


<p><b>Orano TN</b></p> <p><b>DOSSIER DE SURETE</b></p> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">&lt; FS65 &gt;</p>	<p>Diffusion limitée Orano - Autorités</p> <p><b>CHAPITRE 00 – ANNEXE 1</b></p>	 <p><b>orano</b></p> <p>TN international</p>												
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Préparation</td> <td style="width: 33%; border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Date</td> <td style="width: 33%; border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Signature</td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Vérification</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Date</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Signature</td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> </tr> </table>	Préparation	Date	Signature				Vérification	Date	Signature				
Préparation	Date	Signature												
Vérification	Date	Signature												
<p><b>Identification :</b></p>	<p><b>DOS-18-014743-007</b></p>	<p><b>Vers. 1.0</b></p>	<p><b>Page 1 / 17</b></p>											

## CARACTERISTIQUES DES PERFORMANCES DU COLIS

### Sommaire

1. Introduction	3
2. Description et définitions	3
3. Performances d'un point de vue mécanique	6
4. Performances d'un point de vue thermique	9
5. Performances d'un point de vue confinement	11
6. Performances d'un point de vue radioprotection	12
7. Performances d'un point de vue sûreté-criticité	14
8. Conditions d'utilisation	16
9. Programme d'entretien périodique	16
10. Programme d'assurance qualité	17

**État des révisions**

Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
		[REDACTED]	
■	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
■	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
■	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
■	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
		[REDACTED]	
■	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

## 1. Introduction

L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du colis FS65, destiné au transport par voie routière, d'un assemblage de combustible neuf à base d'oxyde mixte de plutonium et d'uranium, appelé MOX, en tant que colis de type B(M) contenant des matières fissiles.

Les dispositions transitoires du Règlement AIEA Edition 2012 (paragraphe 820) autorise l'utilisation de modèle de colis agréé en vertu de l'Edition 1985 (revue en 1990) dans les conditions suivantes :

- Le modèle de colis est soumis à un agrément multilatéral.
- Les prescriptions applicables énoncées au paragraphe 306 sont appliquées.
- Les limites d'activité et la classification figurant au chapitre IV sont appliquées.
- Les prescriptions et les contrôles pour le transport figurant au chapitre V sont appliqués.

La liste des règlements internationaux respectés par le modèle de colis FS65 est la suivante :

- Règlement de transport des matières radioactives – Edition de 1985 (revue en 1990) - Agence Internationale de l'Energie Atomique.
- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR).
- Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (arrêté TMD).

Le transport de l'emballage s'effectue en position horizontale. L'assemblage de combustible est rangé dans l'alvéole d'un aménagement interne disposé dans la cavité (ci-après désigné par le terme « panier ») lui-même disposé dans la cavité de l'emballage.

## 2. Description et définitions

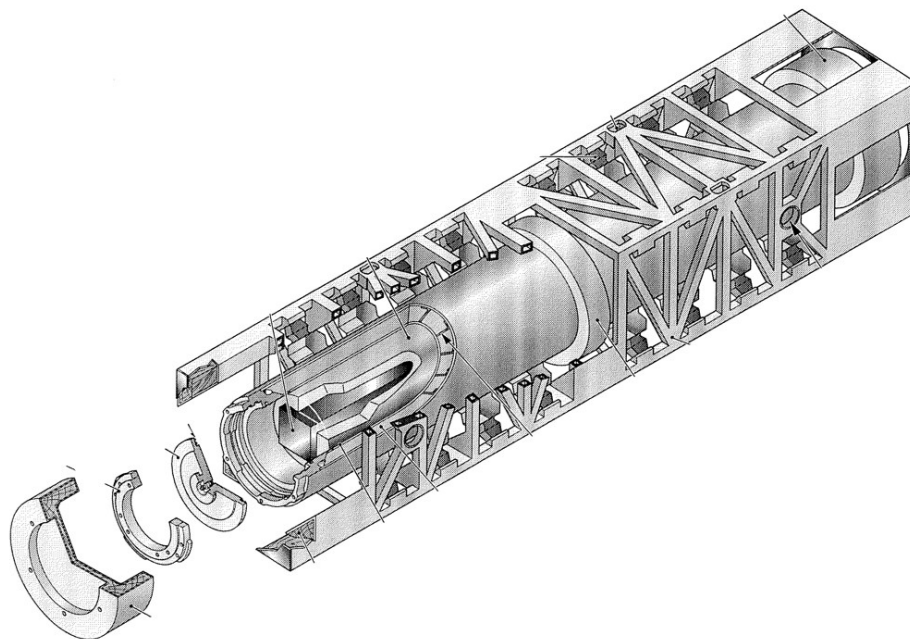
### 2.1 Description du colis

Le combustible nucléaire est constitué à partir de crayons de combustible assemblés en réseau (crayon à base d'oxyde mixte de plutonium et d'uranium, appelé MOX) et est issu de la fabrication sur l'usine ORANO MELOX à destination des réacteurs civils de puissance (réacteurs à eau pressurisée au Japon).

