



## Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200

Référence du document :  
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 1/23

## DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE IR200

FORMULAIRES ASSOCIES AU DOCUMENT	REFERENCE

### Résumé

Ce document présente l'analyse de sûreté relative à l'emballage IR200, utilisé pour le transport par voies routière et maritime, de combustibles irradiés ou non et de matériaux radioactifs.

Les éléments présentés démontrent que le modèle de colis respecte la réglementation en vigueur.

FONCTION				
NOM				
DATE				
VISA				
	REDACTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR	ÉMETTEUR



## Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200

Référence du document :  
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 2/23

### Liste des vérificateurs

NOM	FONCTION	VISA

### Liste de diffusion

ENTITES	FONCTIONS	NOM

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	<u>Indice</u> : A
		Page 3/23

## HISTORIQUE DES VERSIONS PRECEDENTES

INDICE	DATE D'APPLICATION	OBJET DE LA VERSION
<b>REF. : DSN-STMR-LEPE-IR200-NOT-0293</b>		
01	18/06/2018	Emission initiale
02	14/06/2019	Mise à jour du dossier conformément à la réunion mi-parcours
<b>REF. : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-009</b>		
A	cf. visa émetteur	Version originale

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 4/23

## 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
3.2 Manutention et arrimage de l'emballage .....	8
<b>4. DEFINITION DES CONTENUS</b> .....	<b>9</b>
4.1 Forme physico-chimique .....	9
4.2 Propriétés radiologiques.....	9
4.3 Conditions de chargement .....	10
<b>5. FONCTIONS DE SURETE DU MODELE DE COLIS</b> .....	<b>10</b>
<b>6. ANALYSE DE LA RESISTANCE STRUCTURELLE</b> .....	<b>11</b>
6.1 Objectifs.....	11
6.2 Conditions normales de manutention et de transport .....	12
6.3 Conditions accidentelles de transport .....	12
6.4 Conclusion.....	13
<b>7. ANALYSE THERMIQUE</b> .....	<b>13</b>
7.1 Objectifs.....	13
7.2 Hypothèses de calcul .....	14
7.3 Résultats.....	14
<b>8. ANALYSE DU CONFINEMENT</b> .....	<b>15</b>
8.1 Objectifs.....	15
8.2 Hypothèses de calcul .....	15
8.3 Conclusion.....	16
<b>9. ANALYSE DE LA RADIOPROTECTION</b> .....	<b>17</b>
9.1 Objectifs.....	17
9.2 Hypothèses de calcul .....	17
9.3 Conclusion.....	18
<b>10. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE</b> .....	<b>18</b>
10.1 Objectifs.....	18

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	<u>Indice</u> : A
		Page 5/23

10.2	Hypothèses de calcul .....	19
10.3	Conclusion .....	19
<b>11.</b>	<b>ANALYSE DES RISQUES SUBSIDIAIRES .....</b>	<b>20</b>
11.1	Objectifs .....	20
11.2	Hypothèses de calcul .....	20
11.3	Conclusion .....	21
<b>12.</b>	<b>EXPLOITATION DE L'EMBALLAGE .....</b>	<b>21</b>
12.1	Instructions d'utilisation .....	21
12.2	Instructions de maintenance .....	22
<b>13.</b>	<b>SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE .....</b>	<b>23</b>
<b>14.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>23</b>

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 6/23

## 1. OBJET

Ce document présente les solutions techniques retenues pour le transport de l'emballage IR200 chargé de combustibles irradiés ou non et de matériaux radioactifs.

L'analyse de sûreté étudie la conformité du modèle de colis à la réglementation applicable aux colis de type B(U), B(M), B(U)F et B(M)F transportés par voies routière et maritime.

## 2. REGLEMENTATION APPLICABLE

- [1] Règlement de transport des matières radioactives, AIEA, édition de 2018 – SSR-6
- [2] Accord relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (ADR)
- [3] Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif au transport des marchandises dangereuses par voies terrestre (arrêté TMD)
- [4] Code maritime international des marchandises dangereuses (code IMDG de l'OMI),
- [5] Arrêté du 23 novembre 1987 modifié relatif à la sécurité des navires et notamment sa division 411 du règlement annexé (dit « arrêté RSN »)

## 3. DEFINITION DE L'EMBALLAGE

### 3.1 DESCRIPTION GENERALE

L'emballage IR200, schématisé sur la Figure 1, est de forme générale cylindrique et ses caractéristiques générales sont présentées dans le tableau suivant.

