

BT 2016-02 | B
GETINGE-LA CALHENE
21 juin 2016

RÉSUMÉ DU DOSSIER DE SURETE



« CHATEAU AGNES »
GETINGE-LA CALHENE

Titre :	« Château AGNES »				
Type document :	Résumé du dossier de sûreté				
Révision :	B	Date :	21/06/2016	Nb de pages total :	32

HISTORIQUE DES REVISIONS

Date	Version	Description	Rédacteur
17/06/2016	A	Edition originale	G. Tréfouël
21/06/2016	B	Mise à jour des exigences réglementaires	G. Tréfouël

Date	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
21/06/2016	G. Tréfouël	J-L Schneider	M. Janez

Résumé

Ce document présente l'ensemble des éléments qui constituent le dossier de sûreté du modèle de colis « Château AGNES ». Le modèle de colis « Château AGNES » est formé par l'emballage « Château AGNES » et son contenu tel que défini au § 3 du présent document.

Il apporte la démonstration que le colis « Château AGNES » satisfait à la réglementation (ADR (1) et AIEA (2)) concernant les colis de type B (U) pour le transport de matières radioactives (matières constituant la classe 7).

Le parc des emballages « Château AGNES » actuellement en exploitation est de 14 unités. Les modèles n°3 à n°16 ont fait l'objet d'un agrément au transport par route F/369/B(U)-85Aa du Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie et du Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement sous le numéro d'enregistrement DSIN-FAR-SD1-CA-N°011/2000.

Par décision du Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, conjointement au Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, cet agrément a été renouvelé le 04 novembre 2004 sous le libellé F/359/B(U)-96 (Bb) enregistré sous le numéro DGSNR /SD1/0760/2004.

Conformément au guide technique de l'IRSN (3) PDSR, le présent document est structuré de manière générique.

La partie 1 du présent document détaille les informations nécessaires concernant le modèle de colis « Château AGNES ».

La partie 2 présente les analyses techniques permettant d'appuyer la démonstration de conformité avec la réglementation (ADR (1) et AIEA (2)).

Table des matières

	Pages
RESUME	3
TABLE DES MATIERES.....	4
TABLE DES FIGURES.....	6
PARTIE 1.....	7
1. INFORMATIONS ADMINISTRATIVES	7
2. CONTENU RADIOACTIF DE L'EMBALLAGE « CHATEAU AGNES »	7
2.1 CONTENUS AUTORISES	7
2.2 DESCRIPTION DU CONTENU.....	7
2.2.1 Description d'une cible HEU.....	7
2.2.2 Description d'une cible LEU	8
2.3 PROCESSUS DE FABRICATION DES CIBLES	9
2.4 CONTROLE DE QUALITE	9
2.5 CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES DU CONTENU	9
2.5.1 Conditions d'irradiation.....	9
2.5.2 Activité du contenu	10
2.5.3 Caractère fissile.....	10
3. EMBALLAGE « CHATEAU AGNES ».....	10
3.1 DESCRIPTION GENERALE	10
3.2 LISTE DES ELEMENTS IMPORTANTS POUR LA SURETE	12
3.3 « CHATEAU AGNES »	13
3.4 CAPOTS DE TRANSPORT	16
3.5 ORGANES DE MANUTENTION ET D'ARRIMAGE	16
3.6 FABRICATION ET CONTROLE	18
4. MARQUAGE – PLACARDAGE.....	19
5. UTILISATION	19
6. MAINTENANCE	19
7. SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE	19

PARTIE 2	20
1. ANALYSE STRUCTURELLE	20
1.1 TENUE MECANIQUE DE L'EMBALLAGE LORS DES OPERATIONS DE MANUTENTION ET D'ARRIMAGE	20
1.2 TENUE MECANIQUE DE L'EMBALLAGE EN CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT – MAQUETTE PHYSIQUE	20
1.3 REPRESENTATIVITE DE LA MAQUETTE NUMERIQUE	21
1.3.1 Ecart entre la maquette (emballage « Château AGNES » n°1) et le modèle de colis (emballages « Château AGNES » n° 3 à n° 16)	21
1.3.2 Représentativité	21
1.4 ESSAIS DE CHUTE	22
1.5 COMPORTEMENT MECANIQUE DE L'EMBALLAGE « CHATEAU AGNES » LORS DE CHUTES ACCIDENTELLES	22
1.5.1 Modélisation	23
1.5.2 Résultats	24
1.6 TENUE A LA PRESSION	24
2. ANALYSE THERMIQUE	26
2.1 TENUE THERMIQUE DE L'EMBALLAGE EN CONDITIONS NORMALES DE TRANSPORT	26
2.1.1 Modélisation de l'emballage	26
2.1.2 Modélisation du contenu	26
2.1.3 Résultats	26
2.1.4 Conclusion sur la tenue thermique de l'emballage en conditions normales de transport	26
2.2 TENUE THERMIQUE DE L'EMBALLAGE EN CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT	27
2.2.1 Modélisation de l'emballage	27
2.2.2 Modélisation du contenu	27
2.2.3 Résultats	27
2.2.4 Conclusion sur la tenue thermique de l'emballage en conditions accidentelles de transport	27
3. ANALYSE DE CONFINEMENT	28
3.1 EXTRUSION DES JOINTS	28
3.2 RELACHEMENT D'ACTIVITE	28
3.2.1 Méthodologie	28
3.2.2 Respect des critères en termes de flux de fuite	29
4. ANALYSE DES DEBITS DE DOSES EXTERNES	30
5. ANALYSE DE RADIOLYSE ET THERMOLYSE	30
REFERENCES	31

Table des figures

	Pages
FIGURE 1 : POSITION DES CIBLES HEU DANS LEUR NACELLE.....	8
FIGURE 2 : POSITION DES CIBLES LEU DANS LEUR NACELLE	8
FIGURE 3 : EMBALLAGE « CHATEAU AGNES »	11
FIGURE 4 : SCHEMA DU CHATEAU AGNES AVEC LE FOURREAU EN 3 PARTIES	13
FIGURE 5 : SCHEMA DU CONTENEUR INTERNE.....	15
FIGURE 6 : ARRIMAGE DU COLIS SUR LA CAMION DE TRANSPORT	17

Partie 1

1. INFORMATIONS ADMINISTRATIVES

Les informations administratives concernant le modèle de colis « Château AGNES » sont les suivantes :

- nom usuel du colis : « Château AGNES »,
- identification du concepteur : GETINGE-LA CALHENE, 1 rue du Comté de Donegal F-41102 Vendôme cedex, France,
- type de colis : colis de type B(U),
- numéros de série des emballages : modèles n° 3 à n° 16 (objet de cette étude),
- moyens de transport pour lesquels le colis est conçu : routier,
- réglementation en vigueur :
 - ♦ Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) – Edition 2015 (1),
 - ♦ IAEA Specific Safety Requirements N° SSR-6 – Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material – 2012 Edition (2)

2. CONTENU RADIOACTIF DE L'EMBALLAGE « CHATEAU AGNES »

2.1 CONTENUS AUTORISES

Seules les cibles d'uranium HEU et LEU définies dans le certificat d'agrément sont autorisées à être transportées dans l'emballage « Château AGNES ».

2.2 DESCRIPTION DU CONTENU

2.2.1 Description d'une cible HEU

La cible est constituée de deux cylindres concentriques en aluminium. L'uranium est contenu dans l'espace entre les cylindres.