L'emballage est composé d'une cage parallélépipédique à l'intérieur de laquelle est suspendu un corps de forme cylindrique, équipé d'un système de fermeture et de trois capots amortisseurs.

Les dimensions principales de l'emballage sont les suivantes :

- |   |   |                           |
|---|---|---------------------------|
| - section de la cage                            | : | 980 × 980 mm <sup>2</sup> |
| - longueur de la cage                           | : | 5 323 mm                  |
| - diamètre du corps en partie courante          | : | 698 mm                    |
| - diamètre des capots amortisseurs              | : | 925 mm                    |
| - longueur hors tout du corps équipé des capots | : | 5 200 mm                  |



Le colis FS65 est transportable par voie terrestre (transport routier)

## 2.2 Description de l'emballage

Les principaux composants de l'emballage FS65 sont :

Une cage d'arrimage et de manutention composée principalement d'un treillis de poutres en aluminium de section carrée. Elle est équipée de caissons remplis de bois, situés dans les coins de la cage, au droit des capots amortisseurs de l'emballage. La liaison et le maintien en position centrée du corps de l'emballage dans la cage, sont assurés par un ensemble de 32 plots en matériau de type élastomère. La cage est pourvue de dispositifs de manutention et d'arrimage.

Un corps cylindrique constitué de deux viroles coaxiales en acier inoxydable, soudées sur un fond en acier inoxydable et sur une bride de tête, également en acier inoxydable. Une portée est usinée dans la partie médiane de la bride de tête afin de recevoir le système de fermeture. L'espace inter-viroles est rempli de résine qui joue le rôle d'absorbant neutronique et d'isolant thermique en situation d'incendie. Cette résine est traversée radialement et longitudinalement par des plaques de cuivre qui assurent la conduction thermique au travers de la résine.

Le système de fermeture est constitué de trois pièces : un couvercle, une bague filetée de couvercle et une bague baïonnette, elle-même munie d'un filetage. Le couvercle est maintenu en appui sur la bride du corps au moyen de la bague filetée. Celle-ci est vissée dans la bague baïonnette qui prend elle-même appui sur la bride du corps. Le couvercle comporte aussi un orifice débouchant, pouvant être équipé d'un raccord rapide, permettant éventuellement la mise en place d'un outillage pour le remplissage optionnel de la cavité par un gaz neutre, sa mise en dépression ou le prélèvement d'échantillons gazeux. Cet orifice est fermé par une tôle. L'étanchéité du couvercle et de la tôle est assurée par des joints toriques en élastomère.

Trois capots amortisseurs de chocs : un capot de couvercle, un capot de fond, et un capot central enserrant le corps de l'emballage à mi-longueur. Ces capots ont pour but d'amortir les impacts subis en conditions accidentelles de chute et assurent également une isolation thermique des parties recouvertes en situation accidentelle d'incendie. De façon générale, la structure des capots est délimitée par une enveloppe en acier inoxydable renforcée et cloisonnée par des goussets, et remplie de bois. Les capots sont fixés sur le corps par des vis.

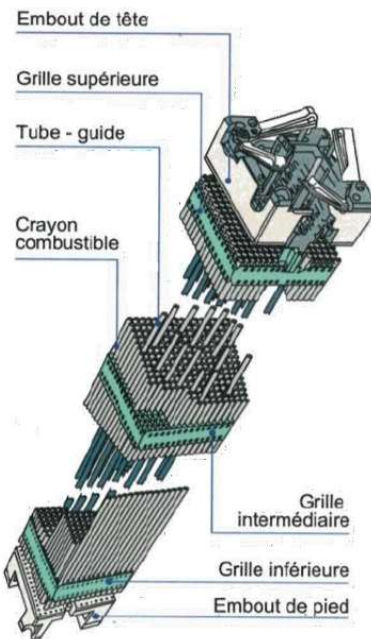
## 2.3 Description du contenu

Le contenu est constitué par l'aménagement interne de la cavité, d'un système de retenue dans la cavité de l'aménagement interne et l'assemblage de combustible neuf enfermé dans un fuel holder.