Longueur hors tout	3 824 mm
Diamètre hors tout	1 458 mm
Masse maximale en charge	12 200 kg

**TABLEAU 1 : Caractéristiques générales de l'emballage**

### Le corps

L'emballage est formé d'un corps constitué :

- d'une enceinte interne en tôle d'acier inoxydable ;
- d'une première protection biologique gamma en plomb, coulée autour de l'enveloppe interne ;

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 7/23

- d'une seconde protection biologique en résine neutrophage coulée entre le plomb et l'enveloppe externe ;
- d'une enveloppe externe en tôle d'acier inoxydable comportant une semelle ainsi que les organes de manutention et d'arrimage.

Les enveloppes interne et externe sont soudées, à l'avant et à l'arrière, à deux brides en acier inoxydable.

### **Le système de fermeture**

Le corps de l'emballage est fermé :

- en partie avant par un système de barillet ;
- en partie arrière par un système de ringard.

La fermeture de la cavité intérieure est assurée par un système essentiellement constitué de tapes.

L'étanchéité des ouvertures est assurée par des doubles joints toriques. Les espaces compris entre les joints communiquent tous deux avec un orifice de test permettant de vérifier l'étanchéité du système de fermeture.

### **Les capots amortisseurs**

L'emballage est équipé à chacune de ses extrémités de capots amortisseurs amovibles cylindriques. Chaque capot amortisseur est constitué de balsa et de contreplaqué, entourés d'une enveloppe en acier inoxydable, muni de bouchons fusibles, d'une soupape et est vissé à chaque extrémité de façon à amortir l'emballage en cas de chute. Le bois sert également d'isolant thermique.



## Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200

Référence du document :  
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 8/23