Les conditions d'irradiation majorantes retenues dans le cadre de l'agrément de transport pour les cibles LEU sont :

- Flux neutronique : $2 \cdot 10^{14}$ n.cm⁻².s⁻¹,
- 311 heures d'irradiation,
- 6h de refroidissement.

Les cibles sont maintenues dans une nacelle spécifique. Chaque nacelle peut contenir 3 cibles HEU. Les cibles HEU sont disposées en triangle.

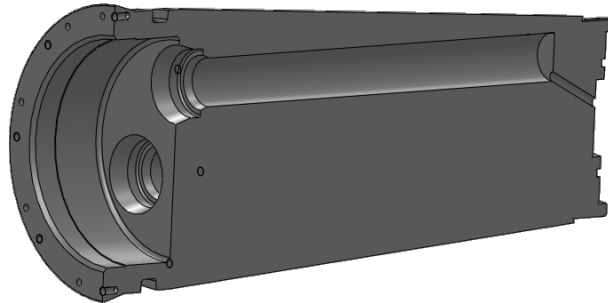


Figure 1 : Position des cibles HEU dans leur nacelle

2.2.2 Description d'une cible LEU

Les cibles LEU se présentent comme une plaque d'aluminium rectangulaire (les cibles HEU se présentaient comme un cylindre creux).

Les conditions d'irradiation majorantes retenues dans le cadre de l'agrément de transport pour les cibles LEU sont :

- Flux neutronique : 2.10^{14} n.cm⁻².s⁻¹,
- 311 heures d'irradiation,
- 6h de refroidissement.

Les cibles sont maintenues dans une nacelle spécifique. Chaque nacelle peut contenir 3 cibles LEU. Ces nacelles LEU possèdent une géométrie différente des nacelles HEU. Les cibles LEU sont disposées en triangle.

Position des cibles LEU

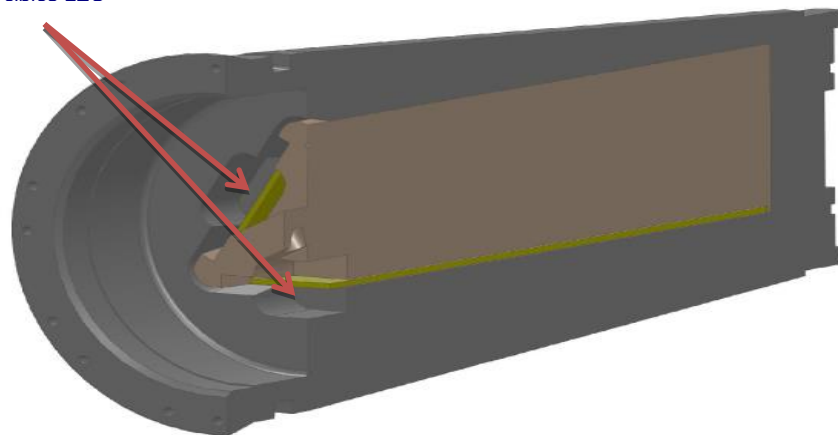


Figure 2 : Position des cibles LEU dans leur nacelle

2.3 PROCESSUS DE FABRICATION DES CIBLES

Les cibles sont fabriquées selon le procédé Picture-Frame qui peut être schématisé comme suit :

- compression du mélange en galette,
- fabrication des plaquettes chanfreinées,
- gainage des plaquettes par feuilles d'aluminium,
- colaminage à chaud et à froid,
- découpage des plaques laminées, cintrage et soudage par TIG.

2.4 CONTROLE DE QUALITE

En cours et en fin de fabrication, chaque cible est soumise aux contrôles suivants :

- comptage gamma sur 100 % des plaquettes pour vérifier la teneur en uranium,
- blister test sur 100 % des plaques laminées pour vérifier l'absence d'inclusion de gaz,
- radiographie par Rx sur 100 % des plaques laminées et tubes pour vérifier les dimensions de la matière fissile et les inclusions éventuelles dans celles-ci,
- comptage gamma sur 10 % des plaques laminées pour vérifier l'uniformité de la concentration en uranium,
- ultra-sons sur 100 % des plaques laminées pour vérifier la bonne liaison entre la matière fissile et son gainage,
- contamination en surface par frottis sur 10 % des plaques,
- inspection dimensionnelle sur 100 % des plaques laminées et tubes,
- contrôle visuel sur 100 % des plaques laminées et tubes pour vérifier les défauts de surface.

2.5 CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES DU CONTENU

2.5.1 Conditions d'irradiation

Les trois cibles sont irradiées durant 311 h au flux thermique non perturbé de 2.10^{14} n.cm⁻².s⁻¹.

Les caractéristiques du contenu sont obtenues à l'aide du code d'évolution ORIGEN 2.2.

Seules les sections efficaces thermiques sont utilisées pour le calcul d'évolution avec ORIGEN 2.2, les sections efficaces rapides sont négligées, la part de fissions rapides étant négligeable par rapport aux fissions thermiques.

Le terme source a été obtenu en considérant un refroidissement de 6 heures. Il s'agit d'un temps de refroidissement minimum entre l'arrêt de l'irradiation des cibles et leur introduction dans l'emballage « Château AGNES ».

2.5.2 Activité du contenu

L'activité du contenu de l'emballage « Château AGNES » est déterminée à l'issue du cycle d'irradiation et après 6 heures de refroidissement.

2.5.3 Caractère fissile

La masse maximale de matière fissile dans l'emballage n'excède pas 13,5 g.

La masse par emballage et par véhicule est dès lors inférieure à 45 g. Le contenu est donc classé comme matière fissile exceptée, selon les § 2.2.7.2.3.5 e) et § 7.5.5.11 CV 33 (4.3) b).

3. EMBALLAGE « CHATEAU AGNES »

3.1 DESCRIPTION GENERALE

L'emballage « Château AGNES » est de forme cylindrique et composé de :

- deux capots (capot inférieur et capot supérieur) de transport assurant la protection du « Château AGNES » interne contre les agressions mécaniques et thermiques extérieures dans les conditions normales et accidentelles de transport,
- un conteneur AGNES ou « Château AGNES » assurant la protection radiologique et le confinement du contenu radioactif. De forme cylindrique à fond plat, il comprend :
 - ♦ le corps du « Château AGNES »,
 - ♦ le bouchon de protection radiologique,
 - ♦ les brides de sécurité avant et arrière assurant l'étanchéité du « Château AGNES »,
 - ♦ une nacelle interne ou conteneur type DPTE[®] GETINGE-LA CALHENE, en acier inoxydable, étanche, fermé par une porte qui se verrouille par rotation. Cette nacelle renferme la matière radioactive.
- L'emballage « Château AGNES » est présenté à la Figure 3.

