des capots.

Le bouchon et la tate ont simplement des poignées de manutention.

#### 3.3. ÉLÉMENTS IMPORTANTS POUR LA SURETE

Le tableau 1 établit, pour chaque fonction de sûreté, la liste des éléments importants pour la sûreté et les paramètres à garantir pour leur maintien :

Fonctions de Sûreté	Éléments importants pour la sûreté	Paramètres à garantir
Maîtrise du confinement des matières radioactives	Enceinte de confinement	Performance des caractéristiques des joints internes d'étanchéité Cavité Interne intègre (virole en acier inoxydable assemblée par soudure continue + brides; bouchon et tate en acier fermés)
Limitation de l'exposition externe	Blindage radial et axial (côté bouchon et coté tate) Pot pour contenus $^{239}\text{Np}$	Respect des matériaux et de la géométrie Respect des limitations de masses des radionucléides
Maîtrise de la sûreté criticité	Virole, protection neutronique, diamètre de cavité interne et matière fissile	Respect des matériaux et de la géométrie. Limitation de la quantité de matière fissile et d'éléments légers : $Masse\ de\ matières\ fissiles \leq 250g$ et $\frac{Masse\ d'éléments\ léger}{^{239}\text{Pu}} \leq 0,5$
Évacuation de la puissance résiduelle	Sans objet du fait de la faible puissance thermique du contenu (17 W maximum)	

Tableau 1: Liste des éléments importants pour la sûreté

#### 4. DESCRIPTION DU CONTENU

L'emballage CTB est conçu pour le transport de matières radioactives solides et d'alliages métalliques composés de sources Pu-Be et Am-Be.

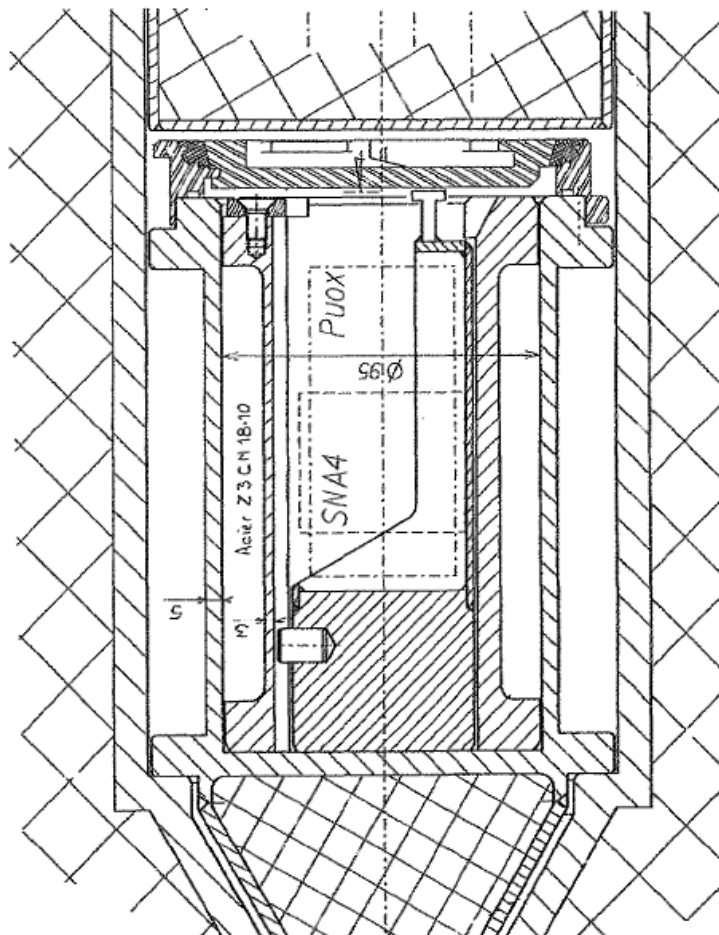
##### 4.1. DIMENSIONS ET CONDITIONNEMENT

Les sources peuvent être placées dans un ensemble pelle, porte-pelle, nacelle en acier inoxydable.