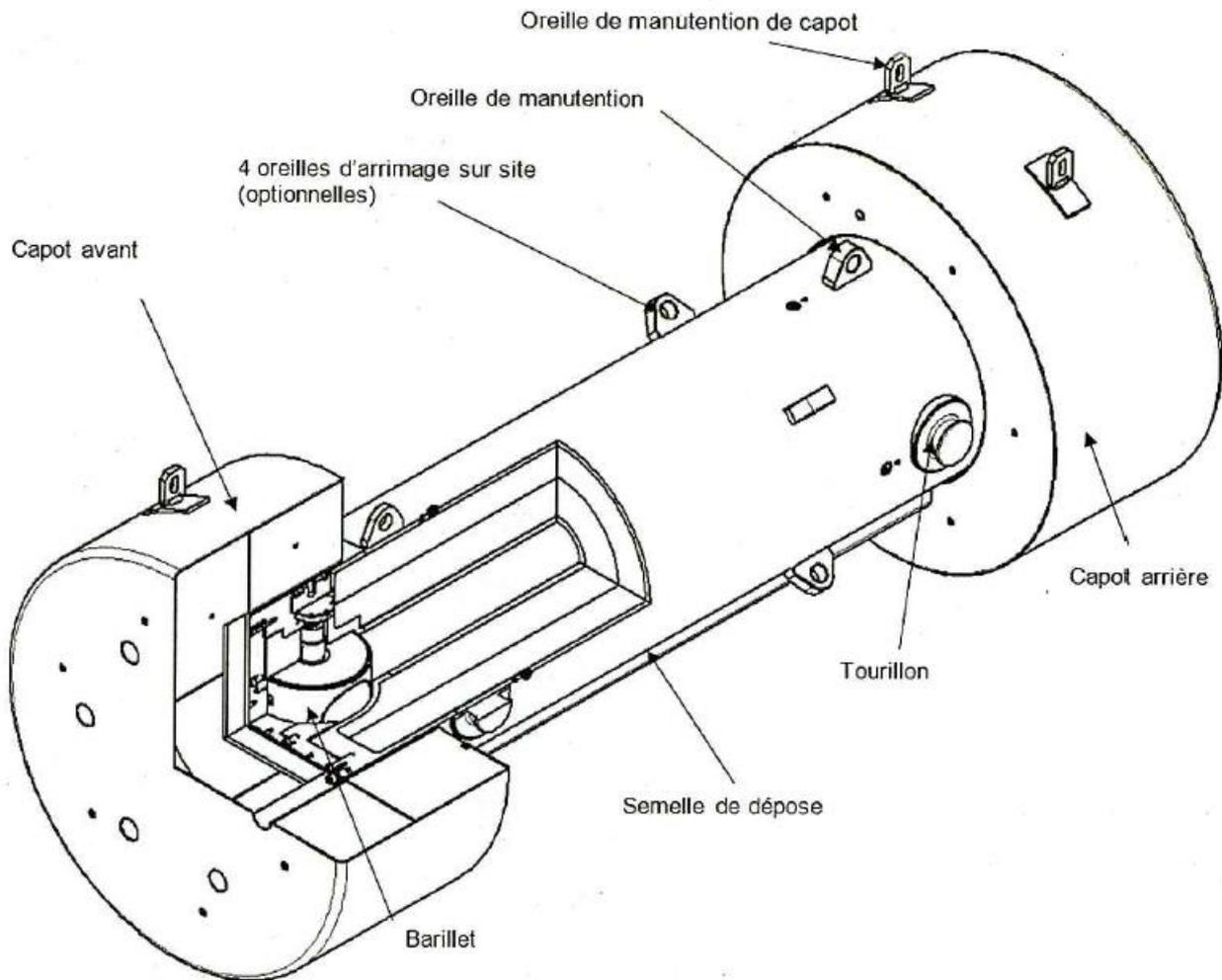


Figure 1 : Schéma de l'emballage IR200

### 3.2 MANUTENTION ET ARRIMAGE DE L'EMBALLAGE

La manutention ou l'arrimage de l'emballage est rendu possible par :

- deux paires de tourillons soudés, une à l'avant et l'autre à l'arrière, utilisés pour l'arrimage, le basculement sur le châssis et éventuellement la manutention ;
- deux oreilles soudées sur la génératrice supérieure du corps, utilisées pour la manutention et éventuellement le basculement sur le châssis ;
- quatre oreilles d'arrimage sur site (optionnelles) ;
- une semelle sur laquelle peut reposer le colis lorsqu'il n'est pas muni de ses capots.

Pendant le transport, l'arrimage est assuré en position horizontale par les tourillons. La position verticale n'est utilisée que pour des déplacements au sein même de l'installation.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 9/23

## 4. DEFINITION DES CONTENUS

L'emballage IR200 est conçu pour transporter des contenus de type :

- oxyde d'uranium, irradié ou non en réacteur à eau légère (contenu 1) ;
- oxyde de plutonium ou oxyde mixte de plutonium et d'uranium, irradié ou non en réacteur à eau légère (contenu 2) ;
- composés mixtes d'uranium et de plutonium, irradiés ou non en RNR (contenu 3) ;
- matières radioactives solides, non fissiles ou fissiles exceptées (contenu 4) ;
- matières uranifères solides irradiées ou non en réacteur MTR (contenu 5) ;
- oxyde d'uranium et/ou oxyde mixte de plutonium et d'uranium, irradiés ou non en réacteur à eau légère puis en réacteur expérimental (contenu 8) ;
- oxyde d'uranium ou matières uranifères sous forme de crayons ou de plaques issus de réacteurs à eau légère, MTR ou hors MTR (contenu 9) ;
- uranium ou mélange d'uranium et de plutonium sous forme d'oxyde ou métallique (contenu 10) ;
- matières uranifères solides, irradiées ou non en réacteur UNGG ou en réacteur à eau lourde (contenu 11) ;
- oxyde d'américium et/ou oxyde d'uranium, non fissiles ou fissiles exceptées (contenu 12).

### 4.1 FORME PHYSICO-CHIMIQUE

Ces matières peuvent se présenter sous forme :

- solide quelconque ;
- de crayon, aiguille, plaque, cartouche, barreau, capsule, assemblage, pastilles, entiers ou en morceaux, contenant du combustible pouvant être gainé (ou dans un équivalent de gaine) ;
- de poudre combustible.

Les éléments combustibles peuvent être accompagnés d'éléments de structure et/ou de toutes autres matières inertes.

Ces matières se présentent sous forme d'oxyde ou de métal, éventuellement alliées avec d'autres éléments (N, C, Fe, Al, F...).

### 4.2 PROPRIETES RADIOLOGIQUES

Les paramètres limitant la majorité des contenus de l'emballage IR200 sont :

- la masse maximale admissible (aménagement interne inclus),

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 10/23

- l'enrichissement et/ou la teneur voire les compositions isotopiques,
- le taux de combustion et le refroidissement minimal,
- la masse de métaux lourds admissible,
- la puissance thermique maximale du contenu.

L'activité totale maximale autorisée dans l'emballage IR 200 pour le contenu n°4 ne doit pas dépasser  $3,60.10^{14}$  Bq.

La puissance thermique maximale est limitée à 360 W à condition que la puissance linéique ne dépasse pas 150 W/m. Dans le cas contraire, la puissance thermique maximale est limitée à 100 W.

#### 4.3 CONDITIONS DE CHARGEMENT

Les contenus (matières radioactives) peuvent être conditionnés :

- sans aménagement interne ;
- avec des aménagements internes assurant une fonction de sûreté-criticité et dont la géométrie est conservée à l'issue des épreuves des conditions normales et accidentelles de transport (CNT et CAT) (conteneurs ou étuis en acier inoxydable de section cylindrique, étanches ou non, de diamètre utile variable) ;
- avec des aménagements internes, en aluminium ou en acier inoxydable, étanches ou non, facilitant le chargement et le déchargement de la matière et/ou évitant la contamination de la cavité (étui de conditionnement, râtelier de maintien, fourreau ou pelle de chargement / déchargement).

