

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire:	Désignation:	Séq	Rév	Page
		R72	DAG 003	-	D	1/19
RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE						

SOMMAIRE

1.	OBJET.....	3
2.	DOCUMENTS DE REFERENCE	3
3.	GENERALITES	4
3.1.	Présentation du colis.....	4
3.2.	Présentation des matières	4
3.3.	Présentation des modes de transport	4
3.4.	Présentation de la structure de l'analyse de sûreté	4
4.	CONFORMITE AUX EXIGENCES REGLEMENTAIRES	5
5.	DESCRIPTION GENERALE DU COLIS.....	5
5.1.	Description de l'emballage	5
5.2.	Fonctions de sûreté	6
6.	DESCRIPTION GENERALE DES MATIERES RADIOACTIVES	8
6.1.	Contenu n°1 : Crayons combustibles UOX-A et MOX-A.....	8
6.2.	Contenu n°2 : Crayons combustibles UOX-B et MOX-B.....	8
7.	DESCRIPTION GENERALE DES AMENAGEMENTS INTERNES.....	9
7.1.	Aménagements internes AI1.....	9
7.2.	Aménagements internes AI2.....	10
8.	ANALYSES STRUCTURALES.....	10
8.1.	Conditions de Transport de Routine (CTR).....	10
8.2.	Conditions Normales de Transport (CNT).....	11
8.3.	Conditions Accidentelles de Transport (CAT)	12
9.	ANALYSES THERMIQUES.....	14
9.1.	Conditions de Transport de Routine et Normales (CTR & CNT).....	14

D				
C				
B				
A				
Rév.	Rédaction	Vérification	Approbation	Date

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	<i>Code affaire:</i>	<i>Désignation:</i>	<i>Séq</i>	<i>Rév</i>	<i>Page</i>
		R72	DAG 003	-	D	2/19

9.2.	Conditions Accidentelles de Transport (CAT)	15
10.	ANALYSES DU CONFINEMENT	16
11.	ANALYSES DE RADIOPROTECTION.....	16
12.	UTILISATION / ENTRETIEN / MAINTENANCE	17
12.1.	Consignes d'utilisation	17
12.2.	Consignes de maintenance.....	18
13.	ASSURANCE DE LA QUALITE	18

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire:	Désignation:	Séq	Rév	Page
		R72	DAG 003	-	D	3/19

1. OBJET

L'objet de ce document est de :

- décrire la structure de l'analyse de sûreté du modèle de colis R72,
- résumer la définition du modèle de colis R72 (l'emballage, ses contenus et aménagements internes),
- synthétiser les éléments importants de l'analyse de sûreté du modèle de colis R72.

Les règlements applicables sont ceux définis en documents de référence [Réf. 1 à Réf. 4]. Les analyses de sûreté ont été établies en conformité avec ces réglementations et avec les recommandations de l'Autorité de Sûreté Nucléaire ([Réf. 5] et [Réf. 6] en particulier).

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

- Réf. 1 : Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif au transport des marchandises dangereuses par voie terrestre (dit arrêté « TMD »)
- Réf. 2 : ADR en vigueur le 1^{er} janvier 2019
Accord Européen Relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Route
- Réf. 3 : RID applicable au 1^{er} janvier 2019
Règlement Concernant le Transport International Ferroviaire des Marchandises Dangereuses
- Réf. 4 : AIEA – SSR-6 (Rev.1), édition de 2018
Réglementation de Transport des Matières Radioactives – Prescriptions de l'AIEA
- Réf. 5 : Guide n°7 de l'ASN – Tome 1 (révision 2 – février 2016)
*Transport à usage civil de substances radioactives sur la voie publique
Demandes d'agrément et d'approbations d'expéditions*
- Réf. 6 : Guide n°7 de l'ASN – Tome 2 (décembre 2014)
*Transport à usage civil de substances radioactives sur la voie publique
Dossier de sûreté des modèles de colis, Guide Européen « Package Design Safety Report »*
- Réf. 7 : F/395/B(M)F-96
Certificat d'agrément – Modèle de colis R72
- Réf. 8 : R72 DAG 000 rév. F
Dossier pour Demande d'Agrément du modèle de colis R72 – Sommaire Général

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire:	Désignation:	Séq	Rév	Page
		R72	DAG 003	-	D	4/19

3. GENERALITES

3.1. Présentation du colis

Le modèle de colis R72 est un modèle de colis de type **B(M)** conçu pour le transport de matières fissiles selon la réglementation des transports de matières radioactives (cf. [Réf. 1] à [Réf. 4]).

Le modèle de colis R72 fait donc l'objet d'un agrément délivré par l'Autorité de Sûreté Nucléaire [Réf. 7]. La conception de ce modèle est définie par le dossier de sûreté déposé auprès de l'Autorité de Sûreté Nucléaire à l'appui de la demande d'agrément [Réf. 8].

Le modèle de colis R72 est développé par ROBATEL Industries, propriétaire du concept. Le premier exemplaire est fabriqué par ROBATEL Industries et est la propriété de ROBATEL SA.

3.2. Présentation des matières

Les matières transportées appartiennent à la **classe 7** du classement des marchandises dangereuses : matières radioactives.

Les numéros d'identification des matières transportées suivant le classement de l'ONU sont :

- **2917** : MATIERES RADIOACTIVES EN COLIS DE TYPE B(M), non fissiles ou fissiles exceptées
- **3329** : MATIERES RADIOACTIVES EN COLIS DE TYPE B(M), FISSILES

Nota : Par "contenus" de l'emballage R72 sont considérés les ensembles constitués :
- des matières radioactives à transporter (voir §6), et
- des aménagements internes de l'emballage utilisés pour cela (voir §7).

Risques subsidiaires : Les matières radioactives transportées (classe 7) ne présentent pas de risques subsidiaires.

3.3. Présentation des modes de transport

- Le colis R72 est transporté sous **utilisation exclusive**.
- Le colis R72 peut être transporté par **route** ou par **rail** (ADR [Réf. 2] et RID [Réf. 3])
- Le colis R72 est classé en catégorie **III-JAUNE** selon l'ADR.

Le transport du modèle de colis R72 doit être réalisé avec une protection autour du colis (bâche, caisson, canopy...).