L'aménagement interne est composé d'un panier destiné à recevoir l'assemblage de combustible neuf dans son fuel holder: le panier AA-391.

Le panier est constitué d'une structure en aluminium et en acier. Cette structure délimite une alvéole de section carrée constituée de tôles en acier inoxydable destinées à recevoir l'assemblage de combustible neuf dans son fuel holder.

Le contenu est bloqué longitudinalement dans la cavité par le système de retenue



Le schéma de principe ci-contre illustre la constitution d'un assemblage combustible.

Un assemblage combustible comprend des crayons combustibles formant un réseau incomplet à pas carré 17x17. Les emplacements sans combustible sont occupés par des tubes qui servent à la fois d'entretoises entre les embouts d'extrémité et de guides pour les barres de contrôle.

Des grilles sont fixées sur ces tubes et assurent le positionnement transversal et longitudinal des crayons.

Le contenu autorisé limite les paramètres importants pour la sûreté et qui sont utilisés dans le dossier de sûreté ; en particulier :

- La géométrie de l'assemblage.
- La teneur maximale et la composition isotopique de l'oxyde.
- La masse maximale de métal lourd.
- La puissance thermique maximale dégagée par l'assemblage.

Le fuel holder est une enveloppe en acier dans laquelle est enfermé l'assemblage de combustible durant sa manutention et son transport.

## 2.4 Enceinte de confinement

L'enceinte de confinement de l'emballage est délimitée par :

- la cavité de l'emballage ;
- le couvercle et la tige de son orifice, et leur joint d'étanchéité.

## 2.5 Bilan de masses

Le tableau ci-dessous présente les masses des principaux composants du colis FS65 en configuration de transport.

Composants	Masses (kg)
Corps	2661
Système de fermeture	151
Capot de couvercle	239
Capot de fond	190
Capot central	58
Cage de transport et de manutention	647
<b>Masse totale de l'emballage à vide</b>	<b>3946</b>
<b>Masse totale du colis en transport</b>	<b>5800 maxi</b>

## 3. Performances d'un point de vue mécanique

### 3.1 En conditions de transport de routine

#### Tenue à la pression

La virole interne, la bride de tête, le fond, le couvercle et ses tapes d'orifices sont dimensionnés à une pression interne de 3 bars. Cette pression de dimensionnement couvre les pressions pouvant être rencontrées en conditions réglementaires de transport.

#### Arrimage et manutention

La cage est pourvue de quatre blocs verrou tournant permettant la manutention horizontale, et de quatre paliers permettant la manutention verticale.

La tenue de ces dispositifs de manutention est justifiée pour des chargements statiques représentatifs des accélérations vues en manutention, ainsi qu'à la fatigue suite au cumul des cycles de sollicitations en manutention.

La cage est pourvue d'inserts inférieurs et supérieurs dans lesquels sont fixés des pions, permettant l'arrimage et le gerbage des colis.

La tenue mécanique de la cage et de ses élément d'arrimage est démontrée pour un chargement statique correspondant aux efforts vus en conditions de transport en routine ainsi qu'à la fatigue suite au cumul des cycles de sollicitations en transport.

#### Structures auxiliaires

Les structures auxiliaires de l'emballage sont la virole externe et les capots amortisseurs de chocs. La tenue de la virole externe du corps de l'emballage est démontrée pour une pression différentielle de 1 bar. La tenue de l'enveloppe des capots amortisseurs est démontrée pour une pression différentielle de 0,25 bar. La tenue de l'enveloppe des capots, des oreilles de manutention et des vis de fixation est démontrée pour une accélération représentative des conditions de manutention et des conditions normales de transport, donc majorante des conditions de transport de routine.

### 3.2 En conditions normales de transport

La tenue de l'enveloppe des capots, des oreilles de manutention et des vis de fixation est démontrée pour une accélération représentative des conditions normales de transport. Le bon comportement du colis lors de l'épreuve réglementaire de chute libre de 0,9 mètre, précédée d'une chute de 0,3 mètre, est couvert par son bon comportement lors des épreuves représentatives des conditions accidentelles de transport. Les autres épreuves réglementaires (gerbage, aspersion et pénétration d'une barre) sont sans impact sur la sûreté du modèle de colis.

