

| | | |
|--|--|--|
|  | DIFFUSION ORDINAIRE Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur | Chrono diffusion (code barre) : <u>DES/DDSD/DTEL/SGPE 2020-027</u> |
| | CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET | Page 1/33 |

Direction des Énergies
 Direction des projets de Démantèlement,
 de Service nucléaire et de gestion des Déchets
 Département Transports, Emballages et Logistiques
 Service de Gestion du Parc d'Emballages
 Groupe Autorisations Externes Transport

DEMONSTRATION DE SURETE DE LA SURCOQUE MANON

CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 Ind.01



DIFFUSION ORDINAIRE

Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur

DSS

Page 2/33

Réf. :
CEA/DES/DDSD/DTL/SGPE/GAET/
SURCOQUE MANON/DSS 2020-001
Ind.01

Chrono : SGPE/GAET 2020-027

Date : 11/03/20

Indice : 01

Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON

| NIVEAU DE CONFIDENTIALITE | | | | |
|---------------------------|----|------|----|----|
| DO | DR | CCEA | CD | SD |
| X | | | | |

| SUIVI DES VERSIONS | | | |
|--------------------|----------|-----------------------|------------------|
| INDICE | DATE | NATURE DE L'EVOLUTION | PAGES, CHAPITRES |
| 01 | Cf. visa | Edition originale | 33 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| | NOM | FONCTION | VISA |
|----------------------|--------------|------------------------|--------------------|
| REDACTEUR | S. MILANESIO | Chargé d'affaires GAET | po: L. DROUARD |
| VERIFICATEUR | M. BOUCHER | Chef du GAET | |
| APPROBATEUR/EMETTEUR | T. CUVILLIER | Chef du SGPE | |

| | | | |
|--|--|---|-------------|
|  | DIFFUSION ORDINAIRE Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur | DSS | Page 3/33 |
| | | Réf. : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 Ind.01 | |
| | | Chrono : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | Date : 11/03/20 | Indice : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

MOTS CLEFS

MANON, surcoque, EDCE, EDCI, SV69, SV34, agrément

RESUME / CONCLUSIONS de même niveau de confidentialité que le document

Le présent document décrit :

- l'emballage de transport surcoque MANON et ses divers contenus,
- la démonstration de maîtrise des risques pour les diverses fonctions de sûreté du modèle de colis,
- les spécifications relatives à l'utilisation et l'entretien de l'emballage, ainsi que les principes d'assurance qualité applicables.

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

DIFFUSION INITIALE

Signataires

Clt : 7.4.5.3

| | | | |
|--|--|---|-------------|
|  | DIFFUSION ORDINAIRE Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur | DSS | Page 4/33 |
| | | Réf. : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 Ind.01 | |
| | | Chrono : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | Date : 11/03/20 | Indice : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 7 |
| 1.1 OBJET DU DOCUMENT | 7 |
| 1.2 Documents de référence | 7 |
| 1.3 Glossaire | 8 |
| 2. DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE | 8 |
| 2.1 Description générale..... | 8 |
| 2.1.1 Corps et système de fermeture | 10 |
| 2.1.2 Systèmes amortisseurs | 11 |
| 2.2 Configurations du modèle de colis | 11 |
| 2.2.1 Configuration SV 34 | 11 |
| 2.2.2 Configuration SV 69 | 11 |
| 2.2.3 Configuration EDCE | 11 |
| 2.3 Manutention et arrimage de l'emballage | 12 |
| 3. DESCRIPTION DES CONTENUS | 12 |
| 3.1 Forme physique..... | 12 |
| 3.2 Forme chimique..... | 13 |
| 3.3 Propriétés radiologiques..... | 13 |
| 3.4 Propriétés thermiques | 13 |
| 3.5 Configuration des contenus autorisés | 14 |
| 3.5.1 Configuration conteneur SV 34 modifié muni de l'EDCI | 14 |
| 3.5.2 Configuration conteneur SV 69 | 15 |
| 3.5.3 Configuration EDCE chargée d'un Al..... | 15 |
| 4. ETUDES MECANIQUES | 17 |
| 4.1 Objectifs..... | 17 |
| 4.2 Modélisation | 17 |
| 4.2.1 Calculs statiques : pressions réglementaires et tenue des organes de manutention et d'arrimage... 17 | 17 |
| 4.2.2 Calculs dynamiques : Epreuves de chutes en CNT et CAT | 18 |



DIFFUSION ORDINAIRE

Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur

DSS

Page 5/33

Réf. :
CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/
SURCOQUE MANON/DSS 2020-001
Ind.01

Chrono : SGPE/GAET 2020-027

Date : 11/03/20

Indice : 01

Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.3 | Résultats..... | 18 |
| 4.3.1 | Pressions réglementaires..... | 18 |
| 4.3.2 | Tenue des organes de manutention et d'arrimage | 19 |
| 4.3.3 | Epreuves réglementaires en CNT et CAT..... | 19 |
| 5. | ETUDE THERMIQUE..... | 20 |
| 5.1 | Objectifs..... | 20 |
| 5.2 | Données d'entrée | 20 |
| 5.3 | Résultats..... | 21 |
| 6. | ETUDE DE RELACHEMENT D'ACTIVITE..... | 22 |
| 6.1 | Objectifs..... | 22 |
| 6.2 | Données d'entrée | 22 |
| 6.3 | Résultats..... | 23 |
| 7. | ETUDE DE RADIOPROTECTION | 23 |
| 7.1 | Objectifs..... | 23 |
| 7.2 | Données d'entrée | 23 |
| 7.3 | Résultats..... | 24 |
| 8. | ETUDE DE SURETE-CRITICITE..... | 24 |
| 8.1 | Objectifs..... | 24 |
| 8.2 | Données d'entrée | 25 |
| 8.2.1 | Modélisation du colis | 25 |
| 8.2.2 | Milieu fissile de référence..... | 26 |
| 8.2.3 | Codes de calculs et critères d'acceptation..... | 26 |
| 8.3 | Résultats..... | 26 |
| 9. | ETUDE DES RISQUES DE RADIOLYSE ET DE THERMOLYSE..... | 27 |
| 9.1 | Objectifs..... | 27 |
| 9.2 | Cas d'étude considérés..... | 27 |
| 9.2.1 | Coque CC33..... | 27 |
| 9.2.2 | Fûts 870L VS..... | 28 |



DIFFUSION ORDINAIRE

Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur

DSS

Page 6/33

Réf. :
CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/
SURCOQUE MANON/DSS 2020-001
Ind.01

Chrono : SGPE/GAET 2020-027

Date : 11/03/20

Indice : 01

Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON

| | | |
|------------|---|-----------|
| 9.3 | Hypothèses..... | 28 |
| 9.4 | Résultats..... | 28 |
| 10. | INSTRUCTION D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE DE L'EMBALLAGE | 28 |
| 10.1 | Utilisation | 29 |
| 10.1.1 | Consignes générales..... | 29 |
| 10.1.2 | Manutention et arrimage | 29 |
| 10.1.3 | Contrôles d'étanchéité..... | 29 |
| 10.2 | Maintenance | 30 |
| 10.2.1 | Contrôles et périodicité..... | 30 |
| 10.2.2 | Contrôles systématiques | 30 |
| 10.2.3 | Contrôles de petite maintenance | 31 |
| 10.2.4 | Contrôles de grande maintenance | 31 |
| 11. | ASSURANCE QUALITE | 32 |
| 11.1 | Conception | 32 |
| 11.2 | Fabrication..... | 32 |
| 11.3 | Utilisation et maintenance | 32 |
| 12. | CONCLUSION | 33 |

| | | | |
|--|--|--|--------------------|
|  | DIFFUSION ORDINAIRE Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur | DSS | Page 7/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 Ind.01 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

1. INTRODUCTION

1.1 OBJET DU DOCUMENT

Le présent dossier a pour but de présenter et de justifier les solutions techniques retenues pour le transport de la surcoque MANON chargée :

- d'un conteneur SV 34 muni de son Enceinte De Confinement Interne (EDCI),
- d'un conteneur SV 69,
- d'une Enceinte De Confinement Externe (EDCE) contenant :
 - un Appareil Indémontable (AI),
 - une coque CC33 contenant une source radioactive,
 - un fût 870 L VS.