3.4. Présentation de la structure de l'analyse de sûreté

Le dossier de sûreté à l'appui de la demande d'agrément pour le modèle de colis R72 (dossier [Réf. 8] qui compile l'ensemble des analyses de sûreté relatives au modèle de colis R72 conformément aux prescriptions de l'Autorité de Sûreté Nucléaire [Réf. 5] et [Réf. 6]) se structure de la manière suivante :

- Dossier pour Demande d'Agrément
 - Historique des modifications
 - Conformité aux exigences réglementaires
 - Résumé de l'analyse de sûreté

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire:	Désignation:	Séq	Rév	Page
		R72	DAG 003	-	D	5/19

- **Descriptions Générales**
 - Description de l'emballage
 - Description des contenus
 - Description des aménagements internes
- **Analyse Structurale**
 - Analyse mécanique de l'emballage (manutentions, arrimage, pression...)
 - Analyse mécanique de la tenue aux épreuves réglementaires (CNT, CAT) (calculs et simulations, représentativité de la maquette mécanique, essais de chutes)
- **Analyse Thermique**
 - Analyse thermique de l'emballage (CNT, CAT) (ensoleillement, incendie, températures et pressions maximales atteintes)
- **Analyse du Confinement**
 - Analyse du relâchement de l'emballage (CNT, CAT)
 - Vérification des joints de confinement (non extrusion, taux de compression)
 - Analyse de la radiolyse de l'eau en cas de séchage imparfait
- **Analyse de la Radioprotection**
 - Analyse de la protection biologique de l'emballage (CNT, CAT)
- **Analyse de la Criticité**
 - Analyse du maintien de la sous-criticité (CNT, CAT)
- **Utilisation / Maintenance**
 - Projet de mode d'emploi et d'entretien de l'emballage
 - Projet de mode d'emploi et d'entretien des aménagements internes
- **Assurance de la Qualité**
 - Description des principes d'assurance qualité (conception, fabrication, essais, exploitation, transport, maintenance)
 - Définition et classement des éléments importants pour la sûreté (fonctions, modes de défaillances, contrôles associés)
 - Spécifications de fabrication et de contrôle des exemplaires d'emballages

4. CONFORMITE AUX EXIGENCES REGLEMENTAIRES

La démonstration de la conformité du modèle de colis R72 avec les exigences et prescriptions réglementaires liées au transport de matières radioactives [Réf. 1] à [Réf. 4] est réalisée par l'ensemble du dossier de sûreté. Une matrice synthétique de conformité (jointe au dossier) a également été établie.

5. DESCRIPTION GENERALE DU COLIS

5.1. Description de l'emballage

Le modèle de colis R72 est de forme générale cylindrique. Ses dimensions extérieures hors tout sont :

- longueur : 6 254 mm
- diamètre externe : 1 680 mm

La masse maximale admissible du colis chargé en transport est de 21 500 kg.

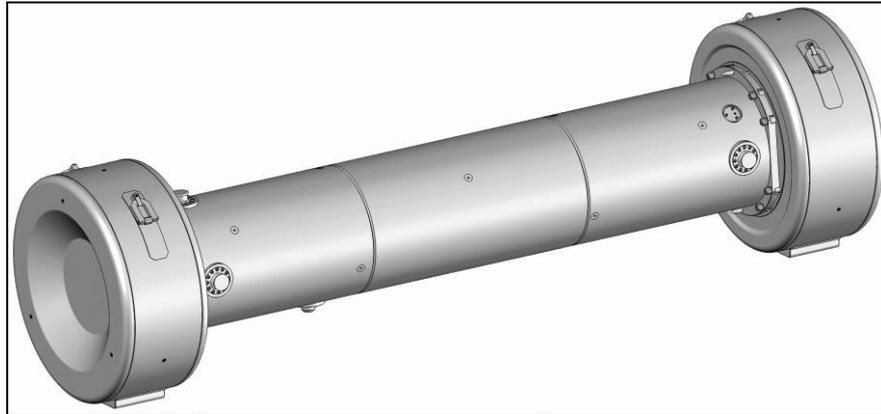


Figure 1 ; vue d'ensemble de l'emballage

L'emballage est constitué des principaux sous-ensembles décrits ci-après (cf. Figure 2).

5.1.1. Corps

Le corps de l'emballage R72 se compose d'un tube intérieur et d'un ensemble de viroles extérieures en acier inoxydable entre lesquelles sont disposées les protections biologiques et thermiques latérales.

Ces deux ensembles (tube intérieur et viroles extérieures) sont reliés de manière étanche à chaque extrémité.

Un couvercle vient fermer chacune des extrémités.

5.1.2. Système de fermeture

Le système de fermeture du colis R72 est composé :

- du couvercle avant (pièce épaisse en acier inoxydable) fixé sur le corps de l'emballage par 21 vis,
- du couvercle arrière (pièce épaisse en acier inoxydable) fixé sur le corps de l'emballage par 8 vis,
- du bouchon de dépressurisation du couvercle avant,
- des 4 bouchons de vidange SAS,
- de la tôle de vidange (pièce épaisse en acier inoxydable) fixée sur le corps de l'emballage par 3 vis.

5.1.3. Systèmes amortisseurs

Il s'agit de deux capots fixés sur les faces avant et arrière par 8 vis chacun. Ils sont constitués d'une structure en acier inoxydable remplie de bois de différentes essences.

5.1.4. Éléments de manutention et d'arrimage

L'emballage R72 est muni de trois paires de tourillons (deux à l'avant, une à l'arrière) fixés sur son enveloppe externe et utilisées pour sa manutention.

L'emballage R72 est muni d'un pion fixé sur son enveloppe externe qui peut être utilisé comme calage pour l'arrimage sur un châssis de transport.

5.2. Fonctions de sûreté

5.2.1. Enceinte de confinement

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

- le tube intérieur épais, sans soudures, en acier inoxydable, du corps de l'emballage
- les deux pièces d'extrémité du tube en acier inoxydable,

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire: Désignation: Séq Rév Page				
		R72	DAG 003	-	D	7/19

- les deux soudures circulaires en pleine pénétration des pièces d'extrémité sur le tube intérieur de l'emballage,
- le couvercle avant massif en acier inoxydable fixé par 21 vis et :
 - son joint torique intérieur en EPDM du système double joints,
 - son orifice de dépressurisation obturé par un bouchon vissé muni de son joint torique en EDPM,
- le couvercle arrière massif en acier inoxydable fixé par 8 vis et son joint torique intérieur en EPDM du système double joints,
- les quatre bouchons de vidange SAS équipés de leur joint torique en EPDM.

Nota 1 : Aucune tuyauterie ne fait partie du confinement.