Le chargement du contenu dans un aménagement interne aux fins de criticité doit être réalisé à sec. La présence d'eau à l'intérieur de ces aménagements est interdite (sauf eau contenue dans des crayons, capsules ou aiguilles ruptés).

## 5. FONCTIONS DE SURETE DU MODELE DE COLIS

L'emballage IR200 est conçu de manière à garantir les fonctions de sûreté décrites ci-après.

### Dissipation de la puissance thermique interne

La dissipation de la puissance thermique interne est assurée par les épaisseurs d'acier des viroles interne et externe ainsi que les épaisseurs de résine du corps, et par les caractéristiques thermiques des matériaux.

### Confinement des matières radioactives

Le confinement est assuré par l'enveloppe de confinement constituée de la cavité interne, des conduits de drainage et d'évent, du couvercle de tête et des tapes ainsi que leur joint interne.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 11/23

### **Maîtrise de l'intensité de rayonnement externe**

La protection radiologique est essentiellement assurée :

- radialement, par les épaisseurs d'acier des viroles interne et externe, de plomb et de résine,
- axialement, en face avant, par les épaisseurs d'acier et de plomb du barillet, les épaisseurs d'acier du couvercle de tête et du capot avant,
- axialement, en face arrière, par les épaisseurs d'acier de la bride arrière, l'épaisseur de tungstène du poussoir, l'épaisseur d'acier de la tape de fond et du capot arrière.

### **Maîtrise de la sûreté-criticité**

La maîtrise de la sous-criticité est assurée par le système d'isolement composé de la cavité interne, des viroles de plomb, de résine et d'acier, du plomb du barillet, du tungstène du poussoir, du bouchon de barillet, de la tape de fond, des contenus et des éventuels aménagements internes assurant une fonction de sûreté-criticité.

### **La protection contre les chocs**

La protection contre les chocs est assurée par les dimensions et caractéristiques mécaniques de la virole externe et des capots amortisseurs.

### **La protection contre l'incendie**

La protection contre l'incendie est assurée par les dimensions et caractéristiques thermiques de la virole externe, de la résine et des capots amortisseurs.

## **6. ANALYSE DE LA RESISTANCE STRUCTURELLE**

### **6.1 OBJECTIFS**

Cette partie analyse le comportement mécanique du modèle de colis dans le cadre des épreuves réglementaires représentatives des conditions de transport de routine (CTR), des conditions normales de transport (CNT) et des conditions accidentelles de transport (CAT).

La conformité du modèle de colis est notamment examinée vis-à-vis des épreuves spécifiées par la réglementation [1], qui sont les suivantes :

- en conditions de transport de routine et habituelles de manutention :
  - la résistance des organes d'arrimage et de manutention,
  - la résistance à une pression interne dans l'enceinte de confinement ;
- en conditions normales de transport :
  - l'épreuve d'aspersion d'eau ;

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 12/23

- l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 0,6 m sur cible indéformable ;
- l'épreuve de pénétration ;
- en conditions accidentelles de transport :
  - l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 9 m sur cible indéformable ;
  - l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 1 m sur poinçon ;
  - l'épreuve d'immersion à 15 m pendant 8 h ;
  - l'épreuve poussée d'immersion sous une hauteur de 200 m pendant 1 heure.

## 6.2 CONDITIONS NORMALES DE MANUTENTION ET DE TRANSPORT

L'analyse structurelle de l'emballage est basée sur une masse de colis de 12 200 kg.

Pour l'arrimage et la manutention, les calculs sont effectués en combinant les accélérations verticales, longitudinales et transversales les plus pénalisantes de chaque type de transport (routière et maritime).

La résistance à la fatigue de l'emballage en conditions de manutention et de transport est évaluée avec des hypothèses pénalisantes.

Les résultats montrent que les organes d'arrimage et de manutention de l'emballage sont correctement dimensionnés pour les transports routier et maritime lors des conditions habituelles de manutention et de transport de routine.

L'emballage est conforme aux épreuves réglementaires en conditions normales de transport et de manutention.

## 6.3 CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT

### Epreuves de chute

Les différentes campagnes d'essais de chute, réalisés à température ambiante sur une maquette représentative de l'emballage, confortées par des compléments sur la représentativité de la maquette, montrent que le modèle de colis résiste aux épreuves mécaniques règlementaires (chute de 9 mètres et chute de 1 mètre sur poinçon de 150 mm).

Ces essais ont été confortés par des simulations numériques réalisées à -40°C et à la température maximale en conditions normales de transport (85°C pour le bois des capots et 110°C pour toutes les autres pièces de l'emballage) qui confirment le comportement satisfaisant du modèle de colis après les épreuves de chutes représentatives des conditions accidentelles de transport.