**Démonstration de sûreté de l'emballage CTB**

Les sources de  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{239}\text{Np}$  et  $^{242}\text{Cm}$  doivent être placées dans un petit conteneur (S.I.E) introduit à la place du porte pelle. Le conditionnement de ces sources dans des capsules en verre n'est pas autorisé.

Dans le cas du  $^{239}\text{Np}$ , la source est préalablement conditionnée dans un pot en plomb, plomb d'épaisseur minimale 8 mm en radial et 10 mm en axial, pour ramener les DED autour du colis en dessous des limites réglementaires.



**Figure 1: Nacelle standard équipée**

**Démonstration de sûreté de l'emballage CTB**

.La masse maximale de contenu autorisé est de 1 kg.

**4.2. COMPOSITION**

Le tableau 2 récapitule la quantité et l'activité maximale de matière radioactive ou alliage autorisée. Le respect de l'activité de maximale permet de garantir la limite de masse autorisée.

Si un contenu est constitué de plusieurs types de radio-isotopes parmi ceux figurant dans le tableau 2 les masses des radio-isotopes présents dans le contenu doivent respecter :

$$\sum_i \frac{m_{\text{isotope } i}}{\text{limite de masse isotope } i} \leq 1$$

Si un contenu comporte plus d'une source à base du même radio-isotope (couvrant autant les sources à base d'un radio-isotope que celles émetteur alpha et d'un élément léger), la valeur la plus faible de masse (ou activité) maximale figurant au tableau 2 pour ce radio-isotope doit être considérée comme la masse maximale admissible pour l'ensemble des radio-isotopes présents dans le contenu.

Les sources composées d'un mélange de  $^{239}\text{Pu}$  et d'un élément léger doivent respecter le rapport de masse :

$$\frac{\text{Masse d'éléments léger}}{^{239}\text{Pu}} \leq 0,5$$



## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

Isotope	Matières fissiles	Masse maximale (g)	Activité maximale (GBq)	
<sup>99</sup> Tc		100	6,29E+01	
U naturel		1000	3,70E+02	
<sup>232</sup> U		2	1,59E+03	
<sup>233</sup> U	x	250	8,97E+01	
<sup>234</sup> U		250	5,79E+01	
<sup>235</sup> U	x	250	2,00E-02	
<sup>237</sup> Np		250	6,53E+00	
<sup>239</sup> Np		1,00E-03	8,60E+03	
<sup>238</sup> Pu		30	1,90E+04	
<sup>239</sup> Pu	x	250	5,76E+02	
<sup>240</sup> Pu		250	2,11E+03	
<sup>241</sup> Pu	x	250	9,55E+05	
<sup>242</sup> Pu		250	3,64E+01	
<sup>228</sup> Th		1,00E-02	3,04E+02	
<sup>229</sup> Th		250	1,97E+03	
<sup>241</sup> Am		30	3,82E+03	
<sup>243</sup> Am		30	2,22E+02	
<sup>242</sup> Cm		2,00E-03	2,46E+02	
<sup>244</sup> Cm		6	1,80E+04	
<sup>248</sup> Cm		1,00E-03	1,58E-04	
<sup>252</sup> Cf		5,00E-05	9,97E-01	
<b>Mélange d'émetteurs alpha et d'éléments légers</b>				
Émetteurs alpha	Éléments légers	Matières fissiles	Masse maximale (g)	Activité maximale (GBq)
<sup>241</sup> Am	Be, B;F; C;Li		14,5	1,85E+03
<sup>244</sup> Cm			6,17E-01	1,85E+03
<sup>238</sup> Pu			2,9	1,85E+03
<sup>239</sup> Pu		x	250	5,76E+02

Tableau 2: Récapitulatif des matières transportées

## 4.3. PROPRIETES RADIOLOGIQUES

Le contenu transporté doit respecter les limitations en activité indiquées au tableau 2.

Dans le cas d'un transport par voie aérienne, l'activité du contenu est également limité à 3 000 A<sub>2</sub>.