Nota 2 : Les aménagements internes susceptibles d'être utilisés avec l'emballage peuvent éventuellement constituer une autre enceinte étanche assurant un second niveau de confinement (voir §7) indépendant de celui du colis.

5.2.2. Protection radiologique

La protection radiologique de l'emballage est assurée par :

- Radialement :
 - Le tube interne en acier inoxydable,
 - une épaisseur de plomb,
 - une épaisseur de PNT7™ ROBATEL,
 - l'enveloppe extérieure du corps en acier inoxydable,
- Axialement vers l'arrière :
 - Le couvercle arrière en acier inoxydable,
 - Les parties en acier inoxydables du capot amortisseur,
- Axialement vers l'avant :
 - Le couvercle avant en acier inoxydable,
 - Les parties en acier inoxydables du capot amortisseur,

→ La protection radiologique de l'emballage doit être complétée, selon les besoins, par les aménagements internes utilisés avec l'emballage.

5.2.3. Système d'isolement

Le système d'isolement est composé des matières radioactives, des aménagements internes (décrits dans les §6 et §7) et du corps de l'emballage équipé de ses couvercles.

5.2.4. Dissipation de la puissance interne

La dissipation de la puissance interne est assurée par :

- rayonnement entre les contenus et le tube intérieur du corps de l'emballage,
- conduction dans les gaz internes dans la cavité de l'emballage,
- conduction dans le corps de l'emballage à travers les différentes couches qui le composent (tube intérieur en acier inoxydable, couche de plomb, couche de PNT7™ ROBATEL et virole extérieure en acier inoxydable),
- convection et rayonnement entre la surface externe de l'emballage et l'air ambiant.

5.2.5. Protection contre les chocs

La protection contre les chocs est assurée par :

- L'enveloppe externe épaisse en acier inoxydable,
- Les capots amortisseurs avant et arrière, fixés chacun aux deux extrémités de l'emballage par 8 vis, constitués :
 - d'une enveloppe externe en acier inoxydable,
 - de bois (2 essences différentes),
 - d'une tôle et d'une virole anti-poinçon épaisses en acier inoxydable.

5.2.6. Protection contre l'incendie

La protection contre l'incendie est assurée par :

- la couche de protection thermique sur la longueur de l'emballage constituée de PNT7™ ROBATEL,
- les capots amortisseurs en bois aux extrémités de l'emballage.

6. DESCRIPTION GENERALE DES MATIERES RADIOACTIVES

6.1. Contenu n°1 : Crayons combustibles UOX-A et MOX-A

Le contenu 1 est composé de crayons, de portions de crayons ou de déchets de crayons combustibles (« crayons reconstitués »), irradiés ou non, provenant des centrales d'EDF de type REP 900 MWe, 1300 MWe/1450 MWe ou EPR.

→ UOX-A :

- Le combustible est de type oxyde d'uranium.

→ MOX-A :

- Le combustible est de type d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium.

Ces éléments sont insérés dans un tube fourreau d'un carquois adapté, lui-même chargé dans un étui placé dans l'emballage. L'emballage R72 peut transporter jusqu'à 10 crayons combustibles.

Les crayons peuvent être insérés directement dans un tube fourreau d'un carquois ou bien en étant placés dans un surgainage intermédiaire, amovible.

Leurs principales caractéristiques enveloppes sont présentées dans le tableau ci-après :

	UOX-A	MOX-A
Nombre maximal de crayons transportés :	10	
Irradiation maximale :	85 000 MWj/tmli	75 000 MWj/tmli
Enrichissement maximal en U ²³⁵ : (% massique)	≤ 5 %	≤ 0,7 %
Teneur maximale de Pu : (% massique)		≤ 11 %
Temps de refroidissement minimum :	6 mois	
Puissance thermique résiduelle linéique maximale au maximum du profil de taux de combustion : (pour la totalité du chargement)	310 W/m	
Puissance thermique résiduelle totale maximale : (pour la totalité du chargement)	1000 W	

6.2. Contenu n°2 : Crayons combustibles UOX-B et MOX-B

Le contenu 2 est composé de crayons, de portions de crayons ou de déchets de crayons combustibles (« crayons reconstitués »), irradiés ou non, définis par les éléments suivants :

→ UOX-B :

- Le combustible est de type oxyde d'uranium.

→ MOX-B :

- Le combustible est de type d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium.

Ces éléments sont insérés dans un tube fourreau d'un carquois adapté, lui-même chargé dans un étui placé dans l'emballage. L'emballage R72 peut transporter jusqu'à 10 crayons combustibles.

Les crayons peuvent être insérés directement dans un tube fourreau d'un carquois ou bien en étant placés dans un surgainage intermédiaire, amovible.

Leurs principales caractéristiques enveloppes sont présentées dans le tableau ci-après :

	UOX-B	MOX-B
Nombre maximal de crayons transportés :	10	
Irradiation maximale :	100 000 MWj/tmli	
Enrichissement maximal en U ²³⁵ : (% <i>massique</i>)	≤ 10 %	≤ 1.5 %
Teneur maximale de Pu : (% <i>massique</i>)		≤ 15 %
Temps de refroidissement minimum :	6 mois	
Puissance thermique résiduelle linéique maximale au maximum du profil de taux de combustion : (pour la totalité du chargement)	310 W/m	
Puissance thermique résiduelle totale maximale : (pour la totalité du chargement)	1000 W	

7. DESCRIPTION GENERALE DES AMENAGEMENTS INTERNES

L'emballage R72 peut être utilisé avec plusieurs types d'aménagements internes selon les matières à transporter, les besoins en termes de conformité avec la réglementation des transports et les besoins en termes de fonctionnalités en exploitation.

Ces aménagements permettent de transporter différentes matières radioactives dans la mesure où elles sont autorisées dans le certificat d'agrément du modèle de colis R72 et où leurs géométries sont compatibles avec celles desdits aménagements.

Ces aménagements internes permettent entre autre de :

- vidanger, rincer, sécher et contrôler le séchage de la cavité de l'emballage et des aménagements internes dans le cas de chargements ou déchargements sous eau,
- inerte à l'hélium la cavité de l'étui,
- compléter la protection radiologique axiale de l'emballage,
- assurer une protection radiologique minimale et un confinement secondaire pendant le transport et en exploitation lors de l'ouverture de l'emballage.

Ces différents aménagements internes sont synthétisés dans les paragraphes qui suivent.