En particulier, le taux de fuite est maintenu et la géométrie de l'enceinte de confinement est conservée.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 13/23

### 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.

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

## **6.4 CONCLUSION**

La résistance structurelle de l'emballage satisfait aux prescriptions réglementaires pour un modèle de colis de type B contenant des matières fissiles dans toutes les conditions de transport.

Les déformations du corps de l'emballage étant négligeables, la géométrie de l'emballage sera conservée pour la configuration du colis endommagé dans les analyses en conditions normales de transport ; en conditions accidentelles de transport, les hypothèses de modélisation pénalisantes des analyses thermiques (phase de refroidissement), de radioprotection et de sûreté-criticité prendront en compte une réduction de l'épaisseur de la résine du corps (pour tenir compte de son enfoncement par le poinçon mais également des résultats de l'épreuve thermique (cf. §7)) et l'absence des capots amortisseurs.

## **7. ANALYSE THERMIQUE**

### **7.1 OBJECTIFS**

Ce paragraphe présente l'analyse du comportement thermique de l'emballage, 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 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 CTR, sans ensoleillement et à la température ambiante de 38°C, la température des surfaces accessibles du colis doit rester inférieure à 85°C,
- en CNT, avec l'ensoleillement réglementaire défini dans [1] et à la température ambiante de 38°C.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 14/23

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 règlementaire [1], les performances de sûreté doivent être maintenues.

## 7.2 HYPOTHESES DE CALCUL

Le transport peut se dérouler par voie routière ou maritime avec une puissance thermique linéique maximale définie à 150 W.m<sup>-1</sup>. Un chargement localisé (position quelconque) de 100 W est également autorisé dans l'emballage. Une évaluation est également présentée pour des certains chargements thermiques moindres à 20 W localisés et 30 W.m<sup>-1</sup>. Enfin, certaines études ont été menées de manière enveloppe avec une puissance thermique linéique maximale de 300 W/m.

Les échanges thermiques se font :

- par convection naturelle et rayonnement entre les surfaces externes de l'emballage et/ou du caisson et l'air ambiant extérieur,
- par convection entre les parois internes du caisson et l'air ambiant,
- par échanges radiatifs dans la cavité du colis,
- par conduction dans les matériaux.

En CTR et en CNT, le colis est considéré isolé ou en caisson. Il est toujours modélisé horizontal et sans déformations.

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

## 7.3 RESULTATS

### Conditions de transport de routine

En condition de transport de routine, les températures calculées sur les surfaces accessibles du modèle de colis sont très inférieures à 85°C pour les chargements thermiques de 150 W/m homogène ou de 100 W localisé, ce qui est conforme à un transport sous-utilisation exclusive.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 15/23

### Conditions normales et accidentelles de transport

Les températures des différents constituants de l'emballage atteintes en conditions normales de transport sont compatibles avec les plages d'utilisation des matériaux. Les performances de l'emballage (intégrité des barrières de confinement et des protections radiologiques) ne sont pas altérées en CNT.

En Conditions Accidentelles de Transport, les performances de l'emballage (intégrité des barrières de confinement et des protections radiologiques) ne sont pas diminuées par une montée des températures due à la situation d'incendie pendant 30 minutes et un refroidissement après l'incendie.

## **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 [1], 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.

Cette partie analyse également le taux de remplissage des gorges de joints aux températures atteintes par les joints en CNT et CAT et le taux de compression des joints afin de garantir que les joints conservent leur propriétés d'étanchéité de  $-40^{\circ}\text{C}$  jusqu'à la température maximale déterminée en CAT.

### **8.2 HYPOTHESES DE CALCUL**

Le relâchement d'activité est estimé pour chaque orifice (couvercle de tête et tapes) et l'activité totale relâchée est comparée aux critères réglementaires énoncés ci-dessus.

L'emballage est équipé de joints élastomères, soit de type FKM, soit de type EPDM. Dans le cas des joints EPDM, le transport d'éléments ruptés n'est pas autorisé. Dans le cas des joints FKM, le transport pour des températures inférieures à  $-20^{\circ}\text{C}$  n'est pas autorisé.

La pression interne dans la cavité à l'expédition est prise égale à  $1,04 \cdot 10^5$  Pa.

Dans le cas de transport d'éléments sains, un taux de rupture des gaines et plaques d'au moins 5 % est considéré. Le taux de relâchement des gaz de fission pris en compte dépend du type d'élément et du réacteur d'irradiation.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 16/23

Pour le cas d'un contenu présentant au moins un élément rupté (ou cas d'un mélange d'éléments sains et/ou non-intègres et/ou ruptés), le calcul du relâchement d'activité est effectué en considérant que tous les éléments transportés dans l'emballage sont des éléments ruptés.