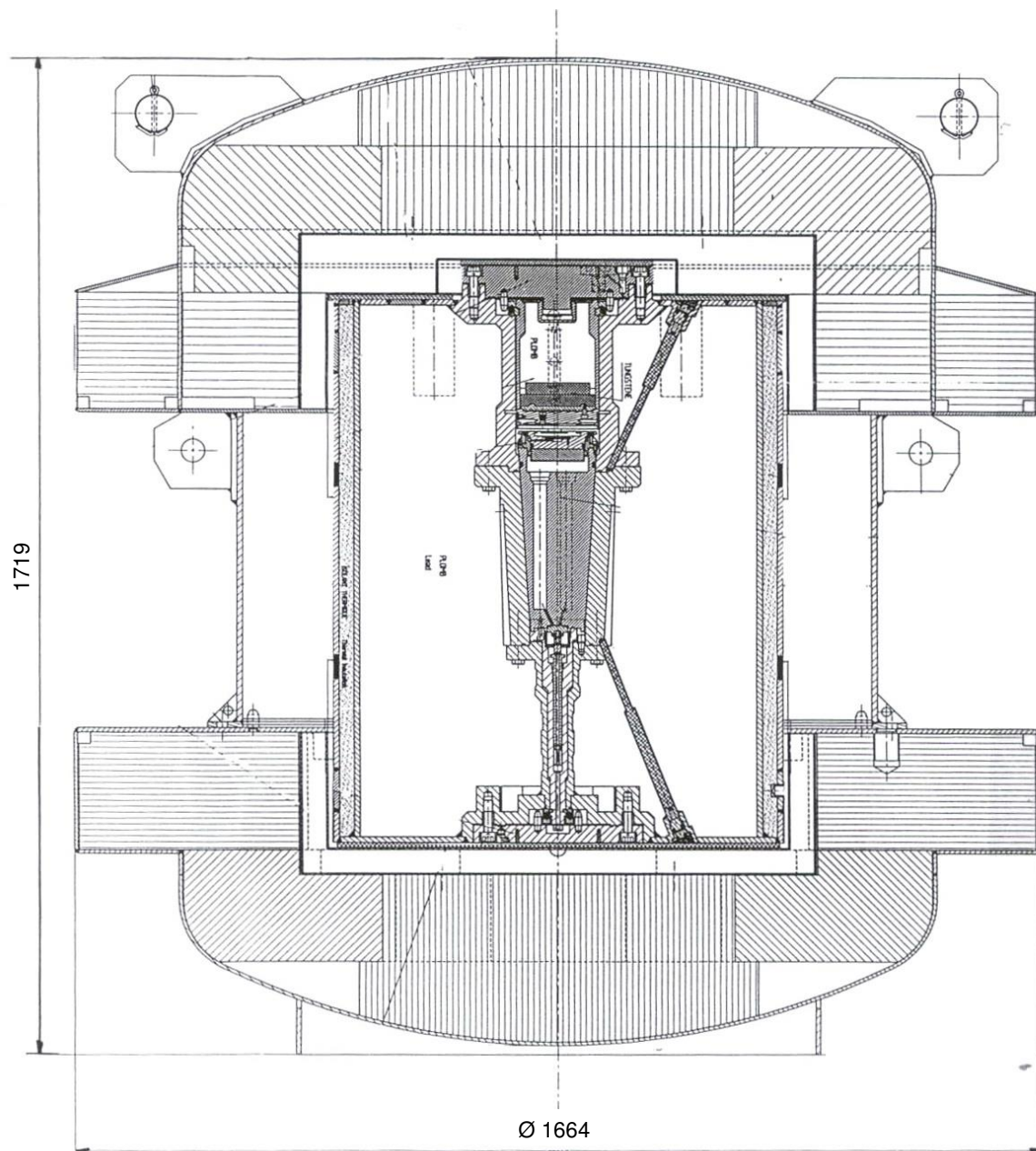


Figure 3 : Emballage « Château AGNES »

Les dimensions générales de l'emballage « Château AGNES » sont les suivantes :

- capot de transport (x 2) :
 - ♦ diamètre extérieur maximal : 1 664 mm
 - ♦ hauteur hors tout : 1 719 mm
- « Château AGNES » :
 - ♦ diamètre extérieur : 776 mm
 - ♦ hauteur hors tout : 985 mm
- nacelle interne :
 - ♦ diamètre maximal : 138 mm
 - ♦ hauteur hors tout : 680 mm

Les masses indicatives des principaux composants de l'emballage « Château AGNES » sont présentées ci-dessous :

– capot	:	1620 kg
– « Château AGNES »	:	4 350 kg
– conteneur interne	:	30 kg
– contenu	:	< 1 kg
– total	:	6000 kg

3.2 LISTE DES ELEMENTS IMPORTANTS POUR LA SURETE

Fonctions de Sûreté	Éléments importants pour la sûreté	Paramètres à garantir
Maîtrise du confinement des matières radioactives	<ul style="list-style-type: none"> ♦ fourreau ♦ brides de sécurité avant et arrière ♦ vis d'étanchéité de la bride de sécurité avant ♦ obturateur de la bride de sécurité avant ♦ joint interne de la bride de sécurité avant ♦ joint externe de la bride de sécurité avant ♦ joint interne de la bride de sécurité arrière ♦ joint externe de la bride de sécurité arrière ♦ joint des vis d'étanchéité ♦ joint interne de l'obturateur de la bride de sécurité avant ♦ joint externe de l'obturateur de la bride de sécurité avant 	<p>Acier constituant Acier Classe de la vis Epaisseur de l'obturateur Nature EPDM du joint dimensions</p>
Prévention des dommages causés par la chaleur	<ul style="list-style-type: none"> ♦ contenu ♦ plâtre ♦ virole externe 	<p>Puissance Conduction de la chaleur Emissivité et absorptivité</p>
Limitation de l'exposition externe	<ul style="list-style-type: none"> ♦ plomb ♦ acier ♦ capots 	<p>Epaisseur de 25 cm dans le bouchon</p> <p>Epaisseur minimale de 25 cm dans le corps radial (entourant le fourreau) chemisée par 2 viroles de 10 mm chacune</p> <p>Protection des opérateurs</p> <p>Norme de transport</p>

3.3 « CHATEAU AGNES »

Le « Château AGNES » assure les fonctions d'enceinte de confinement et de protection biologique. Il est présenté à la Figure 4.