Cette note justifie la conformité à la réglementation applicable au transport :

- de colis de type B(U),
- de colis de type B(U)F,

au titre de la réglementation de transport par route [DR-2] [DR-4] ou par voie maritime [DR-3] des matières radioactives définie par l'AIEA 2012 [DR-1].

1.2 DOCUMENTS DE REFERENCE

- [DR-1] Règlement de transport de matières radioactives de l'Agence internationale de l'énergie atomique, collection normes de sûreté, N° SSR-6, édition de 2012
- [DR-2] Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR)
- [DR-3] Code maritime international des marchandises dangereuses (code IMDG de l'OMI)
- [DR-4] Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit « arrêté TMD »)

| | | | |
|--|--|--|--------------------|
|  | DIFFUSION ORDINAIRE Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur | DSS | Page 8/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 Ind.01 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

1.3 GLOSSAIRE

| Termes / Sigles | Définitions |
|-----------------|---|
| EDCE | Enceinte De Confinement Externe |
| EDCI | Enceinte De Confinement Interne |
| CC33 | Coque dénommée « CC33 » |
| 870 L VS | 870 Litres Vrac-Sources |
| AI | Appareil Indémontable |
| PUNM | Pression d'Utilisation Normale Maximale |
| CTR | Conditions de Transport de Routine |
| CNT | Conditions Normales de Transport |
| CAT | Conditions Accidentelles de Transport |
| DED | Débit d'Equivalent de Dose |
| LII | Limite Inférieure d'Inflammabilité |

2. DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE

2.1 DESCRIPTION GENERALE

L'emballage « Surcoque MANON » est composé d'une surcoque et d'un contenant qui peut être, suivant le besoin :

- un conteneur SV34 avec son Enceinte De Confinement Interne (EDCI),
- un conteneur SV69,
- une Enceinte De Confinement Externe (EDCE) chargée d'un Appareil Indémontable (AI), ou d'une coque CC33 dans laquelle est conditionnée une source radioactive, ou d'un fût 870L VS.

Le contenant est placé à l'intérieur d'une surcoque de protection de forme générale cylindrique, qui le protège des agressions mécaniques extérieures.

A l'intérieur de la surcoque de protection sont insérés des calages qui ont pour fonction de caler l'élément à transporter (conteneur SV34, conteneur SV69).

NOTA : la configuration avec EDCE ne nécessite pas de calages dans la surcoque mais des calages dans l'EDCE attribués à chaque élément transporté.



DIFFUSION ORDINAIRE

Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur

DSS

Page 9/33

Réf. :
CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/
SURCOQUE MANON/DSS 2020-001
Ind.01

Chrono : SGPE/GAET 2020-027

Date : 11/03/20

Indice : 01

Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON

L'emballage est prévu pour le transport de déchets, de sources radioactives et d'appareils indémontables de type générateur isotopiques. La conception de l'emballage, justifiée par ses contenus, est prévue pour satisfaire la réglementation en vigueur [DR-1] [DR-2] [DR-3] [DR-4] des colis de transport de type B(U) ou B(U)F .

Le colis peut ainsi avoir plusieurs configurations suivant le principe décrit ci-après (Figure 1 et Tableau 1).

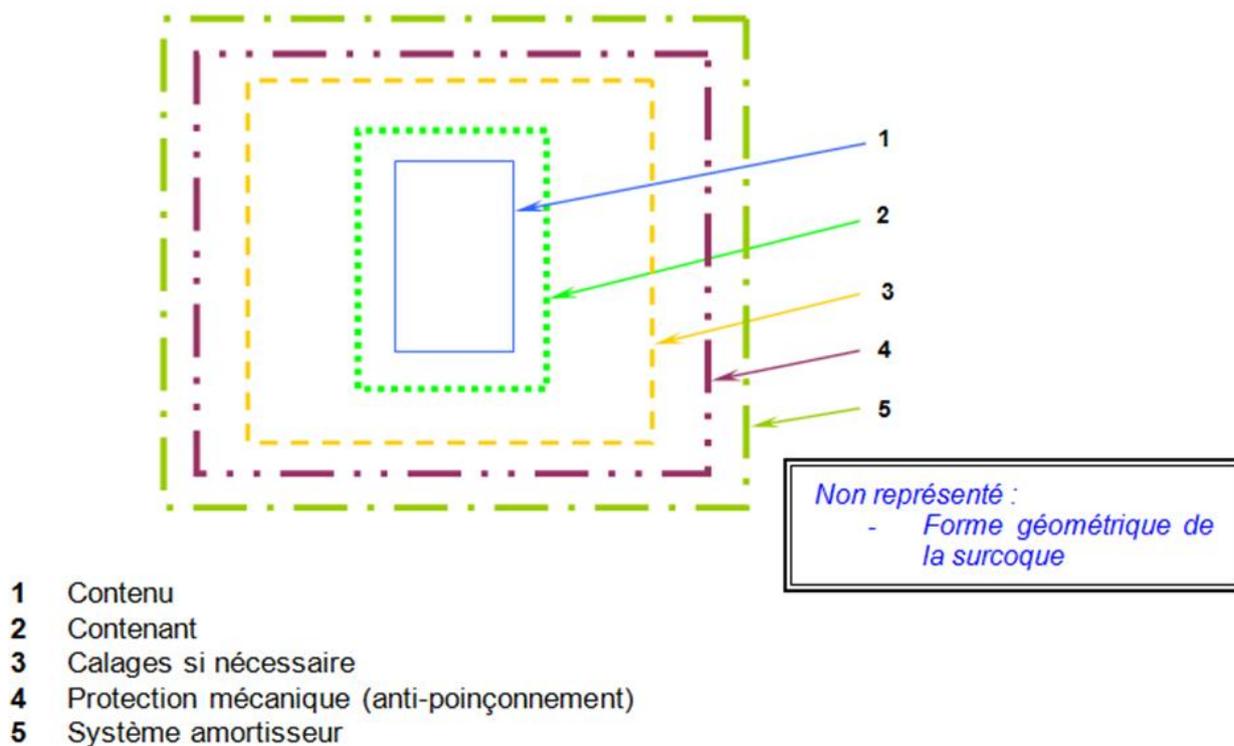


Figure 1 : Schéma de principe du colis « sur-coque MANON »



DIFFUSION ORDINAIRE

Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur

DSS

Page 10/33

Réf. :
CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/
SURCOQUE MANON/DSS 2020-001
Ind.01

Chrono : SGPE/GAET 2020-027

Date : 11/03/20

Indice : 01

Démonstration de sûreté de la **SURCOQUE MANON**

| Eléments | SV 34 | SV 69 | EDCE |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1 | Sources + Panier porte sources | Sources + Panier porte sources | Appareils Indémontables ou coque CC33 ou fût 870 L VS |
| 2 | SV 34 + EDCI | SV 69 | EDCE + calages |
| 3 | Calages dans la surcoque | Calages dans la surcoque | - |
| 4 | Surcoque | Surcoque | Surcoque |
| 5 | | | |

Tableau 1 : Différentes configurations du colis « surcoque MANON »

Les principales caractéristiques dimensionnelles de la surcoque MANON sont :

- diamètre hors tout de la surcoque : 2 550 mm,
- hauteur hors tout de la surcoque : 2 574 mm.