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

### 4.4. PROPRIETES THERMIQUES

La puissance thermique maximale est de 17 W.

## 5. ÉTUDE DE MECANIQUE

### 5.1. OBJECTIFS

Cette partie analyse la résistance mécanique de l'emballage CTB et montre qu'il répond aux exigences réglementaires [2] concernant les colis de type B contenant des matières radioactives fissiles.

### 5.2. DONNEES D'ENTREES

Les études mécaniques sont organisées de la manière suivante :

- une analyse du comportement de l'emballage dans les conditions des épreuves réglementaires [2] concernant les conditions **normales** de transport. Ces épreuves sont les suivantes :
  - aspersion d'eau,
  - chute libre de 1,2 m,
  - compression/gerbage de colis,
  - pénétration ;
- une analyse du comportement de l'emballage dans les conditions des épreuves réglementaires [2] concernant les conditions **accidentelles** de transport. Ces épreuves sont les suivantes :
  - chute libre de 9 m,
  - chute de 1 m sur poinçon,
  - immersion à 15 m pendant 8 h ;

L'analyse structurelle de l'emballage est basée sur une masse de colis de 850 kg.

### 5.3. RESULTATS

Concernant l'épreuve d'aspersion d'eau, la présence d'enveloppes métalliques 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.

La forme cylindrique de l'emballage ne se prête pas au gerbage.

Pendant l'épreuve d'immersion, le colis est soumis à une pression hydraulique extérieure relative égale à 150 kPa pendant 8 heures.

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

La contrainte maximale correspondante dans le tube d'épaisseur 10 mm est de 1,2 MPa. Compte tenu également de l'épaisseur des brides, cette pression ne peut provoquer des dommages à l'emballage et, en particulier, provoquer une perte d'étanchéité.

Plusieurs essais de chute ont été réalisés sur un emballage du parc. Ces essais cumulent les chutes de 1,2 m, de 9 m et de 1m sur poinçon. L'analyse du comportement mécanique du modèle de colis CTB lors de ces essais démontre que le modèle de colis est conforme aux prescriptions réglementaires en termes de tenue mécanique.

Ces essais de chute ont été complétés et confortés par simulation numérique.

Un enfoncement de 20 mm de la protection biologique du corps sera considéré dans les études de criticité, radioprotection en CAT. En complément, l'analyse thermique considèrera :

- un cylindre de 350 mm de diamètre et de 13 mm de profondeur sur le corps, les dégâts seront modélisés par une déformation (rainure circulaire) et une perforation de la virole en acier carbone,
- un fouettement de 25 mm de large sur chaque extrémité du corps,
- un écrasement de 147 mm de profondeur venant de la chute sur dalle additionné à un écrasement de 30 mm de profondeur venant de la chute sur poinçon, les dégâts seront modélisés par un arrachement complet de la matière et un remplacement des cavités d'air par du bois.

## **6. ÉTUDE THERMIQUE**

### **6.1. OBJECTIFS**

Ce paragraphe a pour objet de vérifier, par rapport à la réglementation [2] pour les colis de type B, que les températures atteintes en conditions normales et accidentelles de transport restent inférieures aux limites admissibles des matériaux et des conditions de transport (température de surface du colis inférieure à 50 °C sans ensoleillement à température ambiante de 38 °C).

### **6.2. DONNEES D'ENTREES**

Le contenu dissipe une puissance thermique de 17 W.

Le calcul en conditions normales de transport considère l'emballage est en position horizontale, exposé au soleil 12h/24h au sein d'un air ambiant à 38°C.

En conditions accidentelles de transport, l'emballage ayant subi les épreuves de mécaniques en CAT, détaillées au paragraphe 5, est porté à la température de 800°C pendant 30 minutes puis subit un refroidissement dans un environnement à 38°C avec ensoleillement 12h/24h.

### Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

Le coefficient d'absorptivité de l'emballage retenu est 0,4 et l'émissivité de la paroi de la structure est de 0,8 en CAT et 0,2 pour l'inox et 0,3 pour l'acier (peint en jaune) en CNT.