La présence d'eau est prise en compte pour les calculs de relâchement d'activité dans le cas d'éléments ruptés.

Dans le cas d'un élément boursoufflé, un taux minimal de 30 % de relâchement des gaz de fission est pris en compte.

Lorsqu'il est non-intègre, on considère qu'un contenu est susceptible de continuer de relâcher des gaz de fission lors des conditions normales de transport, dans des proportions dépendant du type d'élément et du réacteur d'irradiation.

Le cas d'éléments sains et/ou ruptés pressurisés avant irradiation est également étudié en fonction du contenu.

En conditions accidentelles de transport, on considère 100 % de rupture de gaines.

Les calculs des taux de remplissage des gorges et de compression des joints sont réalisés à partir des paramètres suivants :

- températures enveloppes de celles atteintes en transport ;
- coefficient de dilatation volumique des joints ;
- dimensions des joints avec tolérances pénalisantes.

### 8.3 CONCLUSION

Les critères réglementaires de relâchement d'activité en conditions normales et accidentelles de transport sont respectés lorsque l'emballage est chargé des contenus définis au paragraphe 4 du présent document, en considérant les masses maximales de métal lourd autorisées dans l'emballage pour chaque contenu et en tenant compte des marges prises pour couvrir les incertitudes de calculs.

La pression interne ne dépasse jamais la pression maximale admissible en situation exceptionnelle de service calculée (83 bars).

Le taux maximal de remplissage des gorges de joints d'étanchéité est inférieur à 100% en conditions normales et en conditions accidentelles de transport.

Les taux de compression à une température de -40°C de tous les joints sont supérieurs à 15%.

L'étanchéité de l'enveloppe de confinement de l'emballage est assurée par les joints toriques sur toute la plage de température, en conditions normales comme en conditions accidentelles de transport.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 17/23

Ainsi, le modèle de colis considéré dans les conditions de températures déterminées par l'analyse thermique et chargé des contenus décrits au paragraphe 4 du présent document, respecte les critères réglementaires de relâchement d'activité en conditions normales et accidentelles de transport.

## 9. ANALYSE DE LA RADIOPROTECTION

### 9.1 OBJECTIFS

L'objet de ce paragraphe est d'évaluer l'efficacité de la protection radiologique de l'emballage dans les conditions de transport réglementaires, chargé des contenus décrits dans le paragraphe 4 du présent document.

Les limites réglementaires concernant le débit de dose dans le cadre d'un transport de matières radioactives sont :

- en conditions de transport de routine (CTR), pour un transport réalisé sous-utilisation exclusive :
  - 10 mSv.h<sup>-1</sup> au contact des parois du colis ;
  - 2 mSv.h<sup>-1</sup> au contact du moyen de transport ;
  - 0,1 mSv.h<sup>-1</sup> à 2 mètres du moyen de transport ;
- en conditions normales de transport (CNT), une augmentation du débit de dose au contact du colis inférieure à 20 % sur toute surface externe du colis par rapport aux CTR ;
- en conditions accidentelles de transport (CAT) :
  - 10 mSv.h<sup>-1</sup> à 1 mètre des parois du colis.

### 9.2 HYPOTHESES DE CALCUL

L'ensemble des contenus autorisés dans le modèle de colis est étudié.

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

En conditions accidentelles de transport, de manière très pénalisante, l'emballage est considéré sans capots et la résine est supposée brûlée partiellement et remplacée par de l'air.

La géométrie de l'emballage IR200 est conservée ainsi que les épaisseurs de plomb car les épreuves de CAT entraînent des déformations négligeables sur l'emballage.

Les calculs de DED sont effectués sur la base des spectres gamma et neutron de chaque contenu à l'aide des codes ORIGEN, CESAR et TRIPOLI-4.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 18/23

Pour chaque contenu, pour un taux de combustion et une durée de refroidissement donnés, la masse maximale admissible ou l'activité maximale admissible sont déterminées de façon à respecter les critères réglementaires associés à un transport sous utilisation exclusive.

Les résultats sont déterminés à la position pénalisante du détecteur, c'est-à-dire au point de calcul pour lequel la limite réglementaire est la plus rapidement atteinte lorsque la masse transportée augmente.

### 9.3 CONCLUSION

Pour les masses et/ou les activités maximales déterminées lors des calculs, éventuellement minorées de manière pénalisante, les critères réglementaires sont respectés.

Les débits d'équivalent de dose autour de l'emballage respectent les prescriptions réglementaires en vigueur, en conditions de transport de routine, ainsi qu'en conditions normales et accidentelles de transport, lorsqu'il est chargé des contenus tels que définis au paragraphe 4 du présent document.

## 10. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE

### 10.1 OBJECTIFS

Ce paragraphe justifie la sous criticité du modèle de colis, chargé de matières fissiles dans les conditions normales et accidentelles de transport.