Les masses maximales admissibles de la surcoque MANON en transport sont les suivantes :

- 5 487 kg à vide,
- 13 385 kg lorsqu'elle est chargée du conteneur SV 34 modifié + EDCI et de son calage,
- 15 597 kg lorsqu'elle est chargée du conteneur SV 69 et de son calage,
- 7 635 kg lorsqu'elle est chargée de l'EDCE vide,
- 11 925 kg lorsqu'elle est chargée d'une EDCE avec contenu.

2.1.1 Corps et système de fermeture

La surcoque est constituée d'une protection mécanique externe de forme cylindrique, incluant deux demi-coquilles, supérieure et inférieure, constituées de tôles en acier inoxydable et composées chacune d'une virole soudée à un disque formant le fond.

La bride qui équipe la coquille supérieure est fixée à la bride qui équipe la coquille inférieure par 30 vis H M30x120 de classe 10.9. Un centrage dans la bride du corps permet le positionnement entre les deux parties. Chaque extrémité de la protection externe est munie d'un système amortisseur de chocs.

Des découpes sont aménagées dans les fonds de manière à permettre le passage de l'air.

| | | | |
|--|----------------------------|--|--------------------|
|  | DIFFUSION ORDINAIRE | DSS | Page 11/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/SU RCOQUE MANON/DSS 2020-001 Ind.01 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la surcoque MANON | | | |

2.1.2 Systèmes amortisseurs

Les amortisseurs des deux demi-coquilles sont identiques. Ils sont constitués de mousse phénolique habillée par une tôle en acier inoxydable soudée sur les demi-coquilles. Leur enveloppe extérieure est cylindrique, de diamètre 2 550 mm.

Les amortisseurs ont une forme générale de couronne dans laquelle une empreinte est réalisée de manière à créer une zone de recouvrement de l'enveloppe extérieure. Des passages y sont réalisés de manière à permettre le passage de l'air. Un autre bloc de mousse, indépendant de la couronne, est situé en partie centrale axiale. Ce bloc est soudé sur une tôle anti poinçonnement en acier inoxydable qui recouvre les découpes faites dans le fond des demi-coquilles.

2.2 CONFIGURATIONS DU MODELE DE COLIS

Les divers contenus possibles en fonction de la configuration retenue sont détaillés au paragraphe « Description des contenus ».

2.2.1 Configuration SV 34

Une Enceinte De Confinement Interne (EDCI) est placée dans la cavité de chaque modèle de conteneur SV 34. Un nouveau capot assure partiellement les protections thermique et mécanique de l'enceinte (ces fonctions étant principalement assurées par la surcoque).

Le conteneur SV 34 est placé dans la surcoque avec, en interface, un système de calage composé d'une partie supérieure et d'une partie inférieure.

2.2.2 Configuration SV 69

Le conteneur SV 69 est placé dans la surcoque avec, en interface, un système de calage composé d'une partie supérieure et d'une partie inférieure. Afin d'assurer une mesure globale du taux de fuite, le conteneur SV 69 est équipé d'un couvercle adapté.

2.2.3 Configuration EDCE

L'EDCE est constituée d'une enveloppe de protection mécanique et thermique.

L'EDCE peut recevoir un appareil indémontable, une coque CC33 contenant une source, ou un fût 870 L VS.



DIFFUSION ORDINAIRE

Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur

DSS

Page 12/33

Réf. :
CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/
SURCOQUE MANON/DSS 2020-001

Chrono : SGPE/GAET 2020-027

Date : 11/03/20

Indice : 01

Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON

2.3 MANUTENTION ET ARRIMAGE DE L'EMBALLAGE

La manutention de la surcoque se fait par l'accrochage d'élingues sur 3 plots sur lesquels sont vissés des anneaux M36 d'une capacité de 7 500 kg chacun.

L'emballage est arrimé en position verticale sur son moyen de transport à l'aide de sangles et tendeurs souples fixés sur les quatre oreilles d'arrimage soudées sur la surface externe du colis. La structure du châssis potentiellement utilisé pour le transport est constituée d'un cadre en acier formé de poutrelles métalliques sur lequel repose une plaque en acier (plateforme) soutenant le colis.

Un tapis antiglisser est positionné sur la plateforme du moyen de transport et sous l'emballage.

3. DESCRIPTION DES CONTENUS

La surcoque MANON peut être transportée vide, contaminée ou non, munie ou non de ses aménagements internes, ou chargée des contenus non-fissiles suivants :

- un conteneur SV 34 modifié contenant des sources de cobalt 60 ou de césium 137,
- un conteneur SV 69 modifié contenant des sources de cobalt 60 ou de césium 137,
- une enceinte de confinement externe (EDCE) contenant un appareil indémontable (AI) dans lequel sont conditionnées des sources de strontium 90,
- une enceinte de confinement externe (EDCE) contenant une coque CC33 dans laquelle est conditionnée une source de strontium 90,
ou chargée du contenu fissile suivant :
- une enceinte de confinement externe (EDCE) contenant un fût 870 L VS chargé de déchets solides bloqués par un mortier d'immobilisation de type béton.

3.1 FORME PHYSIQUE

Les sources transportées en SV 34 ou SV 69 sont sous forme solide.

Les appareils indémontables (AI) sont des générateurs électriques de géométrie diverses constitués d'un château de protection en acier et en plomb renfermant une ou plusieurs sources solides de strontium 90 (sous forme de pastilles frittées). De même, les sources de strontium 90 transportées dans la coque CC33 sont composées de pastilles frittées.

| | | | |
|--|---|--|--------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 13/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

Le contenu des fûts 870 L VS est constitué de déchets solides en conditionnements primaires métalliques tels que des boîtes, étuis et conteneurs.... Ces déchets sont ensuite bloqués dans les fûts 870 L VS par un mortier d'immobilisation de type béton.

3.2 FORME CHIMIQUE

Ces sources se présentent sous forme d'oxyde ou de métal, éventuellement alliées avec d'autres éléments (Cl, Al, Si, Ti...).

En ce qui concerne les déchets solides contenus dans les fûts 870 L VS, des éléments légers (Be, Li, B, F, C) peuvent être présents jusqu'à 500 g.

3.3 PROPRIETES RADIOLOGIQUES

Les activités maximales autorisées sont les suivantes :

- 980 TBq pour les sources cobalt 60,
- 3 150 TBq pour les sources césium 137,
- 1 669 TBq pour les sources de strontium 90 contenues dans les Al ou dans la coque CC33,
- $10^5 A_2$ pour le contenu des fûts 870 L VS.
- Concernant le contenu fissile « fût 870L VS », la masse de matière fissile est limitée à 170g telle que :
- $$M_{U-233} + \frac{M_{U-235}}{1,6} + M_{Pu-TOTAL} \leq 170g$$

3.4 PROPRIETES THERMIQUES

La puissance thermique maximale est limitée à :

- 410 W pour les sources cobalt 60 et césium 137,
- 309 W pour les appareils indémontables,
- 31 W pour les sources contenues dans la coque CC33,
- 30 W pour les déchets solides contenus dans les fûts 870 L VS.

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 14/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

3.5 CONFIGURATION DES CONTENUS AUTORISES

3.5.1 Configuration conteneur SV 34 modifié muni de l'EDCI

Le conteneur SV 34 se compose :

- d'un corps cylindrique constitué d'une virole externe en acier inoxydable équipée d'ailettes de refroidissement verticales, d'une protection thermique en plâtre humide (additionnée de copeaux d'inox), d'une virole de séparation en acier doux, d'une protection contre les rayonnements, et d'une virole interne en acier inoxydable,
- d'un fond constitué d'une plaque en acier inoxydable, d'une protection en plomb antimonié à 4%, d'une plaque de séparation en acier inoxydable, d'une protection thermique en plâtre humide et d'une plaque en acier inoxydable.