### 3.3 En conditions accidentelles de transport

Le comportement de l'emballage FS65 dans les conditions accidentelles de chutes est déduit des essais réalisés sur un emballage FS65-prototype, de conception identique et de dimensions très voisines de celles de l'emballage FS65.

L'emballage FS65-prototype a subi plusieurs chutes de 9 mètres et de 1 mètre sur poinçon selon différentes orientations.

Les résultats des essais montrent que le corps de l'emballage conserve son étanchéité, son blindage et ses dimensions après une chute de 9 mètres sur un sol considéré indéformable, quelle qu'en soit l'orientation. Il a également été montré que la forme des plots permet leur écrasement pendant l'impact sans risque pour le corps.

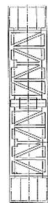
Ensuite, le bon comportement de l'emballage FS65 lors des chutes de 0,9 m + 9 m sur toute la plage de température réglementaire est démontré par calculs numériques, sur la base d'un modèle recalé sur le comportement observé lors des essais de chute de l'emballage FS65-prototype.

#### Ensemble des chutes réalisées sur le FS65 prototype

Les chutes retenues pour être testées physiquement sont celles maximisant les dommages possibles sur les éléments de l'enceinte de confinement.

Les chutes ont été réalisées tel que décrit ci-après.

#### Première chute



La 1<sup>ère</sup> chute est une chute verticale de 9 mètres sur capot de couvercle. Cette séquence permet d'évaluer les dommages causés sur la cage, l'emballage, de vérifier la capacité d'amortissement du capot avant et l'efficacité du système de retenue du contenu.

Lors de la chute : l'écrasement du capot de couvercle a été constaté, ainsi que des dommages sur la cage.

A la fin de la chute, les mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent que l'enceinte de confinement conserve un bon niveau d'étanchéité.



#### Deuxième chute

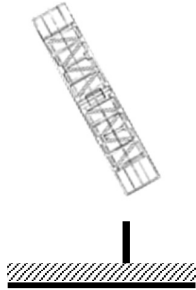


La 2<sup>ème</sup> chute est une chute quasi horizontale de 9 mètres. Cette séquence permet d'évaluer les dommages causés sur la cage et l'emballage et de vérifier la capacité d'amortissement des capots.

Lors de la chute : l'écrasement des capots a été constatée, ainsi que des dommages sur la cage.

A la fin de la chute, les mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent que l'enceinte de confinement conserve un bon niveau d'étanchéité.

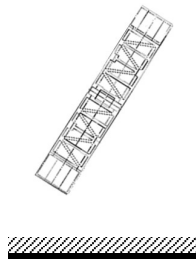


Troisième chute

La 3<sup>ème</sup> chute est une chute oblique de 1 mètre sur poinçon sur capot de couvercle. Cette séquence permet de tester la résistance de la plaque de renfort du capot de couvercle, protégeant le système de fermeture.

Lors de la chute : un enfoncement à l'extérieur du capot est constaté.

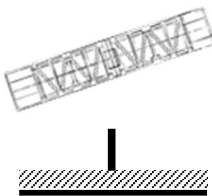
A la fin de la chute, les mesures d'étanchéité par gaz traceur Hélium normalisées montrent que l'enceinte de confinement conserve un bon niveau d'étanchéité.

Quatrième chute

La 4<sup>ème</sup> chute est une chute oblique sur capot de couvercle de 9 mètres. Cette séquence permet de tester la capacité d'amortissement du capot et l'étanchéité du système de fermeture.

Lors de la chute : Le capot de couvercle s'est écrasé.

A la fin de la chute, les mesures d'étanchéité par gaz traceur Hélium normalisées montrent que l'enceinte de confinement conserve un bon niveau d'étanchéité.

Cinquième chute

5<sup>ème</sup> chute est une chute horizontale sur de 1 mètre poinçon, avec impact au centre de l'emballage en évitant le capot central. Cette séquence permet de tester la résistance du corps de l'emballage et de valider la tenue de l'enceinte de confinement.

Lors de la chute : On constate une déformation de la virole externe au point d'impact sans ovalisation détectable du corps.

A la fin de la chute, les mesures d'étanchéité normalisées par gaz traceur Hélium montrent que l'enceinte de confinement conserve un bon niveau d'étanchéité.

Compléments basés sur les essais

Le bon comportement de l'emballage FS65 sur toute la plage de température de transport est démontré par calculs numériques, sur la base d'un modèle recalé sur le comportement observé lors des essais de chute de l'emballage FS65-prototype.