7.1. Aménagements internes AI1

Les aménagements internes AI1 sont composés des éléments suivants :

- carquois (3 types : carquois R10-XI, R10-I ou R10-EPR) pour le contenu n°1
- entretoises (2 types)
- étui E1
- bride d'étanchéité
- redent

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire:	Désignation:	Séq	Rév	Page
		R72	DAG 003	-	D	10/19

7.2. Aménagements internes AI2

Les aménagements internes AI2 sont composés des éléments suivants :

- carquois (2 types : carquois T10-XI ou T7-XI) pour le contenu n°2
- entretoise
- étui E2
- bride d'étui
- bride d'étanchéité
- redent

8. ANALYSES STRUCTURALES

L'analyse structurale du modèle de colis R72 comprend les démonstrations de la tenue mécanique du modèle de colis:

- vis à vis des sollicitations induites en exploitation (conditions de transport de routine (CTR) : manutentions, tenue à la pression...),
- en conditions normales de transport (CNT) (arrimage, gerbage, pression interne, épreuve de pénétration, chute libre, aspersion d'eau),
- en conditions accidentelles de transport (CAT) (chute libre, poinçonnement, épreuve d'immersion)

Ces analyses s'appuient sur des calculs mécaniques, des simulations numériques, les retours d'expériences et sur des essais de chutes d'une maquette mécanique représentative du modèle de colis à l'échelle $\frac{1}{3}$.

D'une manière générale, l'ensemble des analyses mécaniques ont été menées en prenant en compte :

- les propriétés mécaniques minimales des matériaux garanties par les normes,
- les conditions réglementaires en termes de pression et température ambiantes (-40°C à +38°C ; 60 kPa à 100 kPa),
- les températures maximales atteintes par les composants de l'emballage compte tenu des conditions ambiantes réglementaires, des conditions réglementaires d'ensoleillement et des performances de dissipation de la chaleur dégagée par les contenus.

8.1. Conditions de Transport de Routine (CTR)

8.1.1. Tenue mécanique des organes de manutention

La résistance des organes de manutention du modèle de colis R72 a été vérifiée vis-à-vis des sollicitations maximales potentiellement induites par les opérations de levage (en prenant en compte les effets dynamiques tel que le levage à « l'arraché »).

8.1.2. Tenue mécanique des organes d'arrimage

L'emballage R72 est arrimé sur le moyen de transport par l'intermédiaire d'un châssis de transport dédié. Le corps de l'emballage repose sur deux berceaux hémicylindriques du châssis bloquant ainsi les mouvements latéraux et verticaux vers le bas. Des sangles permettent de bloquer la direction verticale vers le haut. Le blocage longitudinal est réalisé par le pion d'arrimage situé sur le corps de l'emballage. La résistance du pion d'arrimage dans les conditions réglementaires de transport de routine a été vérifiée :

- vis-à-vis des sollicitations maximales préconisées par la réglementation en vigueur pour les transports par route et par rail ;
- vis-à-vis des phénomènes de fatigue induits par les cycles de transports ou par les phénomènes vibratoires.

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire: Désignation: Séq Rév Page			
		R72	DAG 003	-	D 11/19

8.1.3. Tenue mécanique des enceintes de confinement de l'emballage et de l'étui

La résistance des enceintes de confinement de l'emballage a été vérifiée vis-à-vis des sollicitations maximales potentiellement rencontrées en conditions de transport de routine, notamment :

- vis-à-vis des effets des différentiels de pressions interne/externe ;
- vis-à-vis des effets des accélérations de transport réglementaire.

Nota : Les enceintes de confinement et leurs systèmes de fermeture sont par ailleurs dimensionnés pour résister aux sollicitations induites par les conditions normales et accidentelles de transport (cf. § ci-après).

8.2. Conditions Normales de Transport (CNT)

8.2.1. Epreuve de gerbage

L'emballage R72 est de forme cylindrique : il ne dispose d'aucune face plane en position horizontale et ne peut donc pas être gerbé.

L'épreuve de gerbage préconisée par la réglementation ne s'applique donc pas à l'emballage R72.

8.2.2. Epreuve d'aspersion d'eau

Cette épreuve (consistant à soumettre le colis à une aspersion d'eau simulant l'exposition à un débit de précipitation d'environ 5 cm/h pendant au moins 1 heure), compte tenu de la conception de l'emballage R72 (emballage de forme cylindrique en acier inoxydable fermé de manière étanche par un couvercle muni de joints toriques en EPDM), est sans effet sur l'emballage et sur ses performances de sûreté.

8.2.3. Epreuve de pénétration

Cette épreuve (consistant à laisser tomber une barre d'acier de 6 kg à bout hémisphérique d'une hauteur de 1 m sur le colis), compte tenu de la conception de l'emballage (géométrie, nature et épaisseurs des matériaux), est sans effet sur l'emballage et sur ses performances de sûreté.

Nota : L'enceinte de confinement de l'emballage est par ailleurs dimensionnée pour résister aux sollicitations induites par les conditions accidentelles de transport sans que cela ne dégrade son niveau d'étanchéité, en particulier vis-à-vis de l'épreuve de poinçonnement qui est bien plus sévère que l'épreuve de pénétration (cf. § ci-après).

8.2.4. Epreuve de chute libre de 0.3 m

Compte tenu de la masse du colis R72 (21,5 tonnes), il doit résister à l'épreuve réglementaire de chute libre d'une hauteur de 0.3 m sur cible indéformable. Cela a été justifié lors d'une campagne d'essais de chutes réalisée à l'aide d'une maquette représentative de l'emballage à échelle réduite ($\frac{1}{3}$).

Ces essais ont notamment démontré que, lors d'une telle épreuve :

- le niveau d'étanchéité des enceintes de confinement n'est pas dégradé et
- les protections biologiques de l'emballage ne sont pas endommagées.

L'emballage R72 résiste donc à l'épreuve de chute libre de CNT sans remettre en cause ses performances de sûreté (confinement et radioprotection) ni ses capacités à résister ensuite aux épreuves réglementaires de CAT.

Nota : Les essais de chutes ont en effet démontré le maintien du niveau d'étanchéité des enceintes de confinement de l'emballage et de l'étui ainsi que le maintien de ses protections radiologiques même après avoir subi de manière successive et cumulative les épreuves de chutes libres de CNT (0.3 m) et de CAT (9.0 m) (cf. § ci-après).