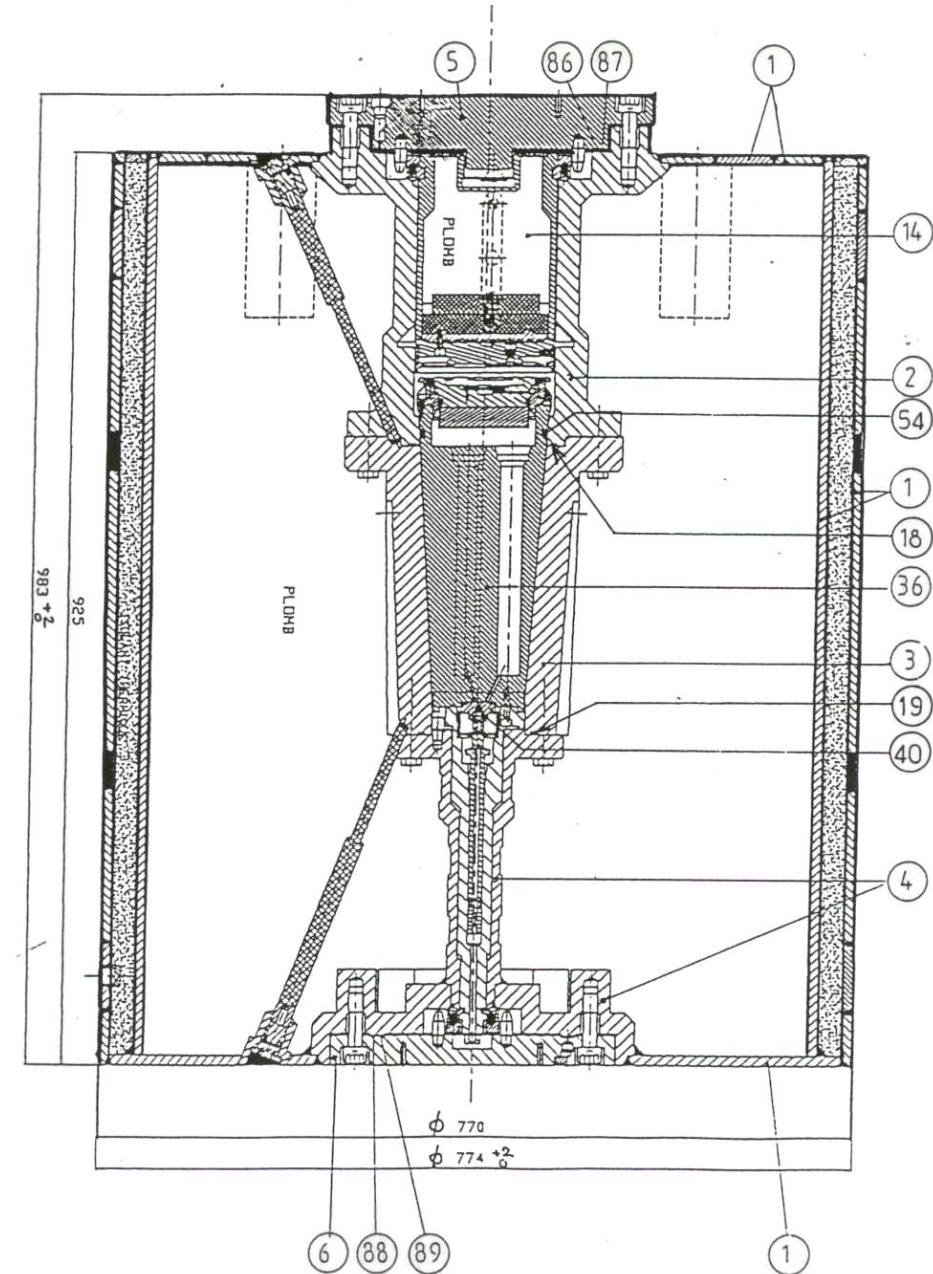


Figure 4 : Schéma du « Château AGNES » avec le fourreau en 3 parties

Le « Château AGNES » se présente sous la forme d'un cylindre à fond plat, constitué de l'intérieur vers l'extérieur :

- d'un conteneur interne (cf. Figure 5) dans lequel sont placées des cibles radioactives. Après le chargement, le conteneur est mis en dépression. Il est fermé :
 - ♦ en partie supérieure par une connexion type DPTE[®] GETINGE-LA CALHENE équipée d'un joint triple lèvre assurant le confinement lors des opérations de chargement et d'un joint torique assurant l'étanchéité du conteneur interne pendant le transport. Ces joints sont en éthylène-propylène,
 - ♦ en partie inférieure par un clapet équipé d'un joint torique en éthylène-propylène. Ce clapet est monté en extrémité d'un dispositif qui permet d'établir la pression intérieure du conteneur.
- d'un bouchon qui recrée la protection radiologique dans le canal de chargement. Il constitue une protection de 25 cm équivalent plomb, obtenue par du plomb et du tungstène,
- d'un fourreau réalisé en trois parties en acier inoxydable. Un joint métaloplastique assure l'étanchéité entre chacune des parties. Les brides avant et arrière assurent l'étanchéité du fourreau par deux joints toriques concentriques en éthylène-propylène. Ces brides sont équipées d'un piquage de contrôle d'étanchéité inter-joints. La liaison de chaque bride sur le fourreau est assurée par 6 vis M16 de classe A2-70. La bride avant possède un orifice permettant la mise en dépression de l'espace libre du bouchon de plomb ainsi que le séchage sous vide en cas de chargement sous eau. Cet orifice est fermé par un bouchon interne équipé d'un joint et un obturateur équipé d'un système double joint ; un canal rejoint le piquage de contrôle d'étanchéité inter-joints de la bride,
- d'une protection radiologique d'une épaisseur radiale minimale de 25 cm équivalent plomb qui entoure le fourreau central. Dans cette protection radiologique, deux forages permettent le contrôle d'étanchéité des joints métaloplastiques. Une « canne » en plomb est insérée dans chaque forage et est maintenue par un bouchon fileté,
- de deux viroles externes d'une épaisseur de 10 mm en acier inoxydable renfermant l'isolant thermique constitué de plâtre.

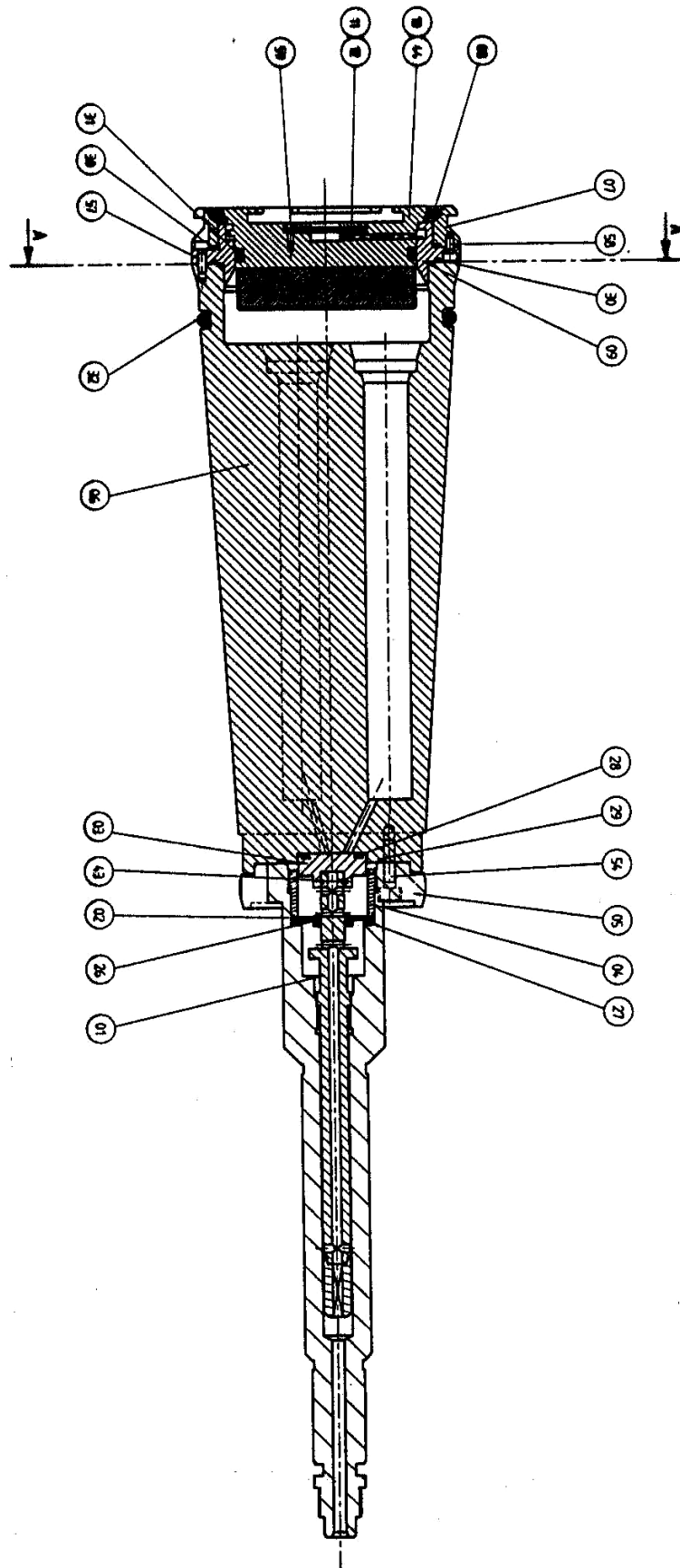


Figure 5 : Schéma du conteneur interne

3.4 CAPOTS DE TRANSPORT

Les capots assurent les fonctions de protection physique, d'amortisseur de chute, de protection thermique partielle et de protection partielle contre les intempéries.