La modélisation numérique à l'aide du logiciel de calcul LS-DYNA permet de reproduire le comportement mécanique de l'emballage et de ses capots, observé sur la maquette lors de la chute.

Le bon comportement du panier AA-391 est analysé de façon analytique et permet de conclure sur son bon comportement mécanique lors des épreuves de chutes représentatives des conditions accidentelles de transport. De plus le comportement mécanique du système de retenue du contenu du colis FS65 en conditions accidentelles de chutes est évalué au moyen d'un modèle numérique. Les résultats permettent de conclure en l'absence de remise en cause de l'étanchéité de l'enceinte de confinement.

Conclusion : L'emballage maintient son étanchéité lors de toutes les configurations de chutes.

L'épreuve d'immersion en conditions accidentelles de transport est étudiée en considérant de manière enveloppe une immersion de 15 m pendant une semaine. A l'issue de cette épreuve, l'emballage conserve son intégrité.



## 4. Performances d'un point de vue thermique

### 4.1 En conditions de transport de routine

Les performances thermiques du colis FS65 en conditions de transport de routine sont couvertes par ses performances en conditions normales de transport.

### 4.2 En conditions normales de transport

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

Les principales caractéristiques du contenu influant sur les études thermiques sont :

- la puissance thermique maximale du colis,
- la position dans la cavité de la longueur active de l'assemblage.

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

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

- les matériaux et la géométrie du panier,
- les matériaux et la géométrie de l'emballage.

#### Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- la température ambiante réglementaire,
- l'ensoleillement réglementaire.

#### Méthode de calcul

L'étude est réalisée en 3 étapes :

- calcul de la température de l'emballage par un modèle numérique,
- calcul de la température des composants du panier de manière analytique,
- calcul de la température des crayons de l'assemblage de combustible réalisé par un modèle spécifique tenant compte des températures des composants du panier, de la géométrie du logement et du fuel holder, des propriétés thermiques de ces deux composants, et de l'émissivité des gaines des crayons combustibles

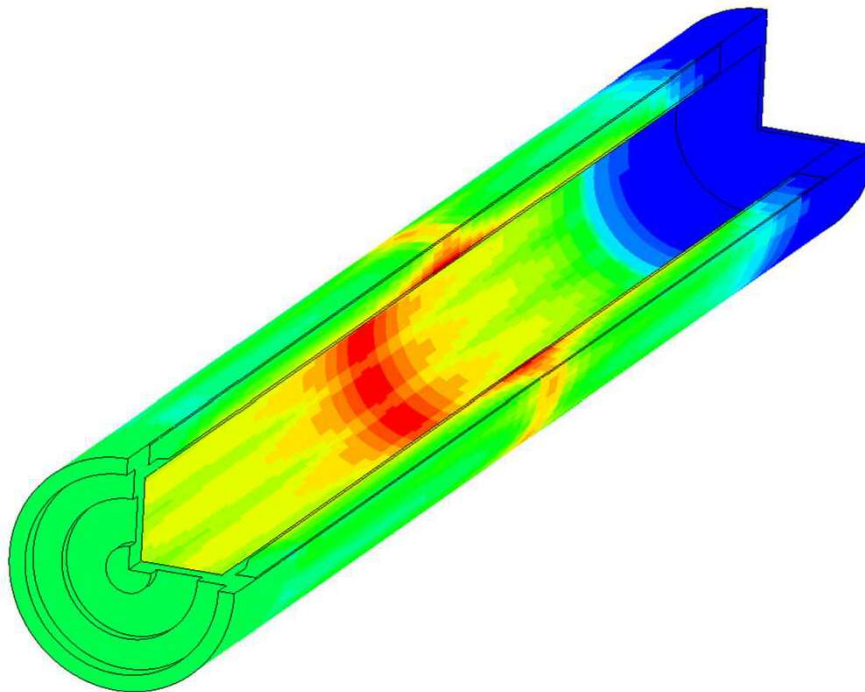
L'analyse des températures de l'emballage est réalisée à l'aide du logiciel I-DEAS utilisant un modèle numérique représentant le colis (emballage). Le calcul thermique est réalisé selon la méthode des volumes finis avec le module TMG interfacé avec I-DEAS.

Les principales hypothèses et simplification du modèle sont :

- les capots ne sont pas modélisés, mais remplacés de manière enveloppe par des surfaces adiabatiques au contact du corps de l'emballage.
- Le contenu n'est pas modélisé, mais la puissance de l'assemblage de combustible est directement appliquée sur la virole interne.