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire: Désignation: Séq Rév Page			
		R72	DAG 003	-	D 12/19

8.3. Conditions Accidentelles de Transport (CAT)

8.3.1. Epreuve d'écrasement dynamique

Cette épreuve (consistant en la chute d'une hauteur de 9.0 m d'une plaque horizontale de 500 kg en acier sur l'emballage) n'est pas requise pour le modèle de colis R72 car sa masse (21,5 tonnes) est supérieure à 500 kg.

8.3.2. Epreuve de chute libre de 9.0 m & Epreuve de poinçonnement de 1.0 m

Le modèle de colis R72, conformément aux exigences réglementaires, résiste au cumul des dommages induits par :

- L'épreuve de chute libre de CNT (0.3 m)
- L'épreuve de chute libre de CAT (9.0 m)
- L'épreuve de poinçonnement de CAT (chute d'une hauteur d'1 m de l'emballage sur une barre cylindrique en acier de 150 mm de diamètre)

Cela a été démontré en s'appuyant conjointement sur :

- Une campagne d'essais de chutes réalisée à l'aide d'une maquette représentative du colis R72 à échelle réduite ($\frac{1}{3}$) ;
- par calculs en s'appuyant sur les retours d'expériences dont bénéficie ROBATEL Industries en ce qui concerne les essais de chutes effectués sur des réalisations antérieures.

Essais de chutes :

Afin d'analyser le comportement mécanique de l'emballage, des essais de chutes ont été réalisés sur une maquette représentative du colis R72 à l'échelle $\frac{1}{3}$. Les règles de similitudes ont été appliquées afin de tenir compte du facteur d'échelle à la fois pour la conception de la maquette et pour la définition du programme d'essais.

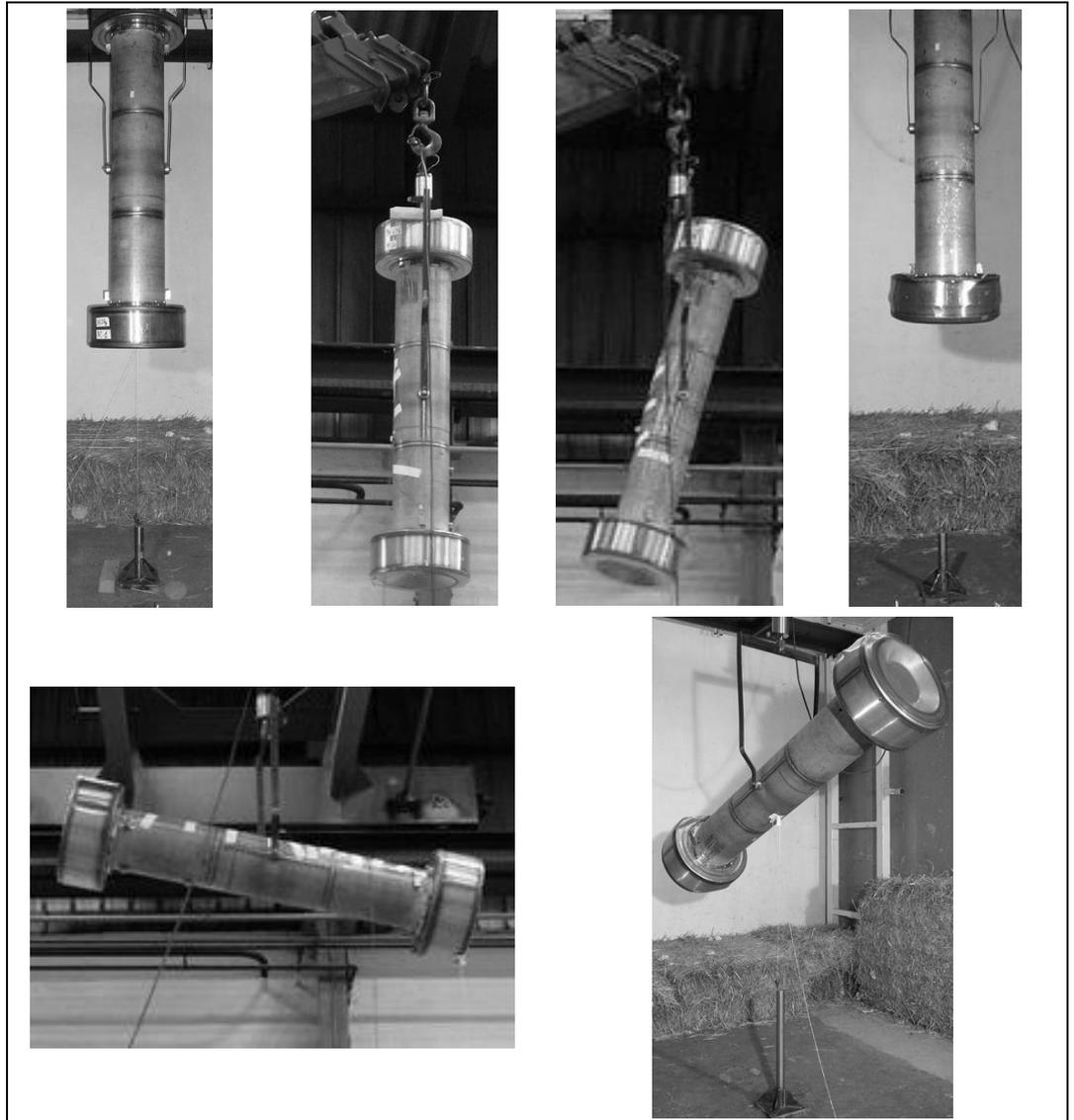
L'ensemble de ces justifications permettent de garantir que le comportement mécanique de la maquette lors des essais de chutes est effectivement représentatif de celui du colis grandeur nature.

Le programme d'essais a été défini sur la base de calculs et simulations préliminaires qui ont permis de déterminer les configurations (et combinaisons de configurations) les plus défavorables pour l'emballage, tant en termes d'orientation de chute que de température. La maquette a ainsi été soumise à plusieurs séquences de chutes, chaque séquence cumulant les effets et dommages induits par :

- une chute libre de CNT (0.3 m),
- une chute libre de CAT (9.0 m) et
- une chute de poinçonnement (1.0 m).

L'objectif de ces essais a été d'observer les dommages subis et leurs incidences éventuelles, en particulier en ce qui concerne :

- Le comportement des capots amortisseurs,
- Les niveaux de décélérations subis par l'emballage,
- La résistance des systèmes de fermetures (i.e. les couvercles de l'emballage et de l'étui et leurs vis de fixation),
- Le niveau d'étanchéité des systèmes de fermeture,
- Les endommagements de protections thermiques et biologiques.