La virole interne possède une bride permettant d'accueillir l'EDCI.

L'EDCI se compose :

- d'un corps en acier inoxydable constitué d'une enceinte en tôle reliée à une bride. Il est vissé au conteneur SV 34. Sur certains exemplaires d'EDCI, un tube, soudé à la cavité interne et relié à la bride, descend dans le fond de l'enceinte. Il permet de faire la vidange et de participer au séchage de la cavité de l'EDCI.
- d'un couvercle en acier inoxydable équipé de joints en EPDM constituant le système de fermeture. Il est vissé au corps de l'EDCI. Il possède, sur la face externe, un logement pour une tige d'orifice de mise à l'air libre, de vidange et de séchage de la cavité,
- d'un bouchon de protection radiologique constitué d'une enveloppe d'acier inoxydable remplie de plomb antimonié à 4%.
- d'un capot amortisseur constitué de mousse phénolique habillée de tôles d'acier inoxydable. Le capot est vissé sur le couvercle de l'EDCI.

Les principales dimensions du conteneur SV 34 muni de l'EDCI sont les suivantes :

- diamètre utile : 248 mm,
- hauteur utile : 752 mm,
- diamètre hors tout : 1 105 mm,
- hauteur hors tout : 1 611 mm.

La masse maximale du conteneur SV 34 chargé est de 6 344 kg.

| | | | |
|--|---|---|--------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 15/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

3.5.2 Configuration conteneur SV 69

Le conteneur SV 69 se compose :

- d'un corps cylindrique constitué d'une virole externe en acier inoxydable équipée d'ailettes de refroidissement verticales, d'une protection thermique en compound PNT7, d'une protection contre les rayonnements en plomb antimonié à 4% et d'une virole interne en acier inoxydable,
- d'un fond constitué d'une plaque en acier inoxydable, d'une protection en plomb, d'une protection thermique en compound PNT7 et d'une plaque en acier inoxydable,
- d'un bouchon en plomb antimonié à 4% (le bouchon est traversé par une tuyauterie en serpentins de 12,2 mm de diamètre externe),
- d'un système de fermeture constitué d'un couvercle en acier inoxydable équipé de joints EPDM, vissé au corps,
- d'un capot amortisseur en bois (balsa et peuplier) enfermé dans une gaine en acier inoxydable, vissé au corps.

Les principales dimensions du conteneur SV 69 modifié sont les suivantes :

- diamètre utile : 335 mm ;
- hauteur utile : 575 mm ;
- diamètre hors tout : 1 100 mm ;
- hauteur hors tout : 1 612 mm.

La masse maximale du conteneur SV 69 chargé est de 8 800 kg.

3.5.3 Configuration EDCE chargée d'un AI

3.5.3.1 Description de l'EDCE

L'enceinte de confinement externe (EDCE), de forme cylindrique, est constituée de 2 demi-coquilles, supérieure et inférieure, en acier inoxydable, chacune d'entre elles étant composée d'une virole cylindrique soudée en partie inférieure à une tôle d'épaisseur 20 mm, et en partie supérieure à une bride. Les deux brides sont vissées entre elles. Deux gorges trapézoïdales sont usinées dans la bride supérieure afin de recevoir deux joints toriques d'étanchéité en EPDM.

À l'intérieur de chaque demi-coquille, axialement et radialement, est disposée une couche de mousse phénolique assurant une protection mécanique et thermique. L'habillage de la mousse est assuré par des tôles en acier inoxydable.

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 16/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

Les principales dimensions de l'EDCE sont les suivantes :

- diamètre utile : 1 450 mm ;
- hauteur utile : 1 428 mm ;
- diamètre hors tout : 1 780 mm ;
- hauteur hors tout : 1 672 mm.

La masse maximale de l'EDCE à vide est de 2 148 kg, la masse maximale admissible dans l'EDCE est de 4290 kg.

3.5.3.2 Description des appareils indémontables (AI)

Les appareils dits « indémontables » sont des générateurs d'isotopes de Strontium.

Les générateurs isotopiques sont constitués d'un château de protection biologique en plomb renfermant une ou plusieurs sources de strontium ⁹⁰Sr.

Les sources transportées dans les générateurs d'isotopes sont sous forme de pastilles frittées.

3.5.3.3 Description de la coque CC33

La coque CC33 est composée :

- d'un corps cylindrique en acier inoxydable,
- d'un couvercle cylindrique en acier inoxydable fermé sur le corps par l'intermédiaire de systèmes vis/écrous.

3.5.3.4 Description du fût 870L VS

Le fût 870L VS est un emballage métallique pré-équipé d'un enrobage de mortier, fermé par un couvercle boulonné.

Une grille de maintien est positionnée sur les objets. Elle permet d'éviter une remontée des objets lors de l'injection du mortier et d'assurer une épaisseur minimale de mortier minimale en partie supérieure.

| | | | |
|--|--|--|--------------------|
|  | DIFFUSION ORDINAIRE Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur | DSS | Page 17/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

4. ETUDES MECANIQUES

4.1 OBJECTIFS

L'objet de ce chapitre est de présenter les éléments permettant de justifier :

- la résistance aux pressions réglementaires dans les conditions normales et accidentelles de transport (CNT et CAT) définies pour les emballages de type B(U) ou B(U)F pour les enveloppes de confinement du modèle de colis constitué de la surcoque et d'un conteneur SV 34 muni de son EDCI, d'un conteneur SV 69 ou de l'EDCE ;
- la tenue des éléments de l'emballage, par lesquels cheminent les efforts de manutention, issus des accélérations en cours de transport, définis pour les emballages de type B(U) ou B(U)F;
- la tenue mécanique du modèle de colis de type B(U) ou B(U)F en Conditions Normales et Accidentelles de Transport

4.2 MODELISATION

4.2.1 Calculs statiques : pressions réglementaires et tenue des organes de manutention et d'arrimage

Les différents contenants (EDCE, EDCI et SV 69) sont modélisés à l'aide du logiciel ANSYS 11.0.SP1, sur des modèles éléments finis. Les simulations consistent à réaliser des calculs statiques sur les principaux critères d'étude suivants :

- pour la tenue aux pressions réglementaires :
 - o tenue mécanique des pièces assurant le confinement de la matière radioactive par rapport à leur limite élastique admissible,
 - o vérification que la charge critique de flambage n'est pas atteinte lors de la surpression externe.
- pour la tenue des organes de manutention et d'arrimage :
 - o justification des éléments permettant la manutention de la surcoque avec prise en compte d'un coefficient d'amplification égal à 1,6 pour tenir compte du levage à l'arraché,
 - o justification des prises d'arrimage de la surcoque soumises aux accélérations réglementaires lors du transport routier et maritime,
 - o analyse de la tenue à la fatigue des dispositifs de manutention et d'arrimage.

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 18/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

4.2.2 Calculs dynamiques : Epreuves de chutes en CNT et CAT

Les comportements mécaniques du conteneur sont étudiés par la méthode des éléments finis.

Les calculs dynamiques sont effectués par le code de calcul LS-DYNA version 970. Ce code permet de traiter tous les phénomènes de propagation d'ondes et de transfert d'énergie entre les divers matériaux pouvant entrer en contact.

Les modélisations prennent en compte les configurations de chute les plus pénalisantes :

- étude de différents angles de chute (sur fond, sur toit, latérale, coin, arête, avec ou sans fouettement) afin d'évaluer les conditions les plus sévères,
- calculs réalisés à la température de -40°C permettant de maximiser les accélérations, calculs réalisés à la température de +70°C permettant de maximiser les déformations et les effets de talonnement,
- prise en compte des contenus les plus pénalisants en termes de masse.
- de plus, suite à l'étude analytique des chutes des différentes configurations de colis, les chutes les plus pénalisantes en termes de déformations et d'accélérations ont été retenues pour des essais sur une maquette à l'échelle 1/3 (chute libre représentative des CNT et CAT et chute libre sur poinçon représentative des CAT).