Les capots supérieur et inférieur recouvrent respectivement les faces supérieure et inférieure du « Château AGNES ». Ils sont constitués, de l'extérieur vers l'intérieur :

- d'une enveloppe en acier,
- d'une protection mécanique en bois servant d'amortisseur,
- d'une enveloppe en acier,
- d'une protection thermique en plâtre,
- d'une enveloppe interne en acier.

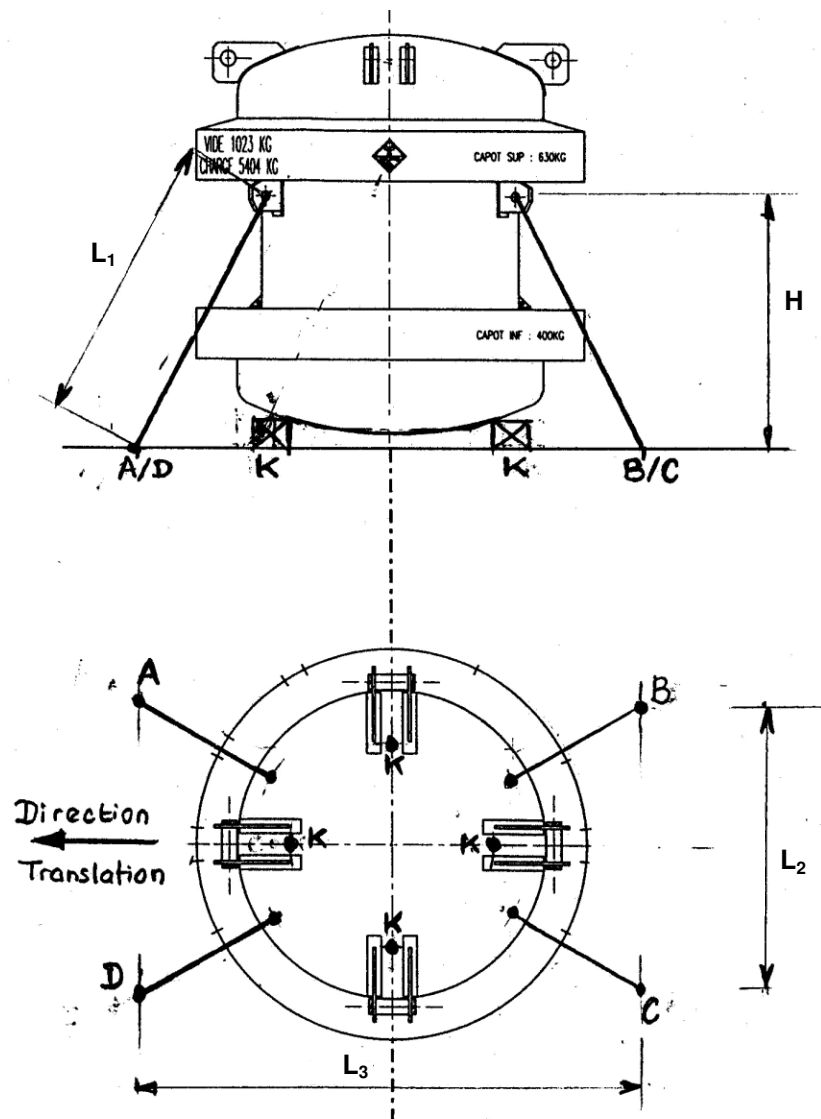
Les deux capots sont reliés par une virole en tôle d'acier, perforée, soudée sur le capot supérieur et vissée sur le capot inférieur par 8 vis M16 et de classe de qualité 10.9.

3.5 ORGANES DE MANUTENTION ET D'ARRIMAGE

Le capot supérieur est équipé de huit oreilles utilisées par paires comme quatre points de levage pour la manutention et de quatre oreilles, soudées à la virole perforée, utilisées comme points d'arrimage.

Ces oreilles en acier sont soudées sur la tôle de l'assemblage de protection thermique et la virole.

Le colis est orienté sur le véhicule de transport suivant la Figure 6. Il est arrimé et calé suivant les recommandations indiquées à la Figure 6.



A-B-C-D : Points d'arrimage sur la plate-forme du camion.

Chaque point d'arrimage est dimensionné pour supporter les efforts en condition de transport.

K : Positions des cales

Les cales sont dimensionnées pour supporter les efforts en condition de transport

Figure 6 : Arrimage du colis sur le camion de transport

3.6 **FABRICATION ET CONTROLE**

La fabrication industrielle du conteneur AGNES, de la nacelle et des capots de transport est réalisée selon des plans et documents techniques apportant la preuve que les méthodes, les moyens de fabrication et de contrôle et le personnel de fabrication permettent d'obtenir des produits de série conformes à la définition homologuée.

Cette documentation de suivi de fabrication se compose de :

- dossier de plans de réalisation,
- listes des opérations de Fabrication et de Contrôles (L.F.O.C.) et plans d'inspection pour chacun des 2 composants :
 - ♦ conteneur AGNES,
 - ♦ capots de transport.

4. **MARQUAGE – PLACARDAGE**

Les indications pour la manutention et l'utilisation du conteneur (incluant entre autres la désignation du contenu, le type, la masse à vide, la masse totale, le « numéro d'agrément ») sont gravées et peintes aux endroits appropriés, selon les plans guides.

La plaque de firme du constructeur figure également sur les composants du conteneur.

5. **UTILISATION**

L'ensemble des consignes d'utilisation du conteneur se trouve décrit dans la notice d'utilisation.

Cette notice traite en particulier des chapitres suivants :

- instructions pour le chargement et le déchargement du conteneur,
- instructions pour l'arrimage de l'emballage sur le moyen de transport,
- instructions d'utilisation opérationnelle du « Château AGNES » avec ses accessoires sur site.

6. **MAINTENANCE**

L'ensemble des consignes de maintenance du conteneur est décrit dans la notice de maintenance.

Cette notice traite en particulier des chapitres suivants :

- procédure de contrôle d'étanchéité de l'enceinte de sécurité,
- instructions de contrôle et remplacement des joints d'étanchéité,
- instructions de contrôle des organes de fermeture,
- procédure de contrôle de tenue en pression interne.

