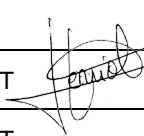
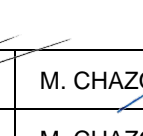
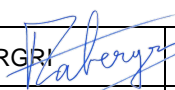


SOMMAIRE

1.	OBJET	4
2.	DOCUMENTS DE REFERENCE	4
3.	GENERALITES	4
3.1.	Présentation générale du colis	4
3.2.	Présentation générale des matières	5
3.3.	Modes de transport	5
3.4.	Présentation générale de la structure du dossier de sûreté	5
4.	CONFORMITE AUX EXIGENCES REGLEMENTAIRES	6
5.	DESCRIPTION GENERALE DU COLIS.....	6
5.1.	Description de l'emballage	6
5.2.	Fonctions de sûreté	8
6.	DESCRIPTION GENERALE DES MATIERES RADIOACTIVES	9
6.1.	Déchets métalliques activés et/ou contaminés	9
6.2.	Aiguilles absorbantes irradiées	9
7.	DESCRIPTION GENERALE DES AMENAGEMENTS INTERNES.....	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
9.2.	Conditions Accidentelles de Transport (CAT)	15
10.	ANALYSES DU CONFINEMENT.....	15
11.	ANALYSES DE RADIOPROTECTION	16
12.	UTILISATION / ENTRETIEN / MAINTENANCE.....	17
12.1.	Consignes d'utilisation	17

E	BPE	G. HENRIOT 	M. CHAZOT 	F. LABERGRI 	03/06/2024
E	PREL	G. HENRIOT	M. CHAZOT	F. LABERGRI	15/05/2024
D	BPE	M. CHAZOT	F. LABERGRI	L. MARCHEGAY	16/11/20
B	BPE	M. CHAZOT	F. LABERGRI	H. RUBY	11/01/19
A	PREL	M. CHAZOT	F. LABERGRI	H. RUBY	04/12/18
Rév.	Etat	Rédaction	Vérification	Approbation	Date

12.2.	Consignes de maintenance.....	18
13.	ASSURANCE DE LA QUALITE	18
14.	ANALYSE DU VIEILLISSEMENT ET PROGRAMME D'ANALYSE DES ECARTS.....	18

Révisions	Historique des modifications	Etat
A	Emission du document	PREL
B	Mise à jour suivant VSO-SR d'EDF (réf. CSDE n° D455518022338)	BPE
C	Mise à jour pour ajout du R73L (version « Longue » du R73)	PREL
D	Mise à jour suivant VSO-SR d'EDF (réf. CSDE n° D455520011332)	BPE
E	Ajout de l'analyse du vieillissement et du programme d'analyse des écarts Mise à jour de la masse des étuis B' Mise à jour des références de la réglementation (+ référence au guide AIEA SSG-66)	PREL
E	Passage BPE suivant VSO	BPE

1. OBJET

L'objet de ce document est de :

- décrire la structure de l'analyse de sûreté du modèle de colis R73/R73L [Réf. 9],
- résumer la définition du modèle de colis R73/R73L (l'emballage dans ses différentes versions et ses contenus),
- synthétiser les éléments importants de l'analyse de sûreté du modèle de colis R73/R73L.

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 2023
Accord Relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Route
- Réf. 3 : RID applicable au 1^{er} janvier 2023
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 : IAEA Safety Standards Series no. SSG-66 (2022 edition)
Specific Safety Guide – Format and Content of the Package Design Safety Report for the Transport of Radioactive Material
- Réf. 8 : F/413/B(U)-96
Certificat d'agrément – Modèle de colis R73
- Réf. 9 : 102484 DAG 0001
Dossier pour Demande d'Agrément du modèle de colis R73 – Sommaire Général

3. GENERALITES

3.1. Présentation générale du colis

Le modèle de colis R73/R73L est un modèle de colis de type B(U) conçu pour le transport de matières radioactives non fissiles ou fissiles exceptées selon la réglementation des transports de matières radioactives (cf. [Réf. 1] à [Réf. 4]).

Le modèle de colis R73/R73L fait donc l'objet d'un agrément délivré par l'Autorité de Sûreté Nucléaire [Réf. 8]. 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. 9].