Campagne d'essais de chute de la maquette du modèle de colis R72 :

- 3 chutes libres de 9.3 m (cumul de 0.3 m en CNT et 9.0 m en CAT)
- 3 chutes de 1.0 m sur poinçon (CAT)

Ces essais ont ainsi démontré que :

- Les capots amortisseurs permettent d'absorber les chocs de manière satisfaisante protégeant ainsi de manière efficace les systèmes de fermeture (vis-à-vis des efforts transmis comme des risques de poinçonnement),
- Les capots amortisseurs demeurent solidaires du corps de l'emballage garantissant ainsi le maintien de la protection des éléments de sûreté vis-à-vis de l'épreuve d'incendie réglementaire de CAT (cf. §9),
- Les systèmes de fermeture résistent aux sollicitations sans subir aucun endommagement,
- Les enceintes de confinement (de l'emballage et de l'étui) demeurent intègres sans dégradation de leurs étanchéités ce qui garantit donc le maintien des performances en termes de relâchement (cf. §10),
- Aucun dommage n'a été constaté sur le corps de l'emballage (excepté l'endommagement local induit par l'épreuve de poinçonnement sur le corps) ni sur les aménagements internes ; (cf. §11).

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire:	Désignation:	Séq	Rév	Page
		R72	DAG 003	-	D	14/19

8.3.3. Immersion poussée

Le colis R72 est un colis de type B(M) dont l'activité transportée peut être supérieure à 10^5 A2. Aussi, conformément aux prescriptions réglementaires, il doit résister, pendant une heure au moins, à une immersion sous 200 m d'eau.

La justification de la tenue du colis R72 à l'épreuve d'immersion est réalisée par calculs par éléments finis. Ces calculs ont permis de dégager une marge importante vis-à-vis de ses capacités de résistance mécanique.

9. ANALYSES THERMIQUES

Les analyses thermiques du modèle de colis R72 comprennent les évaluations du comportement thermique du colis et les démonstrations de ses performances de sûreté, notamment :

- Vérification des capacités du colis à dissiper la puissance interne des contenus transportés,
- Evaluation des températures maximales atteintes par les éléments de sûreté du colis en CTR,
- Analyse des incidences de l'épreuve d'incendie réglementaire de CAT en termes de :
 - températures maximales atteintes par les éléments de sûreté du colis (joints et protection biologique principalement),
 - dommages subis par le colis.

Ces analyses ont été réalisées par calculs analytiques et simulations numériques (modèles éléments finis).

D'une manière générale, l'ensemble des analyses thermiques ont été menées en prenant en compte :

- la puissance thermique maximale admissible dégagée par les contenus,
- les conditions réglementaires en CTR en termes de température ambiante (+38°C)
- les conditions réglementaires en CTR en termes d'ensoleillement (suivant spécifications de l'AIEA : 400 W/m² pour la virole externe en cas de colis non bâché ou, en cas de colis bâché, 800 W/m² pour la face supérieure de la bâche et 200W pour ses faces latérales),
- les conditions réglementaires en CAT (incendie de 800°C pendant ½ heure suivant spécifications de l'AIEA).

9.1. Conditions de Transport de Routine et Normales (CTR & CNT)

Les analyses ont démontré que les températures maximales atteintes par l'emballage en conditions de transport de routine (CTR) sont compatibles :

- avec les plages de fonctionnement de ses composants et matériaux constitutifs (notamment en ce qui concerne ses joints de confinement),
- avec les contenus transportés.

Elles ont également démontré qu'en l'absence d'ensoleillement, la température maximale des surfaces du colis facilement accessibles lors de son transport sous utilisation exclusive ne dépassent pas 85°C.

En conditions normales de transport (CNT), les endommagements potentiellement subis par le colis n'ont aucun impact sur son comportement thermique.

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT	Code affaire: Désignation: Séq Rév Page			
	MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	R72	DAG 003	-	D 15/19

Les températures maximales déterminées en CTR/CNT ont été par ailleurs prises en compte dans l'ensemble des analyses de sûreté potentiellement impactées, en particulier :

- Analyses structurales : propriétés mécaniques des matériaux et pression interne
- Analyse du confinement : pression interne et effets de la température sur les joints (plage de fonctionnement, expansion thermique, perméabilité aux gaz)
- Analyse thermique en CAT : températures initiales avant que le colis soit soumis à l'épreuve d'incendie (cf. § suivant)

En CTR/CNT, l'intégrité des composants du modèle de colis R72 est donc démontrée ce qui garantit ses performances de sûreté.

9.2. Conditions Accidentelles de Transport (CAT)

Ces analyses ont été réalisées par simulations numériques à l'aide de modèles par éléments finis en prenant en compte :

- Les températures maximales issues des évaluations thermiques en CTR/CNT comme conditions initiales avant incendie,
- Des endommagements enveloppes résultant du cumul des épreuves mécaniques réglementaires de CNT et CAT (cf. § ci-avant), notamment au niveau des capots,
- Les conditions réglementaires d'incendie : feu enveloppant d'une durée ½ heure avec un pouvoir émissif de 0.9 et une température de flammes de 800°C,
- Un coefficient d'absorptivité de 0.8 pour les surfaces externes de l'emballage,
- Une convection forcée pendant l'incendie au niveau des surfaces externes du colis (10 W/m² suivant préconisations de l'AIEA),
- Le refroidissement naturel du colis après arrêt de l'incendie jusqu'à équilibre thermique (convection naturelle, pas de refroidissement artificiel et maintien de l'ensoleillement réglementaire).

Elles ont ainsi démontré :

- que la protection thermique de l'emballage en compound ROBATEL PNT7™ assure, après avoir subi les endommagements issus des épreuves mécaniques de CAT, le maintien de ses performances vis-à-vis de la protection contre l'incendie,
- que les températures maximales atteintes par l'emballage en conditions accidentelles de transport (CAT) sont compatibles avec les plages de fonctionnement de ses composants et matériaux constitutifs (notamment en ce qui concerne ses joints de confinement et ses protections biologiques en plomb) ainsi qu'avec les contenus transportés.

Les températures maximales déterminées en CAT ont été par ailleurs prises en compte dans les analyses de confinement : pression interne et effets de la température sur les joints (plage de fonctionnement, expansion thermique, perméabilité aux gaz).

En CAT, le bon comportement du modèle de colis R72 vis-à-vis de l'incendie est donc démontré ce qui garantit le maintien de ses performances de sûreté en adéquation avec les exigences réglementaires.