7. **SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE**

Le Plan d'Assurance Qualité de GETINGE-LA CALHENE est établi et appliqué pour la conception, la fabrication, les épreuves, l'établissement des documents, l'utilisation, l'entretien et l'inspection concernant les emballages « Château AGNES », pour en garantir la conformité avec les dispositions applicables de l'ADR (1).

La mise en œuvre et l'efficacité du Plan d'Assurance Qualité de GETINGE-LA CALHENE sont vérifiées par la Direction Qualité Sécurité Environnement de GETINGE-LA CALHENE lors des audits internes. Les résultats de ces audits sont examinés par la Direction Générale de GETINGE-LA CALHENE lors des Revues de Direction conformément aux dispositions décrites dans le Manuel d'Assurance Qualité de GETINGE-LA CALHENE.

Partie 2

1. ANALYSE STRUCTURELLE

1.1 TENUE MECANIQUE DE L'EMBALLAGE LORS DES OPERATIONS DE MANUTENTION ET D'ARRIMAGE

La tenue mécanique des différents organes de l'emballage « Château AGNES » en conditions normales de transport et lors des opérations de manutention et d'arrimage a été étudiée par calculs.

Les résultats de ces calculs montrent que dans les conditions de transport de routine ainsi que lors des opérations de levage et d'arrimage, les contraintes dans les assemblages vissés, dans les organes de levage et d'arrimage de l'emballage « Château AGNES » ne dépassent pas la limite élastique des différents matériaux les constituant. **L'intégrité et la tenue mécanique de l'emballage sont donc assurées.**

1.2 TENUE MECANIQUE DE L'EMBALLAGE EN CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT – MAQUETTE PHYSIQUE

L'étude de tenue du colis en conditions accidentelles de transport est réalisée au travers de plusieurs épreuves de chutes sur une maquette physique. Ces épreuves sont régies par les § 726 à 730 du règlement de transport des matières radioactives (AIEA N° SSR-6 de 2012). Celles-ci se composent de :

- Chute 1 : Une épreuve de chute de 0,9 mètre sur sol issue des chutes réalisées dans l'étude précédente.
- Chute 2 : Une épreuve de chute de 9 mètres sur sol, cumulée à la chute de 0,9 mètre.
- Chute 3 : Une épreuve de chute de 1 mètre sur poinçon cumulée à la chute de 9 mètres sur sol.

Afin de déterminer le cas le plus pénalisant, les études de chute sont réalisées suivant les deux combinaisons possibles :

- Chute de 9 mètres sur sol cumulée à la chute 1 mètre sur poinçon,
- Chute de 1 mètre sur poinçon cumulée à la chute de 9 mètres sur sol.

Les études de chutes sont réalisées suivant deux températures différentes : -40 °C et 150 °C.

Seuls les capots subissent une rupture de la tôle extérieure qui reste limitée au point d'impact. Le risque de déchirure du plomb, du fourreau ou des brides est écarté.

1.3 **REPRESENTATIVITE DE LA MAQUETTE NUMERIQUE**

Ce paragraphe présente les principales justifications de la représentativité de l'emballage « Château AGNES » n° 1 (utilisé lors des essais) par rapport aux emballages « Château AGNES » n° 3 à 16.

L'emballage « Château AGNES » n° 1 correspond au premier modèle d'emballage « Château AGNES » exploité.

1.3.1 **Ecart entre la maquette (emballage « Château AGNES » n°1) et le modèle de colis (emballages « Château AGNES » n° 3 à n° 16)**

La maquette des essais de chute (emballage « Château AGNES » n° 1) est identique au modèle de colis, constitué de l'emballage « Château AGNES » (emballages « Château AGNES » n° 3 à n° 16) et de son contenu, excepté les points décrits au tableau suivant :

Caractéristiques	Prototype d'essai (emballage « Château AGNES » n° 1)	Modèle de colis constitué de l'emballage « Château AGNES » (emballages « Château AGNES » n° 3 à n° 16)
Matériau du fourreau	Fonte à graphite lamellaire NI RESIST TYPE 2B (L.NC.20-3)	Acier inoxydable (Z2 CND 17.13 ou 316 L)
Matériau des tôles constituant le corps du « Château AGNES »	Acier au carbone (XC 18 S)	Acier inoxydable (Z2 CN 18.10 ou 304 L)

1.3.2 **Représentativité**

1.3.2.1 **Masses**

Les éléments de la maquette (emballage « Château AGNES » n° 1) ont des masses similaires à celles des éléments du modèle d'emballage « Château AGNES ».

Dans le cas du contenu, la masse du contenu est très faible (< 0,02 %) devant la masse totale de l'emballage « Château AGNES ». L'impact de cette masse est donc négligeable.

La maquette est donc représentative en termes de masse du modèle d'emballage « Château AGNES ».

1.4 **ESSAIS DE CHUTE**

Les essais de qualification sont effectués sur le prototype n°1 dont la représentativité est analysée.

L'emballage a été soumis successivement et dans l'ordre aux épreuves et vérifications suivantes :

- contrôle initial de conformité avec test d'étanchéité du « Château AGNES »,
- épreuve d'aspersion d'eau,
- épreuve de chute de 0,9 m,
- contrôle d'état et test d'étanchéité du « Château AGNES »,
- épreuves de chutes de 9 m,
- épreuve de poinçonnement,
- épreuve d'incendie,
- contrôle d'état final avec test d'étanchéité du « Château AGNES ».

Les critères de qualification du conteneur sont :

- en matière de tenue mécanique du « Château AGNES », pas de fissuration ou d'ouverture de l'enceinte de confinement,
- en matière d'étanchéité à l'hélium du « Château AGNES », le flux de fuite global, après épreuves, ne doit pas être supérieur à $5,00.10^{-5} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$.

L'expertise finale du spécimen après avoir subi toutes les épreuves montre que :

- l'assemblage du capot par vissage après chute est préservé pour déplacer le « Château AGNES »,
- la génératrice de chute est légèrement enfoncée de 1 à 2 mm au niveau de l'emboîtement avec les capots de transport,
- le flux de fuite normalisé est inférieur à $5,00.10^{-5} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$.

Ces résultats respectent les critères de qualification du conteneur cités ci-dessus.

1.5 **COMPORTEMENT MECANIQUE DE L'EMBALLAGE « CHATEAU AGNES » LORS DE CHUTES ACCIDENTELLES**

L'objectif de cette étape est de réaliser une étude de tenue du colis en conditions accidentelles de transport.

Ces épreuves sont régies par les §726 à 730 du règlement de transport des matières radioactives (AIEA N° TS-R-1 de 2009). Celles-ci se composent de :

- Chute 1 : Une épreuve de chute de 0,9 mètre sur sol issue des chutes réalisées dans l'étude précédente.
- Chute 2 : Une épreuve de chute de 9 mètres sur sol, cumulée à la chute de 0,9 mètre.
- Chute 3 : Une épreuve de chute de 1 mètre sur poinçon cumulée à la chute de 9 mètres sur sol.

Afin de déterminer le cas le plus pénalisant, les études de chute sont réalisées suivant les deux combinaisons possibles :

- Chute de 9 mètres sur sol cumulée à la chute 1 mètre sur poinçon,
- Chute de 1 mètre sur poinçon cumulée à la chute de 9 mètres sur sol.

Les études de chutes sont réalisées suivant deux températures différentes : -40 °C et 150 °C.