En conditions normales de transport, les surfaces externes de l'emballage sont exposées à un air ambiant fixé à 38 °C avec un ensoleillement :

- de 400 W/m<sup>2</sup> sur les surfaces horizontales courbes;
- de 200 W/m<sup>2</sup> sur les surfaces verticales planes.

### 6.3. RESULTATS

En conditions normales de transport avec ensoleillement, la température maximale dans la cavité de l'emballage est de 71 °C. En l'absence d'ensoleillement dans une ambiance à 38°C, la température de surface externe est inférieure à 41 °C.

En conditions accidentelles de transport, la température maximale des joints est de 148 °C. Elle est inférieure à la température maximale d'utilisation des joints d'étanchéité utilisés : 175°C.

## 7. ÉTUDE DE CONFINEMENT

### 7.1. OBJECTIFS

Cette partie justifie le respect des critères réglementaires de relâchement d'activité par fuite d'aérosols, de gaz et de liquides en conditions normales et accidentelles de transport.

Ces critères pour un emballage de type B sont :

- $10^{-6}$  A<sub>2</sub>/h en conditions normales de transport (CNT) ;
- 1 A<sub>2</sub> par semaine en conditions accidentelles de transport (CAT).

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

Par ailleurs, pour les transports par voie aérienne, l'intégrité du système de confinement du CTB ne doit pas être pas affecté lorsqu'il est exposé à une température ambiante comprise entre -40 °C et +55 °C.

### 7.2. DONNEES D'ENTREES

Les températures maximales de la cavité interne en CNT et CAT sont respectivement de 71 °C et 161 °C.

Les températures des joints de confinement sont détaillées dans le tableau 3.

	Température maximales des joints tape (°C)	Température maximale des joints bouchon (°C)
<b>CNT</b>	58	60
<b>CAT</b>	146	148

Tableau 3: Températures des joints de confinement en CNT et CAT

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

La pression de l'air dans la cavité, compte tenu de la température est de 1,20 bar et 1,52 bar en CNT et CAT respectivement.

Dans le cas du transport par voie aérienne, les températures atteintes par les joints et de la cavité, dans une ambiance à 55 °C sans ensoleillement, sont couvertes par celles données dans le tableau 3. De plus, on suppose que la pression extérieure en vol est de 0,05 kPa.

### 7.3. RESULTATS

L'emballage CTB chargé du contenu autorisé le plus pénalisant (cf. paragraphe 4) respecte les critères réglementaires de relâchement d'activité en conditions normales et accidentelles de transport pour un transport par voie terrestre ou aériennes.

## 8. ÉTUDE DE RADIOPROTECTION

### 8.1. OBJECTIFS

Ce chapitre présente les calculs qui permettent d'évaluer l'efficacité de la protection radiologique de l'emballage CTB en conditions normales et accidentelles de transport, chargé de de matières radioactives solides et d'alliages métalliques composés de sources Pu-Be et Am-Be (cf. paragraphe 4).

La protection radiologique doit permettre le respect les critères suivants :

Conditions de transport	Points de mesure	DED (mSv/ h)
Conditions de routine CTR	<b>Critères réglementaires</b>	
	En tout point de la surface externe d'un colis ou d'un suremballage	2
	À 2 mètres des surfaces latérales du véhicule :	0,1
	<b>Critères enveloppe</b>	
	Au contact du colis :	2
	À 2 mètres du colis, en latéral :	0,1
Conditions normales CNT	Suite aux épreuves CNT, l'augmentation de l'intensité de rayonnement maximale à la surface externe du colis ne doit pas dépasser 20 % ;	
Conditions accidentelles CAT	À 1 mètre de la surface du colis :	10

Tableau 4: Critères radiologiques réglementaires

### 8.2. DONNEES D'ENTREES

La protection biologique principale du colis est constituée de compound PNT 7. La composition à prendre en compte pour les calculs en CNT est celle en conditions normales. En CAT, la composition du compound PNT 7 est modifiée par l'épreuve thermique qui provoque une perte d'eau contenue dans le matériau.

### Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

La diminution d'épaisseur due à l'épreuve mécanique a été évaluée par essai. Les capots ne sont plus modélisés et sont remplacés intégralement par de l'air. Par ailleurs, en CAT, une diminution de 20 mm en radial de l'épaisseur dans la partie médiane du PNT 7 est retenue. De plus une suppression de 25 mm de la matière est considérée de manière pénalisante entre la virole externe et le compound.

La définition des sources gamma et neutron, relatives à chacun des éléments pris en compte dans l'étude, est issue de l'inventaire des sources à transporter. Les spectres neutroniques ont été déterminés à l'aide du code ORGIEN ARP puis vérifiés au moyen du code SOURCES 4C pour les différents types de sources.

Pour le calcul de radioprotection en conditions normales de transport, la nacelle standard a été modélisée et la source, modélisée de façon ponctuelle, est positionnée au plus près du point de calcul.

Pour le calcul de radioprotection en conditions accidentelles de transport, la nacelle n'est pas modélisée et la source ponctuelle est positionnée au plus près du point de calcul. Ce modèle est donc conservatif en termes de blindage radiologique et de positionnement de la source.

La valeur du facteur de multiplication effectif des neutrons retenue pour les calculs de radioprotection est de 0,433. Il correspond à celui d'une source fissile métallique de  $^{239}\text{Pu}$  réfléchi par 20 cm d'eau. Cette valeur est appliquée de façon pénalisante à toutes les sources contenant ou non de la matière fissile.

### 8.3. RESULTATS

Les DED neutrons sont évalués pour les sources constituées d'un mélange d'actinide avec du Béryllium. Les DED gamma sont évalués pour les sources constituées d'un seul radio-isotope à la fois. Afin de limiter les débits d'équivalent de dose, les sources gamma contenant du  $^{229}\text{Np}$  doivent impérativement être conditionnées dans des pots en plomb d'épaisseur minimale 8 mm en radial et 10 mm en axial.

Les valeurs maximales des débits d'équivalents de dose calculés au contact à 2 m en CNT et à 1 m en CAT sont obtenues pour les sources gamma de  $^{239}\text{Np}$  et neutrons de  $^{252}\text{Cf}$  :

- En CTR et CNT :
  - Surface colis : 1,02 mSv/h < 2 mSv/h,
  - à 2 m du colis :  $2,95 \times 10^{-2}$  mSv/h  $\leq$  0,1 mSv/h ;
- En CAT :
  - à 1 m du colis : 1,89 mSv/h < 10 mSv/h.

Par ailleurs, l'augmentation de l'intensité de rayonnement maximale à la surface externe du colis, suite aux épreuves en CNT, ne dépasse pas 20 %.

Les critères de radioprotection liés au transport de matières radioactives sont bien vérifiés. De plus, ils font également l'objet d'un contrôle au départ de chaque transport.

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

**9. ÉTUDE DE SURETE-CRITICITE****9.1. OBJECTIFS**

Cette partie vérifie la sûreté-criticité du modèle de colis CTB, chargé de matières fissiles pour des conditions normales et accidentelles de transport dans le cadre d'un transport par voie terrestre uniquement.

Conformément à la réglementation, trois configurations ont été étudiées :

- colis isolé résultant des épreuves simulant les conditions normales (CNT) 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.

Les configurations 5N colis en CNT et 2N colis en CAT sont couvertes par la modélisation d'un réseau infini de colis en CAT.

Les critères de sous criticité à respecter sont les suivants :

- $k_{eff} + 3\sigma = 0,95$  pour le colis isolé ;
- $k_{eff} + 3\sigma = 0,98$  pour les configurations de colis en nombre.

**9.2. DONNEES D'ENTREES**

Deux milieux fissiles de références sont considérés :

- Milieu fissile de référence 1 : 250 g de matières radioactives solides parmi les isotopes  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ , soit individuellement, soit en mélange ;
- milieu fissile de référence 2 : sources sous forme d'alliage métallique monobloc :
  - 250 g de  $^{239}\text{Pu}$ ,
  - 82,5 g de  $^9\text{Be}$ .