4.3 RESULTATS

4.3.1 Pressions réglementaires

4.3.1.1 EDCE

Les pressions différentielles impliquées par la baisse de pression ambiante jusqu'à 60 kPa et par l'augmentation de la pression externe, en cas d'immersion, de 150 kPa, ne provoquent pas de perte d'étanchéité de l'enceinte de confinement.

La PUNM est inférieure à la limite de 700 kPa fixée par la réglementation.

4.3.1.2 EDCI

Les pressions différentielles issues de la baisse de pression ambiante jusqu'à 60 kPa et de l'augmentation de la pression externe, en cas d'immersion, de 150 kPa, ne provoquent pas de perte d'étanchéité de l'enceinte de confinement.

La PUNM est inférieure à la limite de 700 kPa fixée par la réglementation.

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 19/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

4.3.1.3 SV 69

Les pressions différentielles issues de la baisse de pression ambiante jusqu'à 60 kPa et de l'augmentation de la pression externe, en cas d'immersion, de 150 kPa, ne provoquent pas de perte d'étanchéité de l'enceinte de confinement.

La PUNM est inférieure à la limite de 700 kPa fixée par la réglementation.

4.3.2 Tenue des organes de manutention et d'arrimage

A la suite des différentes analyses, il apparait, pour le transport routier et maritime :

- qu'il n'y a pas de déformation plastique pour les éléments permettant la manutention du colis chargé,
- que la non-rupture fragile de l'ensemble des éléments participant à l'arrimage après 10^7 cycles est assurée,
- que les niveaux de contraintes atteints dans les éléments amovibles sont inférieurs aux limites élastiques,
- et que les tenues au gerbage du système amortisseur et de la coque sont assurées.

La tenue mécanique du modèle de colis lors de la manutention, de l'arrimage et du gerbage est donc assurée.

4.3.3 Epreuves réglementaires en CNT et CAT

Suite aux épreuves de chute réglementaires, il apparait que :

- les dommages se limitent à des déformations plus ou moins importantes de l'enveloppe de protection et des calages. Les tôles anti-poinçonnement ne sont pas percées ou déchirées. Le bouchon radiologique de l'EDCI est maintenu en place. Les systèmes de confinement sont maintenus en place. Les taux d'étanchéité sont respectés. Il n'y a donc aucune rupture du dispositif de fermeture des enceintes de confinement,
- les sources et les contenus de l'EDCE ne subissent aucune agression externe.

La tenue mécanique du modèle de colis soumis aux épreuves réglementaires est donc assurée.

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 20/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

5. ETUDE THERMIQUE

5.1 OBJECTIFS

L'objet de ce chapitre est d'évaluer les comportements thermiques du modèle de colis constitué de la surcoque contenant un conteneur SV 34, un conteneur SV 69 ou une EDCE, et de déterminer les températures maximales atteintes par ces constituants en Conditions Normales et Accidentelles de Transport (CNT et CAT) telles que définies par la réglementation applicable à ce dossier de sûreté. Les résultats de cette étude permettent de démontrer que le colis répond aux exigences réglementaires ci-dessous :

- en CTR sans ensoleillement à la température ambiante de 38°C, la température des surfaces accessibles du colis doit rester inférieure à 50°C en transport sous-utilisation non exclusive,
- en CNT avec l'ensoleillement réglementaire, à la température ambiante de 38°C, les températures maximales atteintes par les constituants du colis doivent rester dans les domaines d'utilisation de leur matériau constitutif,
- en CAT, suite à l'épreuve d'incendie (période d'exposition de 30 minutes à un feu de température moyenne de flamme d'au moins 800°C), suivie d'une période post-accidentelle de refroidissement, définie par l'exposition du colis à la température ambiante de 38°C et sous ensoleillement réglementaire, les performances de sûreté doivent être maintenues.

Ce chapitre permet aussi de justifier la tenue à la température ambiante de -40°C des différents matériaux constituant l'emballage et en particulier, la maîtrise des risques de rupture fragile pour les aciers.

Enfin, il est démontré que le transport confiné (camion bâché ou cale d'un bateau) du colis ne remet pas en cause la sûreté du modèle de colis.

5.2 DONNEES D'ENTREE

CTR :

La puissance thermique maximale du contenu de la surcoque MANON, à savoir 410 W, conduit à un flux thermique surfacique inférieur à 15 W/m². Dans ce cadre et d'après la réglementation, les températures de surface de la surcoque MANON sont toujours inférieures à 50°C, même en conditions de transport confiné.

Toutefois, dans le cadre d'un transport maritime, le moyen de transport utilisé devra permettre :

- de réguler la température en cale pour qu'elle ne dépasse pas 55°C,
- ou de contrôler la température pour garantir le respect de cette limite sur l'ensemble du trajet.

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 21/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

CNT/CAT :

Des calculs ont été menés pour déterminer les comportements thermiques des constituants du modèle de colis par une méthode analytique par volumes finis, en utilisant le logiciel ANSYS CFX. Le maillage de la géométrie a été réalisé par CFX Mesh.

Concernant l'EDCE, le comportement thermique est étudié par méthode des éléments finis via le logiciel ANSYS 11.

Au vu de la complexité du colis, une étude thermique a été réalisée pour chaque configuration à savoir :

- une étude thermique du conteneur SV 69 avec la surcoque,
- une étude thermique du conteneur SV 34 avec la surcoque,
- une étude thermique de l'EDCE avec la surcoque avec le contenu Marguerite 20, enveloppe en termes de puissance des différents contenus de l'EDCE.

En transport confiné, l'emballage est supposé chargé, de manière pénalisante, d'une source thermique de 771 W.

De manière pénalisante et afin de garantir les résultats de cette étude quelle que soit la nature du matériau constituant le dispositif de confinement, son absorptivité solaire est prise à 0,8.

L'émissivité du dispositif de confinement est prise à 0,6.

5.3 RESULTATS

Les températures atteintes sur les enveloppes de confinement restent inférieures aux limites admissibles. En particulier sur les joints, les limites admissibles sont définies par les températures d'utilisation données par le fournisseur, et par les températures qui pourraient conduire à une extrusion des joints de confinement.

Les critères imposés en CTR, CNT et CAT dans la réglementation sont respectés pour toutes les configurations en transport.

Les joints de l'EDCI, de l'EDCE et du couvercle SV 69 sont correctement dimensionnés pour se dilater thermiquement sans risque de rompre le confinement de l'enceinte. Le taux d'écrasement des joints sur la plage de température imposée par les épreuves thermiques est toujours compris dans les conditions d'utilisation données par le constructeur. L'étanchéité est donc assurée.

Les fonctions de confinement et de protection sont donc conservées.

La résistance des différents éléments du colis à - 40°C est démontrée via la nature des matériaux mis en œuvre, des essais de résilience, des essais de chute ou encore via un traitement thermique approprié. A titre d'exemple, les joints EPDM présentent une bonne tenue au froid (inférieure à -40°C).

| | | | |
|--|--|--|--------------------|
|  | DIFFUSION ORDINAIRE Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur | DSS | Page 22/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

Les températures maximales atteintes par le modèle de colis en moyen de transport confiné sont inférieures aux températures obtenues dans le cas d'un transport à l'air libre (conditions normales de transport avec colis isolé au soleil). Le transport en moyen confiné du modèle de colis surcoque MANON de puissance interne maximale de 711 W n'est pas de nature à remettre en cause la sûreté du colis.

6. ETUDE DE RELACHEMENT D'ACTIVITE

6.1 OBJECTIFS

L'objet de ce chapitre est de démontrer que le modèle de colis satisfait aux exigences et critères réglementaires de relâchement d'activité.