Les calculs sont effectués par le code de calcul aux éléments finis LS-DYNA. Le solveur explicite 3D est utilisé pour la réalisation des calculs de cette étude.

1.5.1 Modélisation

1.5.1.1 Emballage

Le corps du « Château AGNES » est constitué d'une double enveloppe cylindrique en acier remplie de plâtre. Les éléments principaux contenus dans le cœur du « Château AGNES » sont les suivants :

- la bride arrière,
- le fourreau du conteneur,
- le fourreau du bouchon.

Le volume situé entre le corps du « Château AGNES » et les éléments ci-dessus est rempli de plomb. Le « Château AGNES » comporte également, visées à ses extrémités, deux brides de sécurité, l'une à l'avant et la seconde à l'arrière. La modélisation de l'emballage « Château AGNES » est réalisée de manière entière.

Le contenu de l'emballage n'est pas maillé mais est représenté dans le modèle par une masse répartie sur les faces de la cavité.

La coque de protection est formée de deux capots de protection, supérieur et inférieur, reliés par une tôle perforée (qui ne l'est pas dans le modèle) soudée à l'un des capots et vissée à l'autre.

Les essences de bois sont représentées. Une couche de plâtre se trouve également à chaque extrémité de la coque, au voisinage du « Château AGNES ».

Supprimer les trous de la tôle perforée n'a qu'une influence négligeable sur les résultats. En effet, l'impact ne se situe pas directement sur la plaque et l'énergie est essentiellement absorbée par les bois du capot de protection. De plus, dans la chute sur poinçon, la tôle est négligée. Le bossage de manutention est directement impacté. Il s'agit donc d'un cas de chute plus défavorable.

Les joints en caoutchouc situés entre le « Château AGNES » et la coque de protection ne sont pas modélisés.

1.5.1.2 Matériaux

Les simulations de chutes sont réalisées pour deux températures de fonctionnement de l'emballage « Château AGNES », à savoir -40°C et +150°C. Les propriétés mécaniques des matériaux à ces températures retenues pour les calculs sont prises en compte.

Les comportements mécaniques des différents matériaux sont modélisés au moyen des lois disponibles dans LS-DYNA.

1.5.1.3 Vis

Les différentes vis du conteneur sont modélisées afin d'y relever les efforts de traction et de cisaillement.

1.5.1.4 Conditions limites et chargement

Le « Château AGNES » est positionné dans ses capots de protection. Les chutes sur surface plane se font à partir d'une hauteur de 9 m. La surface impactée est supposée indéformable et est représentée par un mur rigide. Les chutes sur poinçon se font à partir d'une hauteur de 1 m. Le poinçon est de forme cylindrique. Celui-ci est supposé indéformable.

L'effet de la gravité est pris en compte durant toutes les simulations.

1.5.2 Résultats

Seuls les capots subissent une rupture de la tôle extérieure qui reste limité au point d'impact. Le risque de déchirure du plomb, du fourreau ou des brides est écarté.

1.6 TENUE A LA PRESSION

La vérification de la tenue à la pression de l'enveloppe de confinement de l'emballage « Château AGNES » est effectuée par calculs.

Les éléments de l'enveloppe de confinement soumis à la pression sont :

- le fourreau réalisé en trois parties,
- la bride de sécurité avant, la bride de sécurité arrière et l'obturateur de la bride de sécurité avant,
- vis imperdables M16 en inox de fixation des brides de sécurité au fourreau,
- vis imperdables M8 en inox de fixation de l'obturateur de la bride avant sur la bride de sécurité avant.

La pression maximale considérée est de 700 kPa (conditions normales de transport et conditions accidentelles de transport).

Pour les trois parties du fourreau, ainsi que pour les brides de sécurité et l'obturateur de la bride de sécurité avant, la dimension minimale évaluée est l'épaisseur minimale pour une pression interne de **700 kPa**. Le rapport de l'épaisseur réelle de ces éléments sur l'épaisseur minimale donne un coefficient de surdimensionnement :

- supérieur à 32 pour l'épaisseur des trois parties du fourreau,
- supérieur à 4 pour l'épaisseur des brides de sécurité et de l'obturateur de la bride avant.

La tenue à la pression du fourreau, des brides de sécurité, et de l'obturateur, est donc assurée.

Concernant les systèmes de fixation par vis, la section minimale de l'ensemble des vis est évaluée pour une pression interne de **700 kPa**. Le rapport de la section réelle de l'ensemble des vis sur la section minimale donne le coefficient de surdimensionnement. Ce coefficient de dimensionnement est supérieur à 3,1 pour la totalité des systèmes de fixation, leur tenue à la pression est donc assurée.

La tenue à la pression est donc assurée pour la totalité de l'enveloppe de confinement.

2. ANALYSE THERMIQUE

2.1 TENUE THERMIQUE DE L'EMBALLAGE EN CONDITIONS NORMALES DE TRANSPORT

L'analyse du comportement thermique du colis en conditions normales de transport est réalisée par une méthode numérique à l'aide du logiciel ANSYS.

2.1.1 Modélisation de l'emballage

L'emballage est considéré à l'état déformé suite aux chutes. Les jeux minimaux sont pris en compte.

Le modèle est réalisé sur la base du 3D du « Château AGNES ».

2.1.2 Modélisation du contenu

Le contenu n'est pas modélisé explicitement, il est modélisé, de manière pénalisante, par une puissance thermique totale de 600 W (puissance thermique maximale des 3 cibles transportées dans l'emballage « Château AGNES ») appliquée de manière uniforme sur la surface interne du conteneur interne.

2.1.3 Résultats

Les températures maximales obtenues sont les suivantes :

- conteneur interne : 105 °C,
- joints du conteneur interne : 105 °C,
- joints du confinement : 90 °C.

2.1.4 Conclusion sur la tenue thermique de l'emballage en conditions normales de transport

La température maximale atteinte par les joints de confinement est inférieure à la température limite d'utilisation.

La température maximale atteinte par le plomb se situe dans le corps de l'emballage et est inférieure à la température critique.

En conditions normales de transport, le modèle de colis AGNES transportant un contenu d'une puissance maximale de 600 W respecte l'ensemble des critères de température sur les joints et le plomb.

Le colis maintient son intégrité, en garantissant ainsi ses fonctions de sûreté (protection radiologique et confinement), sans autre dommage provoqué par la chaleur. Les critères réglementaires sont ainsi respectés.

2.2 TENUE THERMIQUE DE L'EMBALLAGE EN CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT

L'analyse du comportement thermique du colis en conditions normales de transport est réalisée par une méthode numérique à l'aide du logiciel ANSYS.

2.2.1 Modélisation de l'emballage

Du point de vue géométrique les conditions accidentelles de transport sont caractérisées par une chute de 9 m sur génératrice et sur poinçon ainsi qu'une chute axiale de 9 m et sur poinçon selon un angle de 90°.

La géométrie du modèle de colis considère les endommagements des capots de protection issus des chutes précédentes à 150°C. Les écrasements obtenus lors de ces chutes sont maximums.

Les jeux minimaux sont pris en compte. De manière pénalisante, seule la conduction à travers l'air de ces jeux est considérée.

2.2.2 Modélisation du contenu

Le contenu n'est pas modélisé explicitement, il est modélisé, de manière pénalisante, par une puissance thermique totale de 600 W (puissance thermique maximale des 3 cibles transportées dans l'emballage « Château AGNES ») appliquée de manière uniforme sur la surface interne du conteneur interne.