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire:	Désignation:	Séq	Rév	Page
		R72	DAG 003	-	D	16/19

10. ANALYSES DU CONFINEMENT

Les analyses du confinement du modèle de colis R72 comprennent :

- L'évaluation des niveaux maximum de relâchement d'activité en CTR/CNT,
- L'évaluation des niveaux maximum de relâchement d'activité en CAT,
- La vérification du comportement des joints de confinement de l'emballage.

Ces analyses ont été réalisées par calculs analytiques. D'une manière générale, l'ensemble des analyses de relâchement ont été menées en prenant en compte :

- Les propriétés radiologiques enveloppes des contenus admissibles,
- Les températures maximales issues des analyses thermiques (en CTR/CNT et en CAT),
- Les pressions internes maximales issues de l'échauffement des gaz dans la cavité (avec prise en compte des gaz potentiellement produits par les contenus pendant le transport),
- Une pression externe de 60 kPa (suivant spécifications de l'AIEA),
- Les flux de fuite maximum autorisés de l'enceinte de confinement (contrôlés avant expédition des colis) ; ces flux dépendent du type de contenu, de son taux d'irradiation et de sa masse,
- Les phénomènes de relâchement d'activité induit par fuite par capillarité d'aérosols et de gaz,
- Les phénomènes de relâchement d'activité induit par perméation des gaz radioactifs à travers les joints en élastomère.

Les analyses structurales et thermiques ont démontré que les enceintes de confinement de l'emballage et de l'étui conservent leur niveau d'étanchéité que ce soit en conditions de transport de routine, en conditions normales de transport ou en conditions accidentelles de transport (pas de dégradation de l'étanchéité entre les CTR, CNT et CAT).

Les analyses de confinement ont alors démontré que le colis R72 (chargé de son contenu enveloppe) respecte les exigences réglementaires en termes de relâchement maximal d'activité :

- En CTR et CNT : $\leq 10^{-6} \text{ A2 / heure}$
- En CAT : $\leq 1 \text{ A2 sur 1 semaine.}$

Les analyses du comportement des joints de confinement ont également démontré que leur montage garantit des taux de compression en adéquation avec leur plage d'utilisation ainsi que l'absence de risque d'extrusion hors de leur gorge (en CTR, CNT ou CAT).

11. ANALYSES DE RADIOPROTECTION

Les analyses de radioprotection du modèle de colis R72 comprennent :

- L'évaluation des intensités de rayonnement maximales en CTR/CNT,
- L'évaluation des intensités de rayonnement maximales en CAT.

Ces analyses ont été réalisées à partir d'une modélisation tridimensionnelle du colis en utilisant le code de calcul TRIPOLI.

D'une manière générale, l'ensemble des analyses de radioprotection ont été menées en prenant en compte de manière conservatrice :

- Les propriétés radiologiques enveloppes des contenus admissibles,
- Les épaisseurs minimales des protections biologiques,
- Les endommagements enveloppes résultant des épreuves mécaniques de CNT et CAT,
- Les endommagements enveloppes résultant de l'épreuve d'incendie en CAT.

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire:	Désignation:	Séq	Rév	Page
		R72	DAG 003	-	D	17/19

Ces analyses ont démontré que les intensités de rayonnement maximales autour du modèle de colis R72, chargé de son contenu maximal et transporté sous utilisation exclusive, sont toujours inférieures aux niveaux ci-après :

- en CTR et CNT* au contact du colis : \leq 2,0 mSv/h
- en CTR et CNT* à 2 mètres des surfaces externes latérales du colis : \leq 0,1 mSv/h
- en CAT à 1 mètre des surfaces externes du colis : \leq 10,0 mSv/h

* En CNT, les protections biologiques de l'emballage ne subissent aucun endommagement qui soit de nature à accroître les débits de dose au voisinage du colis.

Compte tenu de la conception de l'emballage et des limitations radiologiques relatives à ses contenus admissibles, le respect des critères réglementaires de débit de dose autour du colis R72 est donc garanti.

12. UTILISATION / ENTRETIEN / MAINTENANCE

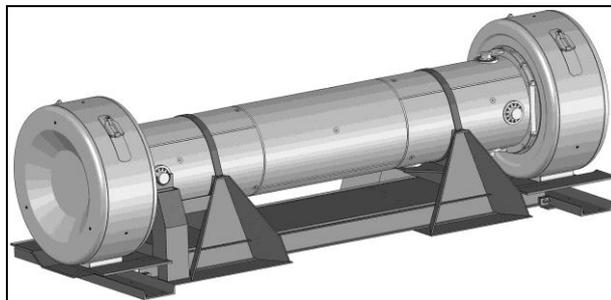
Le dossier de sûreté définit les principaux principes selon lesquels les emballages R72 doivent être utilisés, entretenus et maintenus (manutentions, chargement/déchargement, transport, contrôles et entretiens périodiques).

Toute utilisation, entretien ou maintenance des emballages doit être effectué suivant des procédures conformes aux principes et instructions définis dans son dossier de sûreté.

Tout emballage qui ne satisfait pas aux spécifications et vérifications requises doit être mis hors service jusqu'à ce que l'action corrective appropriée ait été effectuée. Tout écart constaté affectant la sûreté doit être notifié à l'Autorité de Sûreté compétente conformément à ses exigences.

12.1. Consignes d'utilisation

Le modèle de colis R72 est conçu pour être transporté sous utilisation exclusive par route ou par rail, arrimé au moyen de transport à l'aide d'un châssis de transport dédié :



Il peut être chargé/déchargé à sec ou sous eau verticalement, ou à sec horizontalement.