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 ;
- un réseau de 5N colis en CNT réfléchi par 20 cm d'eau et rien entre les colis ;
- un réseau de 2N colis en CAT réfléchi par 20 cm d'eau ; la modération par un matériau hydrogéné entre les colis et dans l'agencement doit entraîner une multiplication maximale des neutrons ;

N représentant le nombre maximal de colis admissible sur le moyen de transport.

Les configurations 5N colis en CNT et 2N colis en CAT sont couvertes par un réseau infini de colis dans l'état résultant des CAT (une réflexion totale des neutrons est considérée sur les surfaces externes de l'emballage).

Les critères de sous criticité retenus dans le cadre de cette étude sont  $k_{\text{eff}}+3\sigma \leq 0,95$  pour les configurations de colis isolé et  $k_{\text{eff}}+3\sigma \leq 0,98$  pour un réseau de colis. Ces critères dépendent précisément du milieu fissile de référence.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 19/23

## 10.2 HYPOTHESES DE CALCUL

En CNT, le colis est modélisé intègre.

Dans les configurations « colis isolé CAT » et « réseau infini de colis en CAT », les capots ne sont pas modélisés et la résine neutrophage est partiellement brûlée et remplacée par un brouillard d'eau de densité variable, à l'instar de tous les espaces libres de l'emballage.

Sept milieux fissiles de références sont considérés :

- un milieu fissile de référence  $UO_2$ ,
- un milieu fissile de référence  $PuO_2$ ,
- un milieu fissile de référence U sous forme métallique,
- un milieu fissile de référence Pu sous forme métallique,
- un milieu fissile de référence (U+Pu)C,
- un milieu fissile de référence (U+Pu)N,
- un milieu fissile de référence MOX.

Les milieux fissiles sont modélisés sous forme homogène et/ou hétérogène, modérés par une quantité quelconque d'eau ou de  $CH_2$  lorsque la présence de matériaux plus hydrogénés que l'eau est autorisée, ne présence de matériaux réflecteurs occupant tout l'espace libre de la cavité selon les contenus.

Les contenus sont considérés ruinés dans la cavité ou dans les aménagements internes assurant une fonction de sûreté-criticité (dont l'intégrité est garantie suite aux épreuves représentatives des CAT).

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

- Pour l'emballage : diamètre maximal de la cavité (203 mm), épaisseurs d'acier, de plomb et de résine du corps, d'acier des tapes (avant et fond) et du bouchon de barillet, épaisseurs d'acier et de plomb du barillet et épaisseur de tungstène du poussoir ;
- Pour les contenus : la limitation de la masse (selon les contenus), la forme physico chimique du milieu fissile, la composition isotopique (selon les contenus).

## 10.3 CONCLUSION

Le modèle de colis respecte les critères de sûreté-criticité retenus.

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

Pour tous les contenus identifiés au paragraphe 4, les calculs mettent en évidence le respect des critères d'admissibilité précisés au paragraphe 10.1.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 20/23

## 11. ANALYSE DES RISQUES SUBSIDIAIRES

### 11.1 OBJECTIFS

L'objet de ce paragraphe est de démontrer que le modèle de colis constitué de l'emballage, chargé de ses différents contenus admissibles, permet de prévenir les risques secondaires et notamment les risques d'inflammation, d'explosion et de surpression. Ces risques sont liés à la production et l'accumulation dans le volume libre de l'enveloppe de confinement de gaz inflammables par :

- radiolyse de l'eau susceptible d'être présente dans les éléments ruptés en CNT et CAT (contenu 1, contenu 2, contenu 3 et contenu 8) ;
- radiolyse et thermolyse de matières hydrogénées autres que l'eau (contenu 11).

### 11.2 HYPOTHESES DE CALCUL

Les contenus concernés par le risque de radiolyse sont les contenus 1, 2, 3 et 8 susceptibles de contenir une certaine quantité d'eau dans des crayons ruptés et le contenu 11 susceptible de contenir des matières hydrogénées autres que l'eau.

Le contenu 11 est concerné par le risque de thermolyse car il est susceptible de contenir des matières hydrogénées autres que l'eau.

L'étude de radiolyse définit, à partir des mesures de dihydrogène réalisées en cavité après la fermeture de l'emballage pour les contenus 1, 2, 3 et 8, la durée de transport maximale aléas compris avant atteinte d'une atmosphère explosive, en fonction de la température.

L'étude de radiolyse du contenu 11 définit à la fois la puissance thermique absorbée dans la matière hydrogénée fixée et le temps de transport maximal aléas compris avant atteinte d'une atmosphère explosive, en fonction de la température.

L'étude de thermolyse définit à la fois la masse maximale de matières hydrogénées dans le colis et le temps de transport maximal aléas compris avant atteinte d'une atmosphère explosive, en fonction de la température.