Selon les exigences issues de la réglementation applicable, les taux maximaux admissibles de relâchement d'activité d'un colis de type B(U) ou B(U)F sont :

- $10^{-6} A_2/h$ à l'issue des CNT,
- $1 A_2/semaine$ à l'issue des CAT.

6.2 DONNEES D'ENTREE

Les hypothèses suivantes sont prises en compte :

- le relâchement d'activité est uniquement la conséquence d'une fuite d'aérosols, assimilés de manière pénalisante à des gaz relâchés par capillarité,
- la concentration des aérosols dans l'emballage est supposée égale à $10^{-3} g.m^{-3}$ en CNT et à $9 g.m^{-3}$ pendant la première demi-heure puis $0,1 g.cm^{-3}$ pendant une semaine en CAT (soit une concentration moyenne intégrée sur une semaine de $0,1265 g.m^{-3}$),
- un facteur de rétention de 10^{-2} est appliqué sur la quantité d'aérosols susceptible d'être libérée en dehors du fût 870 L VS (déchets bloqués dans un mortier d'immobilisation),
- les calculs sont réalisés sur le joint le plus pénalisant, à savoir celui de diamètre le plus élevé (10 mm pour l'EDCI et l'EDCE et 7 mm pour le conteneur SV 69),
- tous les gaz sont supposés parfaits,
- la pression externe minimale absolue est de 60 kPa.

Le diamètre capillaire est établi selon la méthodologie décrite dans la norme ISO 12807.

À partir du diamètre de capillaire équivalent précédemment évalué, le flux de fuite et le relâchement d'activité par fuite d'aérosol associé peuvent être évalués en conditions CNT et CAT.

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 23/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

6.3 RESULTATS

Les flux de fuite normalisés admissibles Q_{SLR} calculés sont :

- pour l'EDCI : $1,68.10^{-4} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$
- pour le SV 69 : $1,65. 10^{-4} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$
- pour l'EDCE : $6,20. 10^{-4} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$

Ces flux de fuite, à vérifier avant expédition, garantissent que les taux maximaux de relâchement d'activité ne dépassent pas les limites réglementaires pour un colis de type B(U) ou de type B(U)F pour les contenus transportés, à savoir :

- en Condition Normale de Transport CNT : $10^{-6} \text{ A}_2/\text{h}$,
- en Condition Accidentelle de Transport CAT : $1 \text{ A}_2/\text{semaine}$.

7. ETUDE DE RADIOPROTECTION

7.1 OBJECTIFS

L'objet de ce chapitre est de démontrer que le modèle de colis satisfait aux exigences réglementaires de radioprotection imposant la limitation de l'intensité de rayonnement autour du colis et du véhicule.

En conditions de transport de routine, le débit d'équivalent de dose (DeD) maximum ne doit pas dépasser :

- 2 mSv/h au contact du colis et en tout point des surfaces externes du véhicule ;
- 0,1 mSv/h à 1 m du colis et à 2 m des surfaces externes du véhicule.

Suite aux épreuves des conditions normales de transport, le colis doit empêcher une augmentation de plus de 20% de l'intensité de rayonnement maximale à la surface externe du colis.

En conditions accidentelles de transport, le débit d'équivalent de dose maximum ne doit pas dépasser 10 mSv/h en tout point situé à 1 m de la surface du colis.

7.2 DONNEES D'ENTREE

Les sources de rayonnement sont modalisées de deux façons :

- une source ponctuelle placée au plus près des points de calculs ;
- une source volumique uniformément répartie dans la cavité de l'emballage.

| | | | |
|--|---|--|-------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 24/33 |
| | | <p>Réf. : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p>Chrono : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | Date : 11/03/20 | Indice : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

Il n'a pas été nécessaire de réaliser la modélisation des déchets bloqués dans le fût 870 L VS : le respect des débits de dose réglementaires en CTR, CNT et CAT est garanti par le respect d'un débit de dose de 2 mSv.h⁻¹ au contact du fût et 0,1 mSv.h⁻¹ à 2m du fût avant chargement et l'absence de modification de la répartition au sein du fût de déchets bloqués.

L'analyse de radioprotection prend en compte le blindage apporté par tous les composants de l'emballage. Cette analyse prend également en compte l'état du colis suites aux différentes épreuves des CTR, CNT et CAT.

Les codes de calcul mis en œuvre sont les suivants : code TRIPOLI 4.3.2, code MCNPX, code JANIS.

7.3 RESULTATS

L'intensité maximale de rayonnement (DeD max au contact du colis) reste inférieure à 1 mSv/h quelle que soit la configuration :

- 5,61.10⁻¹ mSv/h dans la configuration SV 34 muni de l'EDCI ;
- 7,73.10⁻² mSv/h dans la configuration SV 69 ;
- 9,81.10⁻² mSv/h dans la configuration ECDE.

La tenue mécanique de l'emballage suite aux épreuves réglementaires permet d'assurer la sûreté du modèle de colis en termes de radioprotection en CNT et CAT.

Les intensités maximales de rayonnements externes obtenues pour les configurations conservatives étudiées répondent aux critères de la réglementation. Le modèle de colis est donc apte à transporter les sources radioactives décrites précédemment conformément à la réglementation en vigueur.

8. ETUDE DE SURETE-CRITICITE

8.1 OBJECTIFS

L'objet de ce chapitre est d'étudier le risque de sûreté-criticité lié à la présence de matières fissiles dans le fût 870 L VS transporté en configuration EDCE, seul contenu fissile actuellement défini pour le modèle de colis surcoque MANON.

Les études sont menées pour les configurations de colis isolé et de réseau de colis après prise en compte des épreuves en CNT et CAT, à savoir :

- colis isolé dans l'état résultant des épreuves simulant les CNT et les CAT, avec une réflexion sur toutes les faces par 20 cm d'eau,

| | | | |
|--|---|--|--------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 25/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

- empilement de 5 N colis en CNT réfléchi par 20 cm d'eau,
- empilement de 2 N colis en CAT réfléchi par 20 cm d'eau.
- NB : N représente le nombre de colis maximal admissible sur le moyen de transport.

8.2 DONNEES D'ENTREE

8.2.1 Modélisation du colis

Les hypothèses prises en compte sur le modèle de colis sont :

- le fût 870 L VS, les conditionnements primaires ainsi que le calage du fût 870 L VS sont considérés ruinés et l'acier et le plomb issus de ces éléments sont pris en compte sous forme de réflecteurs,
- les capots amortisseurs de la surcoque ne sont pas modélisés,
- les jeux existants entre l'EDCE et la cavité de la surcoque ne sont pas modélisés : de manière pénalisante, l'EDCE occupe toute la cavité de la surcoque,
- les épaisseurs de mousse phénolique autour de l'EDCE sont réduites de 3% en CNT et 17,5% en CAT pour tenir compte des écrasements évalués suite aux épreuves de chute.

Les hypothèses de calculs pour les différentes configurations à étudier sont présentées ci-dessous :

- hypothèses concernant le colis isolé :
- l'état du colis isolé est celui constaté après les épreuves simulant les CNT suivies des épreuves simulant les CAT,
- la mousse phénolique de l'EDCE est modélisée par de l'eau,
- l'eau occupe tous les espaces libres de l'emballage et du contenu,
- hypothèses concernant le réseau de colis :
- les deux études (CNT et CAT) sont couvertes par une seule en considérant un réseau infini de colis dans l'état résultant des CNT suivies des épreuves simulant les CAT, et le cas le plus pénalisant des différents réseaux infinis étudiés est retenu,
- la mousse phénolique de l'EDCE et l'espace entre les colis est modélisée par de l'air ou un brouillard d'eau de densité variable.

| | | | |
|--|---|--|-------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 26/33 |
| | | <p>Réf. : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p>Chrono : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | Date : 11/03/20 | Indice : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

8.2.2 Milieu fissile de référence

Deux milieux fissiles de référence sont retenus : ces milieux sont modélisés sous forme homogène.