Le dossier de sûreté dresse la liste de l'ensemble des étapes de préparation, de contrôle et d'inspection que le colis doit subir en vue de son transport, notamment :

- Vérification que l'emballage a été utilisé et entretenu en conformité avec les spécifications du dossier de sûreté (inspections et contrôles en exploitation, maintenances périodiques...);
- Inspection de l'état général du colis (propreté, lisibilité des marquages, absence de dégradation...);

ROBATEL Industries	DOSSIER POUR DEMANDE D'AGREMENT MODELE DE COLIS R72 RESUME DE L'ANALYSE DE SURETE	Code affaire: Désignation: Séq Rév Page			
		R72	DAG 003	-	D 18/19

- Vérification de la conformité des contenus aux spécifications du dossier de sûreté et du certificat d'agrément en cours de validité (nature, masses, propriétés radiologiques...);
- Vérification du séchage des cavités
- Vérification de la fermeture de l'emballage en conformité avec les exigences du dossier de sûreté (serrage des vis de fixation aux couples requis);
- Vérification de l'étanchéité de l'étui et de l'emballage en conformité avec les exigences du dossier de sûreté (contrôles des critères de flux de fuite);
- Apposition du scellé réglementaire sur les capots;
- Neutralisation des organes de manutention des capots;
- Vérification des niveaux de contamination des surfaces externes du colis/convoi conformément aux exigences réglementaires;
- Vérification des intensités de rayonnement autour du colis/convoi conformément aux exigences réglementaires;
- Vérification des étiquetages, marquages et documentations relatifs au colis/convoi en conformité avec les prescriptions réglementaires;
- Vérification de l'arrimage en conformité avec les instructions du dossier de sûreté.

12.2. Consignes de maintenance

Les exemplaires du modèle de colis R72 doivent être entretenus conformément aux dispositions figurant au dossier de sûreté. En fonction de l'importance pour la sûreté des différents composants de l'emballage, des consignes particulières relatives aux inspections et entretiens nécessaires y sont spécifiées (inspections, contrôles, tests et/ou remplacements selon le cas). Il est notamment requis de procéder périodiquement à ces opérations de maintenance (en fonction de la durée d'utilisation d'un exemplaire et du nombre de cycles de transports qu'il a effectués).

13. ASSURANCE DE LA QUALITE

Le dossier de sûreté décrit et définit les principaux principes d'assurance de la qualité qui doivent être mis en œuvre pour assurer la conformité :

- du modèle de colis R72 aux prescriptions réglementaires,
- des exemplaires de l'emballage R72 au modèle de colis défini par le dossier de sûreté,
- de l'utilisation des exemplaires de l'emballage R72 aux spécifications du dossier de sûreté,
- des transports des exemplaires de l'emballage R72 aux prescriptions réglementaires.

Ces principes d'assurance de la qualité concernent et s'appliquent à toute activité en lien avec l'emballage R72 (conception, fabrication, mise en service, tests, contrôles, exploitation, transport, entretien et maintenance des emballages).

Les différents acteurs en charge d'opérations afférentes aux emballages R72 doivent donc se conformer à ces principes et établir, selon les périmètres de leurs activités, l'ensemble des documents de suivi qualité permettant de garantir que c'est effectivement le cas (programmes, procédures, rapports et enregistrements qualité notamment).

Colis R72 (+ Aménagements internes AII) – Vue éclatée :

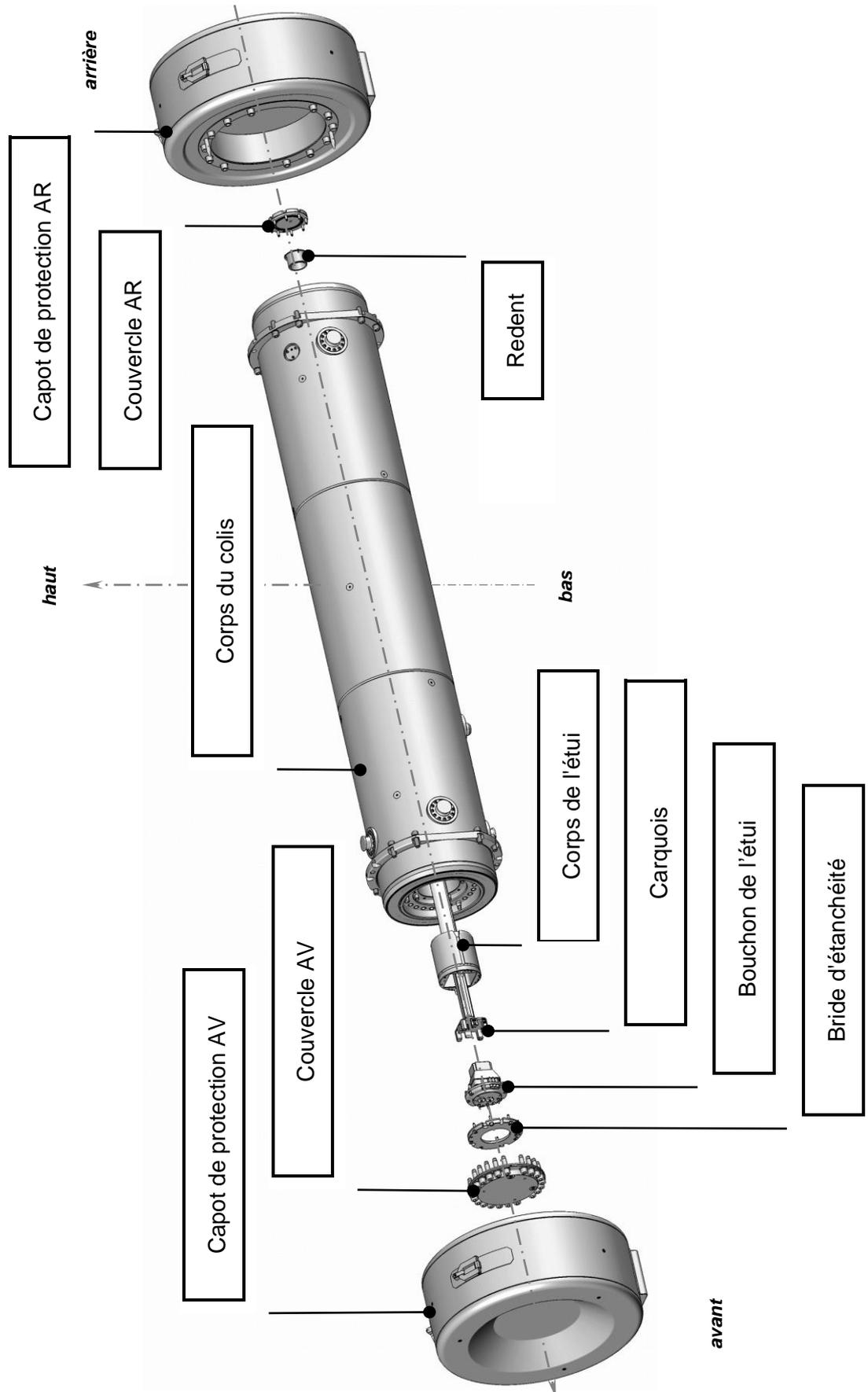


Figure 2 ; vue d'ensemble éclatée de l'emballage