Le modèle de colis R73/R73L est développé par ROBATEL Industries pour les besoins d'EDF, notamment dans le cadre de ses projets de conditionnement et d'entreposage des déchets activés. Deux versions de l'emballage ont été développées :

1. une version « standard », désignée R73, et
2. une version « Longue », désignée R73L, possédant une cavité dont la hauteur a été augmentée d'environ 50 cm mais des épaisseurs de blindage réduites et adaptées aux caractéristiques du contenu à transporter,

de sorte que, globalement, ces deux versions présentent :

- des principes de conception identiques,
- des interfaces fonctionnelles identiques,
- des masses totales en charge sensiblement identiques.

3.2. Présentation générale des matières

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

Le numéro d'identification des matières transportées suivant le classement de l'ONU est :

- **2916 : MATIERES RADIOACTIVES EN COLIS DE TYPE B(U), non fissiles ou fissiles exceptées**

Ce sont :

- Des déchets métalliques activés et/ou contaminés issus des opérations de démantèlement des centrales nucléaires d'EDF (cf. §6.1).
- Des aiguilles absorbantes irradiées issues du démantèlement d'assemblages de barres de commande de centrales nucléaires d'EDF (cf. §6.2).

3.3. Modes de transport

- Le R73/R73L peut être transporté par **route** ou par **rail** (ADR [Réf. 2] et RID [Réf. 3])
- Le R73/R73L peut être transporté sous utilisation **exclusive** ou **non exclusive**.

3.4. Présentation générale de la structure du dossier de sûreté

Le dossier de sûreté à l'appui de la demande d'agrément pour le modèle de colis R73/R73L (dossier [Réf. 9] qui compile l'ensemble des analyses de sûreté relatives au modèle de colis R73, dans ses versions « standard » ou « Longue », conformément aux prescriptions de l'ASN [Réf. 5] et [Réf. 6] et de l'AIEA [Réf. 7]) se structure de la manière suivante :

- **Dossier pour Demande d'Agrément**
 - *Sommaire général*
 - *Historique des modifications*
 - *Conformité aux exigences réglementaires*
 - *Informations générales*
 - *Résumé de l'analyse de sûreté*
- **Descriptions Générales**
 - *Description de l'emballage*
 - *Description des contenus*
 - *Description des aménagements internes*

- **Analyses Structurales**
 - Analyses mécaniques de la résistance de l'emballage en conditions de transport de routine (CTR : manutentions, arrimage, tenue à la pression...)
 - Analyses mécaniques de la résistance de l'emballage aux épreuves réglementaires en conditions normales et accidentelles de transport (CNT et CAT)

- **Analyses Thermiques**
 - Analyses du comportement thermique de l'emballage en conditions de transport de routine, normales et accidentelles (CTR, CNT et CAT) (notamment : dissipation de la puissance des contenus transporté, ensoleillement et résistance à l'incendie)

- **Analyses du Confinement**
 - Analyse du relâchement de l'emballage (CTR, CNT, CAT)
 - Vérification du comportement des joints
 - Analyse de la production de gaz

- **Analyses de la Radioprotection**
 - Analyse des performances des protections biologiques de l'emballage (CTR, CNT, CAT)

- **Consignes d'Utilisation et de Maintenance**
 - Instructions d'utilisation et consignes d'entretien de l'emballage

- **Assurance de la Qualité**
 - Définition des principes d'assurance qualité
 - Eléments importants pour la sûreté
 - Qualification des codes de calculs

- **Analyse du vieillissement et des écarts**
 - Analyse des mécanismes de vieillissement
 - Principes relatifs au programme d'analyse des écarts

4. CONFORMITE AUX EXIGENCES REGLEMENTAIRES

La démonstration de la conformité du modèle de colis R73/R73L aux exigences et prescriptions réglementaires applicables liées au transport de matières radioactives [Réf. 1] à [Réf. 4] est apportée par l'ensemble des éléments constitutifs du dossier de sûreté du modèle de colis R73/R73L [Réf. 9]. 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 R73/R73L est de forme générale cylindrique (à axe vertical). Ses dimensions extérieures « hors tout » sont environ de :

	<u>R73</u>	<u>R73L</u>
▪ Hauteur :	2 365 mm	2 895 mm
▪ Diamètre :	2 210 mm	2 210 mm