L'objectif de cette étude est de déterminer la masse maximale de ²³⁹Pu admissible, indépendamment du MFR considéré.

Pour chaque cas étudié, le milieu fissile est placé dans la cavité de l'EDCE sous forme d'une sphère ou d'un ortho-cylindre, centrés ou décentrés, réfléchis par :

- 500 g de béryllium (enveloppe des éléments légers présents dans le contenu),
- une quantité quelconque de béton ou d'acier ou d'uranium naturel ou de plomb,
- la succession de ces réflecteurs,

l'espace libre de la cavité de l'EDCE étant rempli par un brouillard d'eau de densité variable.

8.2.3 Codes de calculs et critères d'acceptation

Les calculs sont effectués avec le code de calcul Monte-Carlo TRIPOLI V4.8. La bibliothèque de données est CEAV5. Les données nucléaires de base utilisées sont issues de l'évaluation européenne JEFF 3.1.1.

Les critères d'admissibilité sont les suivants :

- pour le colis isolé : $k_{eff} + 3\sigma \leq 0,95 - \Delta k_{eff}$,
- pour les colis en réseau : $k_{eff} + 3\sigma \leq 0,98 - \Delta k_{eff}$.

En l'absence de données sur la qualification du béryllium, un biais forfaitaire de 2 000 pcm est retenu. Dans ce cadre, pour cette étude, les critères d'admissibilité à respecter sont :

- pour le colis isolé : **$k_{eff} + 3\sigma \leq 0,93$** ,
- pour les colis en réseau : **$k_{eff} + 3\sigma \leq 0,96$** .

8.3 RESULTATS

Pour le contenu fissile « fût 870L VS », les calculs montrent le respect des critères d'admissibilité précisés au § 8.2.

La présence de CH₂ en quantité quelconque est autorisée en tant que modérateur.

La sûreté-criticité du modèle de colis constitué de la surcoque MANON et de l'EDCE, chargée d'un fût 870 L VS, est donc garantie dans toutes les configurations (réseau de colis ou colis isolé, en CNT et CAT) .

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 27/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

9. ETUDE DES RISQUES DE RADIOLYSE ET DE THERMOLYSE

9.1 OBJECTIFS

L'objet de ce chapitre est d'étudier le risque hydrogène lié à la radiolyse et la thermolyse des contenus transportés.

Sur les contenus transportés, seules les sources transportées dans la coque CC33 (eau, Rhodamine) et le fût 870 L VS (mortier d'immobilisation) contiennent des matières radiolysables et thermolysables.

9.2 CAS D'ETUDE CONSIDERES

9.2.1 Coque CC33

Les sources contenues dans la coque CC33 sont inertées à l'argon. Compte-tenu de l'ancienneté des sources, deux cas sont considérés :

- soit le ciel d'argon est toujours présent, et dans ce cadre, le risque hydrogène lié à la dégradation de la Rhodamine est écarté,
- soit le ciel d'argon s'est échappé au fil du temps et dans ce cadre, l'hydrogène produit par dégradation de la Rhodamine pendant les années d'entreposage, s'est également échappé (étant plus léger que l'Argon).

Dans ce cadre, il est considéré que les sources ^{90}Sr ne présentent pas de risque hydrogène lié à la radiolyse avant transport. Toutefois, ceci n'écarte pas le risque de production d'hydrogène par radiolyse pendant le transport, dans le cas où l'argon se serait échappé.

Par ailleurs, les sources transportées dans leurs conditionnements secondaires sont séchées avant transport. La présence d'eau résiduelle après séchage peut générer de l'hydrogène par radiolyse, la présence d'eau résiduelle après séchage dans le conditionnement des sources transportées en coque CC33 est donc prise en compte.

Dans ce cadre, l'étude du risque hydrogène doit porter sur :

- la radiolyse et la thermolyse de la Rhodamine,
- la radiolyse de l'eau résiduelle après le séchage, sachant que la thermolyse de l'eau n'est observée qu'à très haute température.



DIFFUSION ORDINAIRE

Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur

DSS

Page 28/33

Réf. :
CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/
SURCOQUE MANON/DSS 2020-001

Chrono : SGPE/GAET 2020-027

Date : 11/03/20

Indice : 01

Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON

9.2.2 Fûts 870L VS

Les déchets situés dans les fûts 870L VS ne contiennent pas de matières hydrogénées.

Le mortier d'immobilisation de type béton présente uniquement un risque de radiolyse lié à l'eau de gâchage (la thermolyse de l'eau n'est observée qu'à haute température).

Les fûts 870L VS sont considérés comme remplis de béton à l'exception d'un éventuel vide apical sous le couvercle.

9.3 HYPOTHESES

Les calculs sont réalisés en tenant compte :

- des températures atteintes en CNT et CAT,
- de débits d'équivalent de dose pénalisants, et donc d'une puissance thermique pénalisante,
- d'hypothèses conservatives et réalistes vis-à-vis de l'étanchéité des divers éléments,
- de temps de transport enveloppes des conditions de transport réelles :
 - o 1 an en transport nominal (conditions CNT),
 - o 1 semaine en CAT.

9.4 RESULTATS

Quel que soit le contenu de la coque CC33 ou d'un fût 870L VS, la quantité de gaz de radiolyse et thermolyse produits dans les conditions pénalisantes des études implique un taux d'hydrogène maximal égal à 3,11%, ce qui reste inférieur à la Limite Inférieure d'Inflammabilité (LII) du dihydrogène dans toutes les conditions de transport.

Le risque hydrogène est donc maîtrisé.

10. INSTRUCTION D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE DE L'EMBALLAGE

L'objet de ce chapitre est de décrire les exigences principales d'utilisation et d'entretien applicables au colis lors de son exploitation.

| | | | |
|--|---|--|--------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 29/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

10.1 UTILISATION

10.1.1 Consignes générales

Avant toute expédition d'un colis de la classe 7, les points suivants sont réalisés :

- contrôles de débit d'équivalent de dose et de non-contamination,
- vérification de la conformité au certificat d'agrément,
- pose de scellés sur le colis,
- apposition des étiquettes réglementaires.

Un contrôle visuel global ainsi qu'un contrôle de contamination doivent être effectués à la réception de l'emballage plein ou vide et avant chaque expédition.

Toutes les opérations et tous les contrôles sont enregistrés sur des fiches prévues à cet effet. Les fiches de suivi du colis sont également complétées.

Le colis peut être transporté dans un moyen de transport confiné.

Après fermeture de l'emballage, le taux de fuite doit être mesuré selon une procédure spécifique.

10.1.2 Manutention et arrimage

Avant chargement des divers contenus possibles, une vérification de la bonne configuration de chargement de la surcoque est effectuée (présence des calages appropriés lorsque nécessaires, absence de corps étrangers).

L'arrimage de la surcoque MANON sur son moyen de transport est réalisé comme décrit au § 2.3.

10.1.3 Contrôles d'étanchéité

L'étanchéité du modèle de colis est contrôlée suivant la configuration de transport mise en œuvre : contrôle de l'étanchéité du montage de la bride et de la tpe d'étanchéité de l'EDCE, du couvercle et de la tpe de l'EDCI, du couvercle et de la tpe du conteneur SV69, des soudures de confinement de l'EDCE et de l'EDCI.

Les flux de fuite à respecter en fonction de la configuration du colis sont précisés au § 6.3.

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 30/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

10.2 MAINTENANCE

Ce paragraphe indique les points de contrôle et les opérations de maintenance à effectuer périodiquement sur la surcoque MANON, les conteneurs SV 34 et SV 69 et les Enceintes De Confinement Internes et Externes.