2.2.3 Résultats

Les températures maximales atteintes au niveau des composants de l'emballage « Château AGNES » ne dépassent pas la température d'utilisation des différents matériaux les constituant.

2.2.4 Conclusion sur la tenue thermique de l'emballage en conditions accidentelles de transport

La température maximale atteinte par les joints de confinement est inférieure à la température limite d'utilisation de 175°C en pointe.

La température maximale atteinte par le plomb se situe dans le corps de l'emballage et est inférieure à la température critique.

En conditions accidentelles de transport, le modèle de colis AGNES transportant un contenu d'une puissance maximale de 600 W respecte l'ensemble des critères de température sur les joints et le plomb.

Le colis maintient son intégrité, en garantissant ainsi ses fonctions de sûreté (protection radiologique et confinement), sans autre dommage provoqué par la chaleur. Les critères réglementaires sont ainsi respectés.

3. ANALYSE DE CONFINEMENT

3.1 EXTRUSION DES JOINTS

Le phénomène d'extrusion présente un risque sur l'intégrité des joints lorsque leur volume dépasse celui des gorges de joint les accueillant. Le calcul des taux de compression des joints permet d'évaluer dans quelle proportion le joint est comprimé dans sa gorge.

Les résultats montrent que le risque d'extrusion est inexistant pour l'ensemble des joints de confinement.

Les joints présentent des taux de compression compris entre 15% et 30% en prenant en compte la déformation rémanente à la compression, ce qui est en accord avec les recommandations constructeurs.

Il n'existe pas de risque d'extrusion ou de risque de mauvaise compression, pour tous les joints, dans toutes les conditions analysées, pour le « Château AGNES ».

3.2 RELACHEMENT D'ACTIVITE

Le flux de fuite normalisé admissible en condition SLR (Standard leakage rate) pour l'emballage « Château AGNES » chargé de 3 cibles irradiées est analysé. Ce flux de fuite est déterminé de sorte que les critères de l'article 659 de l'AIEA (2) en termes de relâchement d'activité soient respectés. Ces critères sont :

- relâchement inférieur à 10^{-6} A2 / heure en conditions normales de transport (CNT),
- relâchement inférieur à 1 A2 / semaine en conditions accidentelles de transport (CAT).

3.2.1 Méthodologie

L'inventaire des isotopes est obtenu à l'aide d'un calcul d'irradiation réalisé par le code ORIGEN-2.2, à savoir un cycle d'irradiation de 311 heures suivi de 6 heures de refroidissement.

Les étapes essentielles de la méthode sont les suivantes :

- Etape 1 : déterminer la liste des isotopes radioactifs,
- Etape 2 : calcul de l'activité totale relâchable (RI_T),
- Etape 3 : calcul des taux de relâchement autorisés maximums (R),
- Etape 4 : calcul du taux d'activité relâchée par perméation (R_F),
- Etape 5 : calcul du taux d'activité relâchable par les fuites maximum autorisé (R_G),
- Etape 6 : calcul de l'activité volumique contenu dans l'enceinte de confinement (A_V),
- Etape 7 : calcul du flux de fuite volumique maximum autorisé (L),
- Etape 8 : calcul du diamètre de fuite et du taux de fuite maximum autorisé (D et Q_{MAX}),
- Etape 9 : calcul du taux de fuite SLR maximum autorisé (Q_{SLR}),
- Etape 10 : vérification du temps de remontée de pression (t_f).

3.2.2 Respect des critères en termes de flux de fuite

Les résultats montrent que les critères réglementaires de l'AIEA sont respectés pour un taux de fuite SLR maximal admissible de $5.07E-05 \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$.

Dans ces conditions, le taux de fuite total correspondant à la somme des taux de fuite de chacun des joints de l'enceinte de confinement est inférieur à $5,00E-05 \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$.

4. **ANALYSE DES DEBITS DE DOSES EXTERNES**

L'objectif de l'étude est de déterminer les Débits d'Equivalent de Dose (DED) autour du modèle de colis constitué de l'emballage « Château AGNES » chargé de 3 cibles d'uranium irradiées durant 311 heures et refroidies 6 heures.

Les DED sont déterminés en Conditions de Transport de Routine (CTR) ainsi qu'en Conditions Normales et Accidentelles de Transport (CNT et CAT).

Les critères de l'AIEA à respecter sont :

- en CTR :
 - ♦ 2 mSv/h au contact du colis,
 - ♦ 0,1 mSv/h à 2 m de la surface externe du colis,
- en CNT :
 - ♦ non-augmentation supérieure à 20% de l'intensité maximale de rayonnement sur toute surface extérieure,
- en CAT :
 - ♦ 10 mSv/h à 1 m de la surface externe du colis.

Les résultats sont :

- en CTR, la valeur maximale de DED est obtenue au contact extérieur et est inférieure à 2 mSv/h et à 2 mètres du colis la valeur maximale du DED est inférieure à 0,1 mSv/h,
- les épreuves de CNT conduisent à une augmentation du DED inférieure à 20 %,
- la valeur maximale de DED à 1 mètre du colis est inférieure à 10 mSv/h.

Les critères réglementaires sont donc respectés.

5. **ANALYSE DE RADIOLYSE ET THERMOLYSE**

Les études menées ont démontré que le risque d'explosion due à la production d'hydrogène par radiolyse de l'eau et des joints, ainsi que par thermolyse des joints est écarté.

Références

1. **ADR.** *Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route. 2015.*
2. **AIEA.** *Règlement de transport des matières radioactives 2012.*
3. **IRSN.** *PDSR Guide du requérant.*



SOLUTIONS COMPLÈTES POUR LA PRÉVENTION DE LA CONTAMINATION

Getinge est le leader mondial des solutions de nettoyage, désinfection et stérilisation en toute efficacité dans les secteurs des soins de santé et des sciences de la vie. Nous nous engageons à aider nos clients à atteindre une productivité maximale de la façon la plus rentable possible, et ce grâce à des solutions bien pensées et personnalisées. Nous sommes donc au côté de nos clients dès la conception architecturale et la formation, jusqu'au suivi et au service après-vente, grâce à des solutions complètes, un engagement à long terme et une présence mondiale. Getinge – Always with you.

Getinge-La Calhène

1 rue du Comté de Donegal
F-41102 Vendôme cedex, France
Tél.: +33 [0] 254 734 747
Fax : +33 [0] 254 734 748
www.getinge.com

Getinge-La Calhène USA

1325 South Frandsen Avenue
Rush City, MN 55069, USA
Tél. : +1 [0] 320 358 4713
Fax : +1 [0] 320 358 3549
www.getinge.com

GETINGE
GETINGE GROUP

www.getinge.com

GETINGE GROUP est un fournisseur mondial de premier plan en produits et systèmes contribuant à améliorer la qualité et la rentabilité des soins de santé et de la biologie. Nous regroupons nos activités sous les trois marques **ArjoHuntleigh**, **GETINGE** et **MAQUET**. ArjoHuntleigh se consacre à la mobilité des patients et au traitement des plaies. **GETINGE** propose des solutions de lutte contre les infections dans les soins de santé et de prévention de la contamination en biologie. **MAQUET** se spécialise dans les traitements et produits destinés aux interventions chirurgicales et aux soins intensifs.