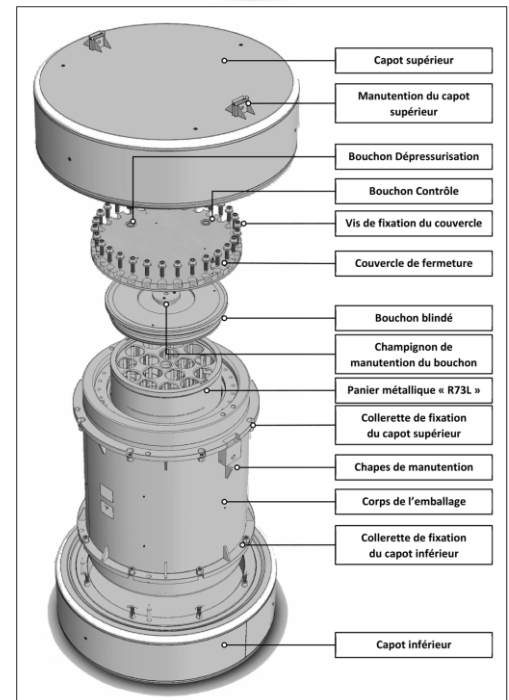
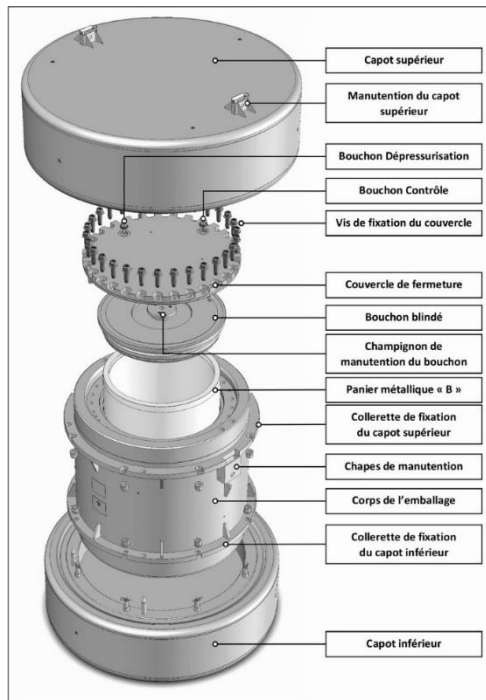
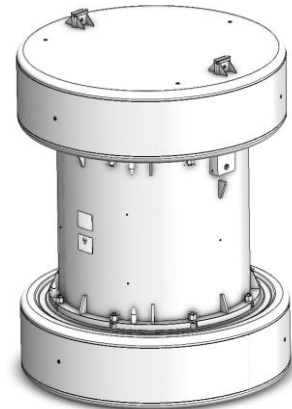
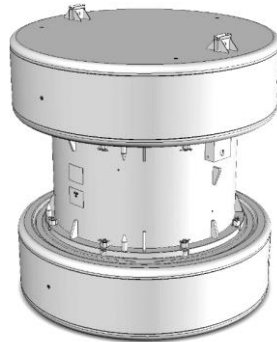
La masse maximale admissible du colis chargé est inférieure à 24 100 kg (dans sa version « standard » comme dans sa version « Longue »).

L'emballage est constitué des principaux sous-ensembles décrits ci-après.

R73/R73L – Vues générales :

R73 (version « standard »)

R73L (version « Longue »)



5.1.1. Corps

Le corps de l'emballage R73/R73L se compose d'une enceinte interne et d'une enveloppe externe cylindriques en acier inoxydable (fermées au niveau de leur fond inférieur) entre lesquelles sont disposées les protections biologiques et thermiques (plomb et compound PNT7™).

Ces deux enceintes sont soudées en partie supérieure à une bride massive en acier inoxydable.

5.1.2. Bouchon

Un bouchon de protection radiologique (bouchon blindé) permet d'obturer l'enceinte interne dans sa partie supérieure.

5.1.3. Couvercle

Un couvercle fixé par vis permet de fermer de manière étanche l'enceinte interne au niveau de son ouverture supérieure et de maintenir en position le bouchon blindé.

5.1.4. Capots amortisseurs

Le corps de l'emballage est équipé deux capots fixés en parties supérieure et inférieure. Ce sont des structures en acier inoxydable remplies de bois.

5.1.5. Eléments de manutention et arrimage

L'emballage R73/R73L est muni de deux chapes permettant sa manutention, soudées sur son enveloppe externe en partie supérieure.

Les capots amortisseurs de l'emballage R73/R73L permettent, à l'aide d'un châssis de transport dédié, le calage et l'arrimage du colis sur son moyen de transport.

Les principales fonctions de sûreté du modèle de colis R73/R73L sont listées ci-après.