Les études concernant les colis considérés retiennent les hypothèses communes suivantes :

- le colis est endommagé. Pour l'étude du milieu 1, les matériaux de structure sont négligés. Pour l'étude du milieu 2, l'état du colis est celui consécutif aux épreuves suivantes :
  - épreuve mécanique :

la diminution d'épaisseur retenue suite à l'épreuve mécanique est de 20 mm sur une génératrice,

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

### ➤ épreuve incendie :

la composition du compound PNT7 est modifiée par l'épreuve thermique qui provoque une perte partielle de l'eau contenue dans le matériau.

De plus, les études concernant les colis isolés retiennent les hypothèses suivantes :

- 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 ;
- le colis est isolé par une couronne d'eau de 20 cm d'épaisseur ;

### 9.3. RESULTATS

Les éléments suivants constituent le système d'isolement à garantir :

- la nature et la masse de matière fissile ;
- le diamètre interne de la cavité de l'emballage ( $\varnothing = 140$  mm maximal) ;
- la virole interne de l'emballage en acier inoxydable (10 mm) ;
- la protection neutronique radiale en compound PNT7 (244 mm minimal) ;
- la peau externe de l'emballage en acier au carbone (6 mm).

Les facteurs de multiplication effectifs des neutrons maximaux pour les deux milieux étudiés sont présentés dans le tableau 5 ci-après :

Milieu fissile de référence	Colis isolé	Réseau de colis
Milieu 1	0,88	0,813
Milieu 2	0,76	0,802

**Tableau 5 : facteurs de multiplication effectifs des neutrons maximaux des milieux fissiles**

Le modèle de colis constitué de l'emballage CTB respecte les critères de sûreté-criticité avec des marges conséquentes.

L'indice de sûreté-criticité vaut :  $ISC = 0$ .

## 10. INSTRUCTION D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE DE L'EMBALLAGE

Cette partie décrit les instructions d'utilisation et de maintenance prévues pour les emballages CTB.

### 10.1. UTILISATION

Le chargement et le déchargement de l'emballage s'effectuent en position horizontale. Le chargement (ou déchargement) ainsi que le transport, s'effectuent à sec.



## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

Les instructions d'utilisation font l'objet d'une notice d'utilisation. Les exploitants peuvent également établir des modes opératoires adaptés à leur installation et conformes à la notice d'utilisation.

Le gerbage de l'emballage n'est pas autorisé.

Il est impératif de manutentionner l'emballage en petite vitesse (pas de levage à l'arraché). Le bouchon avant et la tôle arrière sont manutentionnés à la main.

L'arrimage est réalisé par 4 sangles tendues entre les oreilles d'arrimage de l'emballage CTB, et les points d'arrimage sur le moyen de transport utilisé. Les 4 sangles sont orientées dans le plan des oreilles. Le colis CTB est placé sur le moyen de transport en position horizontale. L'axe de l'emballage dans le sens de roulage.

### 10.2. MAINTENANCE

L'emballage doit faire l'objet d'un suivi et d'un entretien périodique :

- petite maintenance tous les 3 ans ou les 15 transports ;
- grande maintenance tous les 6 ans ou les 30 transports ;

Pour les emballages entreposés dans une installation dans laquelle il n'est pas possible de réaliser les opérations de maintenance décrites ci-avant, et lorsque les emballages concernés n'ont pas effectué plus de 5 transports, il est autorisé :

- de prolonger la durée d'entreposage jusqu'à 10 ans sous réserve qu'un test d'étanchéité tel que réalisé avant transport soit conduit avec succès tous les 5 ans ;
- de faire un transport interne, à plein, depuis le lieu d'entreposage jusqu'au lieu de reconditionnement de la matière, avant réalisation des opérations de maintenance.