#### Résultats de l'étude

Le champ de températures (exemple représenté sur la figure ci-après) dans le colis est utilisé dans les différentes parties du dossier de sûreté.



La température des composants sensibles à la température sont compatibles avec leur critère d'intégrité ; en particulier :

- Joint d'étanchéité : la température maximale des joints permet de justifier le non-endommagement des joints sur un nombre de cycles de transport compatible avec la fréquence de remplacement en maintenance. Par ailleurs, la dilatation du joint dans sa gorge vérifie un taux de remplissage inférieur à 100%.
- Résine neutrophage : la température maximale de la résine reste inférieure à sa limite d'utilisation.

#### 4.3 En conditions accidentelles de transport

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

Les calculs tiennent compte des endommagements suivants :

- Ecrasement du capot de tête résultant des chutes présentées en paragraphe 3.3.
- Une partie de la matière radioactive (et sa puissance thermique) est considérée au contact du système de fermeture.

Pour le refroidissement après feu, le colis est considéré en position la plus pénalisante vis-à-vis des échanges dans la partie courante, c'est-à-dire en position horizontale.

##### Hypothèses importantes pour l'étude

La principale hypothèse utilisée est la suivante :

- Application d'une température ambiante de 800°C pendant 30 minutes autour du colis conformément à la réglementation.

##### Méthode d'analyse

Cette étude a été réalisée avec le code de calcul I-DEAS/TMG.

Le modèle considéré est un modèle complet du corps, du capot avant endommagé et des capots central et arrière (contrairement au modèle utilisé en conditions normales de transport avec une modélisation adiabatique des capots).

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

- A. Le champ de température initial du colis est celui des conditions normales de transport.
- B. Pendant la période réglementaire de 30 minutes, le feu est simulé par :
  - a. une température ambiante réglementaire de 800°C.
  - b. un coefficient d'échange convectif autour de l'emballage égal au coefficient recommandé par la réglementation de 10 W/m<sup>2</sup>/K représentatif d'une convection forcée dans un incendie englobant.
  - c. l'émissivité des flammes de 0,9 conformément à la réglementation.
- C. Après feu, l'ensoleillement est appliqué pour un colis en position horizontale (position plus pénalisante pour l'ensoleillement).

### Résultats de l'étude

L'exposition des joints à :

- 1 an en continu à la température maximale obtenue en conditions normales de transport,
- puis 7 jours au profil de température le plus pénalisant obtenu en conditions accidentelles de transport (supposée constante sur 7 jours de manière pénalisante),

conduit à des endommagements cumulés très inférieurs à 1.

Enfin, les taux de remplissage des joints aux températures maximales en conditions accidentelles de transport sont inférieurs à 100 %.

## **5. Performances d'un point de vue confinement**

L'analyse de confinement du modèle de colis FS65 tient compte du colis chargé du contenu défini au paragraphe 2.3. L'enceinte de confinement est définie au paragraphe 2.4.

Les critères réglementaires de relâchement d'activité sont vérifiés par calcul analytique en suivant la méthodologie décrite dans la norme ISO 12807. Cette étude tient compte des fuites de particules aérosols radioactives.

### **5.1 En conditions de transport de routine**

L'analyse de confinement en conditions de transport de routine est couverte par celle effectuée en conditions normales de transport.

### **5.2 En conditions normales de transport**

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

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- La teneur et composition isotopique de l'assemblage de combustible.
- La pression à l'intérieur des crayons combustibles et le volume libre maximal par crayon.
- Les températures maximales des gaines des crayons combustibles issues de l'analyse thermique.

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

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- Le taux de fuite maximal de l'enceinte de confinement vérifié avant expédition.
- Les températures maximales des gaz et des joints, issues de l'analyse thermique.
- Le volume libre de la cavité.

### Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- Le taux de crayons ruptés en conditions normales de transport est de 5%.
- La pression externe minimale du colis est la pression ambiante réglementaire minimale de 0,6 bar.

### Méthode de calcul

La méthodologie est décrite dans la norme ISO 12807 et est basée sur une phase de relâchement d'activité : la pression atmosphérique de 0,6 bar entraîne une surpression dans le colis. Le flux de fuite se fait donc de l'intérieur vers l'extérieur, entraînant un relâchement d'activité à l'extérieur. Le relâchement d'activité reste inférieur au critère réglementaire de  $10^{-6}$  A<sub>2</sub>/h.

### Résultats de l'étude

Le critère réglementaire est respecté.