La matière hydrogénée est assimilée à du polyéthylène (CH<sub>2</sub>) pour l'étude des phénomènes de radiolyse et de thermolyse.

Les gaz inflammables produits par radiolyse et thermolyse sont assimilés à du dihydrogène.

Lors du transport d'éléments ruptés pouvant contenir de l'eau ou de matières hydrogénées, la cavité est inertée à l'azote.

Plus généralement, après un chargement sous eau, la cavité est séchée.

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 21/23

### 11.3 CONCLUSION

Les modalités d'expédition spécifiques au transport des contenus comprenant des crayons inétanches et/ou des produits hydrogénés permettent de garantir que la teneur en hydrogène dans le ciel gazeux de la cavité est inférieure à la limite inférieure d'inflammabilité de l'hydrogène pendant toute la durée du transport. Ainsi, l'absence de risque d'inflammation et d'explosion du dihydrogène dans la cavité des modèles de colis IR 200 est assurée.

Le risque hydrogène est maîtrisé pendant toute la durée du transport pour les contenus 1, 2, 3 et 8.

Pour le contenu 11, le risque hydrogène est maîtrisé pour une masse maximale de métal lourd associée à une masse maximale de matières hydrogénées et à un temps de transport maximal, aléas compris, fixés.

Dans l'hypothèse d'une réaction d'explosion de l'hydrogène par déflagration, la pression maximale atteinte dans la cavité du modèle de colis est inférieure à la pression maximale admissible en situation exceptionnelle de service pour l'emballage. Ainsi, l'explosion par déflagration de l'hydrogène ne remet pas en cause la tenue mécanique de l'enceinte de confinement.

La sûreté du modèle de colis n'est pas remise en cause dans l'hypothèse d'une réaction d'explosion de l'hydrogène dans la cavité.

## 12. EXPLOITATION DE L'EMBALLAGE

### 12.1 INSTRUCTIONS D'UTILISATION

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 du colis est interdit.

L'emballage peut être chargé indifféremment en piscine ou en cellule, à l'horizontale ou à la verticale. Quelle que soit l'orientation de l'emballage, il est interdit de poser le colis en appui sur ses capots : c'est la semelle ou les tourillons par le biais du châssis qui doivent reprendre les efforts.

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

- vérification de l'entretien conformément à son autorisation en vigueur ;
- conformité du contenu à son autorisation en vigueur ;
- contrôle d'étanchéité ;
- contrôle des vis et de leur serrage ;
- contrôle radiologique du colis (contamination et intensité du rayonnement) ;
- contrôle de la température des surfaces accessibles de l'emballage ;

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 22/23

- contrôles réglementaires de débit de dose sur le moyen de transport ;
- vérification de la mise en place des scellés condamnant l'accès aux orifices.

## 12.2 INSTRUCTIONS DE MAINTENANCE

Chaque emballage fait l'objet :

- d'une petite maintenance, tous les 30 transports ou tous les 3 ans, selon ce qui est le plus limitatif ;
- d'une grande maintenance, tous les 60 transports à plein ou tous les 6 ans, selon ce qui est le plus limitatif.

Les opérations de petite maintenance consistent :

- au contrôle du bon état général de l'emballage (aspect extérieur, tourillons, bouchons fusibles, capots, taraudages et vis des éléments démontés) ;
- au contrôle de l'état et de l'étanchéité de l'enveloppe de confinement (joints, portées et gorges de joints, test d'étanchéité) ;
- au remplacement des joints des tapes par des joints neufs ;
- au contrôle du bon état mécanique général, en particulier des portées et congés des tourillons et oreilles de levage ;
- au contrôle de bon fonctionnement du système d'ouverture.

Les opérations de grande maintenance consistent en complément :

- au contrôle visuel de l'enceinte interne ;
- au contrôle de l'étanchéité de l'enceinte de confinement intégrant la part provenant des soudures et des bouchons fusibles des capots ;
- au contrôle dimensionnel des tourillons ;
- au contrôle par ressuage des soudures des organes de manutention ;
- au contrôle du système d'ouverture (barillet et étriers).

	<b>Démonstration de sûreté du modèle de colis IR200</b>	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS009	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 23/23

### 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 qualification et la fabrication ;
- 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 mettre en place des systèmes de management de la qualité adaptés, répondant aux exigences de l'un ou l'autre des documents en référence, et produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.

### 14. CONCLUSION

Le modèle de colis constitué par l'emballage IR200 chargé de son contenu est conforme à la réglementation applicable aux colis de type B contenant des matières fissiles :

- les essais de chute 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 des matières transportées sont maîtrisés ;
- les instructions d'utilisation et de maintenance sont définies de manière à conserver les performances du modèle de colis.