### 11. ASSURANCE QUALITE

Afin de garantir que les pièces de l'emballage CTB présentent un niveau de qualité suffisant vis-à-vis des exigences de sûreté, un programme d'assurance qualité est établi pour :

- la conception ;
- la fabrication ;
- les épreuves et l'établissement des documents ;
- l'utilisation ;
- la maintenance ;
- les opérations de transport.

## Démonstration de sûreté de l'emballage CTB

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

### 11.1. FABRICATION

La fabrication de l'emballage dans le cadre de la norme ISO 9001, donne lieu à la fourniture d'un dossier constructeur, où apparaissent notamment les certificats matière, les soudures et contrôles associés, les essais, les contrôles dimensionnels, les pesées, les non conformités et les certificats de conformité par équipement réalisé.

### 11.2. CONCEPTION

Les études de conception, ainsi que les études de sûreté, développées vis à vis du modèle de colis, ont été réalisées selon des organisations en accord avec la norme ISO 9001.

### 11.3. UTILISATION

Les responsabilités des différentes unités impliquées dans l'utilisation de l'emballage sont définies par écrit avec leurs interfaces respectives

Il est rappelé que l'expéditeur ou l'utilisateur doit être prêt à fournir à l'autorité compétente les moyens de faire des inspections pendant l'utilisation, et à lui prouver que tous les emballages sont inspectés périodiquement et, le cas échéant, réparés et maintenus en bon état de sorte qu'ils continuent à satisfaire à toutes les prescriptions et spécifications pertinentes, même après usage répété.

Une notice et un plan d'utilisation permettent une utilisation satisfaisante de l'emballage.

Cette notice d'utilisation décrit de manière précise, afin que toutes les opérations liées au transport s'effectuent conformément aux exigences de sûreté, les règles à observer lors des principales opérations, telles que :

- chargement, déchargement ;
- contrôles réglementaires ;
- arrimage ;
- manutention ;
- entreposage.

### 11.4. MAINTENANCE

Les modalités de maintenance et d'inspection du modèle d'emballage sont définies par une spécification technique de maintenance.

**Démonstration de sûreté de l'emballage CTB**

Cette spécification permet de s'assurer du bon déroulement des opérations de maintenance.

Ces opérations de maintenance sont caractérisées par :

- des contrôles durant l'utilisation ;
- un entretien réglementaire de base ;
- un entretien réglementaire principal ;
- et, si nécessaire, des inspections additionnelles.

En cas d'utilisation d'emballages à des fins d'entreposage, des mesures d'entretien adaptées sont susceptibles d'être mise en œuvre durant cette phase.

La maintenance est réalisée par une société certifiée ISO 9001 : 2008.

**12. CONCLUSION**

Le modèle de colis CTB contenant des sources neutroniques et gamma est conforme à la réglementation applicable aux colis de type B(U)F transporté par voies routières et aux colis de type B(U) transporté par voies routières et aériennes, en particulier :

- 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 50 °C en CTR. Le confinement de la matière radioactive est maintenu aux pressions et températures atteintes en conditions normales et accidentelles de transport ;
- L'emballage CTB respecte les critères réglementaires de relâchement d'activité en conditions normales ( $10^{-6} A_2/h$ ) et accidentelles de transport ( $1A_2/semaine$ ) ;
- les valeurs des débits équivalents de dose calculés au contact du colis, à 2 m en CNT et à 1 m en CAT sont :
  - Surface colis : 1,02 mSv/h < 2 mSv/h,
  - à 2 m du colis :  $2,95 \times 10^{-2}$  mSv/h  $\leq$  0,1 mSv/h,
  - à 1 m du colis: 1,89 mSv/h < 10 mSv/h ;
- le modèle de colis constitué de l'emballage CTB respecte les critères de sûreté-criticité, l'indice de sûreté-criticité vaut : ISC = 0.
- les instructions d'utilisations sont détaillées dans une notice et l'emballage CTB fait l'objet d'une petite et d'une grande maintenance régulières ;
- le CTB fait l'objet d'un programme d'assurance qualité rigoureux afin de garantir que les pièces de l'emballage CTB présentent un niveau de qualité suffisant vis-à-vis des exigences de sûretés.