## **5.3 En conditions accidentelles de transport**

Les différences principales avec le calcul en CNT sont les suivantes :

- Le taux de crayons ruptés en conditions accidentelles de transport est de 100%.
- Les températures maximales des gaines de crayons, des gaz et des joints sont issues des calculs thermiques en conditions accidentelles de feu (paragraphe 4.3).

Les résultats montrent une marge significative par rapport au critère réglementaire de 1 A<sub>2</sub> cumulé sur une semaine.

## **6. Performances d'un point de vue radioprotection**

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

- Conditions de transport de routine (CTR): 2 mSv/h en tout point des surfaces externes du colis.
- Conditions normales de transport (CNT) : augmentation de l'intensité de rayonnement maximale sur toute surface externe du colis inférieure à 20%.
- Conditions accidentelles de transport (CAT) : 10 mSv/h à 1 mètre de la surface du colis.

### **6.1 En conditions de transport de routine**

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

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- les dimensions de l'assemblage de combustible,
- la masse de métal lourd,
- la masse des différents isotopes de l'oxyde de plutonium,
- le vieillissement des sources radioactives,
- la position dans la cavité de la longueur active des assemblages.

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

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

Le blindage radial est principalement formé par :

- la virole interne en acier,

- la couche de résine de blindage neutronique, traversée par des plaques en cuivre,
- la virole externe en acier,
- le logement du panier en acier et sa tôle d'habillage en aluminium.

Le blindage axial en tête est principalement formé par :

- plaque de tête en acier du fuel holder,
- le couvercle en acier du système de fermeture,
- les composants en acier et aluminium du capot de tête,
- le bois du capot de tête,

Le blindage axial en fond est principalement formé par :

- le fond en acier,
- l'enveloppe en acier du capot de fond,
- le bois du capot de fond,

#### Hypothèses importantes pour l'étude

Dans cette étude, l'effet du vieillissement de la résine a été pris en compte sur une durée de vie de l'emballage de 20 ans.

#### Méthode de calcul

Les calculs de débits d'équivalent de dose ont été menés à l'aide du code ORIGEN2.1 pour un contenu dit « de référence ». Il permet de résoudre l'équation du transport des particules dans une géométrie à trois dimensions par la méthode de Monte Carlo. Les calculs de débits de dose pour le contenu du modèle de colis sont effectués par comparaison aux résultats obtenus pour ce contenu de référence.

Les coefficients de conversion de flux en dose sont effectués en CIPR 60 (FQN 20).

Les sources induites (sources secondaires) créées par les réactions des neutrons sur les éléments de la résine neutrophage sont prises en compte.

#### Résultats de l'étude

Le respect des critères de débit d'équivalent de dose en conditions de transport de routine est garanti pour le contenu radioactif maximal de chacun des contenus.

## **6.2 En conditions normales de transport**

En conditions normales de transport, il est pris en compte l'écrasement des capots consécutif à l'épreuve de chute libre de 0,9 mètre, précédée d'une chute de 0,3 m, représentatives des épreuves réglementaires des conditions normales de transport. Les autres épreuves réglementaires (gerbage, aspersion et pénétration d'une barre) étant sans impact sur la sûreté du modèle de colis (voir paragraphe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Il n'y a pas de modification de la position du contenu en conditions normales de transport.

#### Résultats de l'étude

Le débit d'équivalent de dose en conditions normales de transport n'augmente pas de plus de 20%, par rapport au débit d'équivalent de dose en conditions de routine.

### 6.3 En conditions accidentelles de transport

En conditions accidentelles de transport, suite aux épreuves réglementaires de chutes et d'incendie, on considère que le blindage (résine) de l'emballage ainsi que les capots ont disparu.

#### Résultats de l'étude

Le respect du critère réglementaire de débit d'équivalent de dose à 1 m en conditions accidentelles de transport est garanti.

## 7. Performances d'un point de vue sûreté-criticité

La sûreté-criticité doit être assurée, suivant la réglementation pour :

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

Les critères de sous-criticité retenus sont les suivants :

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

#### Paramètres du contenu importants le cas échéant pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- la longueur active de l'assemblage combustible,
- le diamètre des pastilles,
- la densité des pastilles,
- la géométrie des gaines des crayons

#### Système d'isolement

Le système d'isolement du colis est constitué des éléments suivants :

- Pour l'assemblage combustible :
  - L'oxyde mixte d'uranium et de plutonium,
- Pour le panier AA-391 :
  - Les logements en acier inoxydable ;
- Pour l'emballage FS65 :
  - L'espace inter-viroles (composé de résine et de cuivre),
  - La virole interne en acier inoxydable,
  - Le fond en acier inoxydable et en bois,
  - Le couvercle en acier inoxydable.