Toute pièce défectueuse, non réparable, est remplacée en conformité avec les plans. Pour chaque colis, ces opérations sont enregistrées sur un rapport et les dossiers de suivi des colis sont mis à jour.

10.2.1 Contrôles et périodicité

Les contrôles à effectuer sur les constituants de la surcoque MANON sont de trois types :

- les contrôles systématiques,
- les contrôles de petites maintenances (3 ans ou 30 cycles),
- les contrôles de grandes maintenances (6 ans ou 60 cycles).

Tous les moyens de contrôle utilisés lors des opérations de contrôle et d'entretien doivent être vérifiés et étalonnés.

Cas du conteneur SV 34, de l'EDCI et du conteneur SV 69 : Ces conteneurs sont utilisés avec la surcoque MANON de manière très ponctuelle et généralement pour des transports à caractère unique (transport vers exutoire avec non récupération du conteneur et de l'EDCI). Dans ce cadre, les notions de petites et grandes maintenance ne s'appliquent pas à ces conteneurs. Seuls des contrôles systématiques renforcés sont réalisés.

10.2.2 Contrôles systématiques

L'emballage doit faire l'objet d'un suivi et d'un entretien systématique avant chaque départ. Les résultats des inspections effectuées ainsi que la liste des composants remplacés seront consignés dans les rapports qui seront archivés durant tout le cycle de vie.

Les contrôles systématiques à réaliser sur la surcoque MANON, les conteneurs SV 34 et SV 69 et sur les enceintes de confinement interne et externe, sont :

- la vérification du bon état général (aspect extérieur, plaques réglementaires, bouchons fusibles thermiques...),
- le contrôle de la validité et du bon état des joints et des portées de joints (nettoyage systématique des surfaces de contact),
- le remplacement des joints si la validité est dépassée (30 cycles),
- la vérification visuelle des points de fonctionnement mécaniques (vis, anneaux...),



DIFFUSION ORDINAIRE

Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur

DSS

Page 31/33

Réf. :
CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/
SURCOQUE MANON/DSS 2020-001

Chrono : SGPE/GAET 2020-027

Date : 11/03/20

Indice : 01

Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON

- la vérification visuelle des organes de manutention, d'arrimage et de leurs soudures,
- la réalisation d'un ressuage sur les soudures des organes de manutention (SV34 et SV69 uniquement),
- le contrôle des interfaces des différentes parties amovibles ou mobiles (corps, couvercles, tapes, raccords...),
- le contrôle visuel des taraudages (réparation si nécessaire) et des vis (remplacement si nécessaire),
- le contrôle visuel des équipements participant aux fonctions de sûreté.

Des contrôles spécifiques à réaliser sur les conteneurs et enceintes de confinement sont également à réaliser (contrôle d'étanchéité, remplacement de joint, ...).

10.2.3 Contrôles de petite maintenance

La surcoque MANON et l'EDCE doivent faire l'objet d'un suivi et d'un entretien périodique pour une petite maintenance, définie par un retour en zone d'entretien en général tous les 3 ans ou 30 cycles.

En plus des contrôles systématiques, les points de contrôles des petites maintenances recouvrent notamment le remplacement de tous les joints de l'emballage et le contrôle des portées de joints, le contrôle par ressuage des soudures des organes de manutention et d'arrimage, le contrôle des taraudages et des vis (réparation ou remplacement si nécessaire), les divers contrôles d'étanchéité.

10.2.4 Contrôles de grande maintenance

La surcoque MANON et l'EDCE doivent faire l'objet d'un suivi et d'un entretien périodique pour une grande maintenance, définie par un retour en zone d'entretien en général tous les 6 ans ou 60 cycles.

Cette opération de contrôle implique impérativement le nettoyage et la décontamination des surfaces accessibles de l'emballage.

L'entretien de grande maintenance comporte, en plus des actions de contrôles systématiques et des opérations de petite maintenance, le remplacement obligatoire de la visserie, le contrôle visuel des internes accessibles (vis-à-vis de la corrosion, de la fissuration, etc.), le contrôle par radiographie ou ultrasons des soudures des organes d'arrimage, un contrôle d'étanchéité à l'hélium des soudures de confinement.

| | | | |
|--|---|--|--------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 32/33 |
| | | <u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001 | |
| | | <u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027 | |
| | | <u>Date</u> : 11/03/20 | <u>Indice</u> : 01 |
| Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON | | | |

11. ASSURANCE QUALITE

Afin de garantir que les pièces du modèle de colis « surcoque MANON » 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.

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

11.1 CONCEPTION

Les études de conception, ainsi que les études de sûreté, développées vis-à-vis du modèle de colis constitué de la surcoque avec un conteneur SV 34 et son EDCI, un conteneur SV 69 ou une EDCE, ont été réalisées selon des organisations en accord avec la norme ISO 9001.

Afin de garantir que les pièces de l'emballage présentent un niveau de qualité en rapport avec les exigences de sûreté, un classement de ces pièces est effectué. Cette classification est établie suivant un niveau de construction attendu de chaque pièce, correspondant à leur importance respective pour la sûreté.

11.2 FABRICATION

La fabrication de la surcoque MANON avec un conteneur SV 34 muni de son EDCI et ses systèmes de calages, d'un conteneur SV 69 avec ses systèmes de calage ou d'une EDCE et les systèmes de calages des AI, de la coque CC33, ou du fût 870 L VS, dans le cadre de la norme ISO 9001, donne lieu à la fourniture d'un dossier constructeur, où apparaissent notamment les certificats matières, les soudures et contrôles associés, les essais, les contrôles dimensionnels, les pesées, les non conformités et les certificats de conformité par équipement réalisé.

11.3 UTILISATION ET MAINTENANCE

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

| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  | <p>DIFFUSION ORDINAIRE</p> <p>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p> | DSS | Page 33/33 |
| | | <p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ SURCOQUE MANON/DSS 2020-001</p> | |
| | | <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-027</p> | |
| | | <p><u>Date</u> : 11/03/20</p> | <p><u>Indice</u> : 01</p> |
| <p>Démonstration de sûreté de la SURCOQUE MANON</p> | | | |

Des mesures sont prises pour s'assurer que les documents relatifs à l'utilisation et à la maintenance de l'emballage sont communiqués à l'exploitant.

Les principes d'utilisation du modèle de colis (cf. § 10.1) sont repris dans une notice d'utilisation spécifique.

Une spécification technique de maintenance permet de s'assurer du respect des mesures préconisées dans le dossier de sûreté et du bon déroulement des opérations de maintenance (cf. § 10.2).

- La maintenance et l'inspection sont réalisées par une société certifiée ISO 9001 en vigueur.

12. CONCLUSION

Le modèle de colis « surcoque MANON » est conforme à la réglementation applicable aux colis de type B(U) et B(U)F transporté par voies routières et par mer, 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 CNT. Le confinement de la matière radioactive est maintenu aux pressions et températures atteintes en conditions normales et accidentelles de transport,
- les matériaux utilisés ne présentent pas de risque de rupture fragile à -40°C.
- le modèle de colis « surcoque MANON » respecte les critères réglementaires de relâchement d'activités en conditions normales (10^{-6} A₂/h) et accidentelles de transport (1 A₂/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 inférieures aux limites réglementaires (2 mSv/h à la surface du colis, 0,1 mSv/h à 2 m du colis en CNT et 10 mSv/h à un 1 m du colis en CAT) ;
- le modèle de colis « surcoque MANON » dans la configuration fût 870 L VS respecte les critères de sûreté-criticité,
- les instructions d'utilisation sont détaillées dans une notice ;
- le modèle de colis « surcoque MANON » fait l'objet de contrôles systématiques, d'une petite et d'une grande maintenance, les opérations de maintenance faisant l'objet d'une spécification technique de maintenance spécifique.