## 7.1 Colis non endommagé

le cas du colis non endommagé correspond au cas du colis en conditions de transport de routine.

L'emballage, le panier et le contenu sont intègres.

## 7.2 Colis endommagé

L'état du colis est considéré à l'issue de la combinaison d'épreuves suivantes :

- scénario 1 : soit du cumul des épreuves des conditions normales et accidentelles de transport : épreuves des conditions normales de transport (chute libre de 0,9 m précédée d'une chute libre de 0,3 m sur chacun des coins de la cage, aspersion, gerbage et pénétration) suivies des épreuves des conditions accidentelles de transport (chute de 9 m et chute de 1 m sur poinçon dans l'ordre pénalisant) suivies de l'épreuve d'incendie et complétées par l'épreuve d'étanchéité par l'immersion pendant 8 h sous 0,9 m d'eau,
- scénario 2 : soit les épreuves des conditions normales de transport (chute libre de 0,9 m précédée d'une chute libre de 0,3 m sur chacun des coins de la cage, aspersion, gerbage et pénétration) suivies par l'épreuve d'immersion de 15 m pendant 8 h.

Hypothèses de base appliquées à tous ces scénarii :

- le colis est endommagé (suppression des capots, suppression du bois au fond de l'emballage et d'une partie de résine),
- la cage est négligée.

Pour le scénario 1 :

- Le panier et l'assemblage sont considérés comme ruinés, avec dispersion totale de la matière fissile dans la cavité.
- Pénétration partielle d'eau dans la cavité.

Pour le scénario 2 :

- L'emballage, le panier et l'assemblage sont intègres.
- Pénétration totale d'eau dans la cavité.

Ce scénario couvre les conditions de transport de routine.

## 7.3 Résultats

Les valeurs de réactivité ( $k_{\text{eff}} + 3\sigma$ ) restent inférieures aux critères du colis isolé et du réseau de colis pour un nombre N de colis égal à 4 (ISC = 12,5).

## 8. Conditions d'utilisation

L'emballage est conçu pour être chargé et déchargé verticalement à sec.

Les analyses de sûreté décrites ci-avant nécessitent notamment d'exécuter les étapes, les vérifications et critères ci-dessous avant l'expédition du colis :

- Le combustible chargé doit respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé.
- La bonne fermeture et le niveau d'étanchéité (taux de fuite) de tous les composants constituant l'enceinte de confinement.
- La mise en place des scellés.
- La vérification de la non contamination de l'emballage en conformité avec les limites réglementaires.
- Le contrôle des débits d'équivalent de dose autour du colis en conformité avec les limites réglementaires.
- La mise en place de l'étiquetage réglementaire.

## 9. Programme d'entretien périodique

Le programme d'entretien prévu au cours de l'utilisation de l'emballage est défini en fonction de deux types de périodicités suivant les composants importants pour la sûreté : le nombre de cycles de transport réalisés et la durée d'utilisation.

Le programme d'entretien comprend notamment :

- le remplacement des joints de l'enceinte de confinement pour une durée compatible avec sa durée de vie,
- le contrôle de l'état des composants et essai du système de fermeture afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté,
- le contrôle des éléments assurant la manutention et l'arrimage du colis et des capots,
- le contrôle de l'étanchéité des capots et de soudures de l'enceinte de confinement.

Tout emballage présentant un ou des composants ne satisfaisant pas aux critères spécifiés dans le programme d'entretien est mis hors service jusqu'à ce que l'action corrective appropriée soit effectuée.

Tout composant devenu non conforme peut être réparé ou accepté en l'état si une analyse complémentaire démontre que cela ne remet pas en cause les conclusions du dossier de sûreté. Dans le cas contraire, le composant doit être remplacé.



## 10. Programme d'assurance qualité

Les réglementations de transport en vigueur à la date du présent chapitre font obligation d'appliquer des programmes d'assurance de la qualité pour :

- la conception,
- la fabrication et les épreuves,
- l'utilisation,
- la maintenance,
- le transport,

des colis de matières radioactives.

Ces activités sont réalisées par différents acteurs (concepteur, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, constructeurs, utilisateurs, expéditeurs, transporteurs, sociétés de maintenance...) qui doivent tous établir des programmes d'assurance de la qualité adaptés à celles-ci, et produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.