5.2. Fonctions de sûreté

5.2.1. Enceinte de confinement et système de fermeture

L'enceinte de confinement de l'emballage R73 est constituée par :

- l'enveloppe intérieure du corps du conteneur, enceinte mécano-soudée* en acier inoxydable constituée :
 - de la virole interne,
 - de la bride supérieure du corps,
 - du fond de l'enceinte interne,
- * (soudures en pleine pénétration)
- le couvercle en acier inoxydable fixé par 30 vis,
 - le joint intérieur du couvercle (joint torique en EPDM),
 - le bouchon de dépressurisation du couvercle muni de son joint (EPDM).

5.2.2. Protection radiologique

La protection radiologique de l'emballage R73/R73L est assurée par :

- Radialement :
 - la virole interne en acier inoxydable,
 - une couche de plomb,
 - la virole externe en acier inoxydable,
- Axialement vers le bas :
 - le fond interne en acier inoxydable,
 - une couche de plomb
 - le fond externe en acier inoxydable,
- Axialement vers le haut :
 - le bouchon blindé constitué d'acier inoxydable et de plomb,
 - le couvercle en acier inoxydable,
 - la tôle anti-poinçon en acier inoxydable du capot supérieur.

5.2.3. Dissipation de la puissance interne

La dissipation de la puissance interne est assurée par :

- rayonnement entre les contenus et les parois de la cavité de l'emballage,
- conduction dans le ciel de la cavité de l'emballage,
- conduction dans le corps de l'emballage à travers ses différentes couches,
- convection et rayonnement entre la surface externe du colis et l'air ambiant.

5.2.4. Protection contre les chocs

La protection contre les chocs est assurée par :

- l'enveloppe externe en acier inoxydable du corps de l'emballage,
- les capots amortisseurs fixés aux extrémités supérieure et inférieure de l'emballage, constitués d'une enveloppe externe en acier inoxydable remplie de bois. Le capot supérieur comporte également une tôle anti-poinçon en acier inoxydable protégeant le système de fermeture du colis.

5.2.5. Protection contre l'incendie

La protection contre l'incendie est assurée par :

- la protection thermique en compound PNT7™ du corps de l'emballage,
- les capots amortisseurs en bois fixés sur le corps de l'emballage.

6. DESCRIPTION GENERALE DES MATIERES RADIOACTIVES

6.1. Déchets métalliques activés et/ou contaminés

L'emballage R73 (version « standard ») est conçu pour transporter des déchets issus principalement des programmes de déconstruction des centrales nucléaires d'EDF.

Ce sont des déchets métalliques activés et/ou contaminés, découpés ou cisailés si nécessaire, puis conditionnés dans des paniers en acier inoxydable dédiés.

L'activité de ces déchets est essentiellement due à l'activation sous flux neutronique des aciers. Ces matières sont non fissiles (ou fissiles exceptées) au sens du Règlement de Transport des Matières Radioactives de l'AIEA et ne présentent pas de risques subsidiaires.

D'une manière générale, les principales limites de chargement sont les suivantes :

- La masse totale maximale des déchets chargés est limitée à : 2 000 kg
- La masse maximale d'un déchet unitaire est limitée à : 300 kg
- La puissance thermique maximale totale des déchets chargés est limitée à : . 167 W

D'un point de vue radiologique, les chargements doivent également être conformes aux principales limitations suivantes :

- L'activité totale maximale des déchets chargés est limitée à :6 500 A2
- La somme des débits de dose maximums induits par chaque déchet à une distance d'1 mètre est limitée à :
 - si mesure sous eau :600 mSv/h
 - si mesure en air : 25 500 mSv/h

6.2. Aiguilles absorbantes irradiées

L'emballage R73L, version « Longue » du R73, a été développé pour transporter des aiguilles absorbantes irradiées qui sont issues du démantèlement d'assemblages de commande de centrales nucléaires d'EDF et qui ont été conditionnées dans des étuis métalliques.

Ces matières ne sont pas fissiles au sens du Règlement de Transport des Matières Radioactives de l'AIEA. Hormis les risques radiologiques associés, ces matières peuvent présenter des résidus de sodium dont les potentiels risques subsidiaires sont pris en compte dans les analyses de sûreté.

D'une manière générale, les principales limites de chargement sont les suivantes :

- Le nombre d'étuis chargés dans l'emballage R73L est limité à 16 étuis
- La masse maximale d'un étui chargé est limitée à : 70 kg/étui
- La puissance thermique maximale d'un étui chargé est limitée à : 1.25 W/étui
- L'activité gamma des matières chargées dans 1 étui est limitée à :2.42 TBq/étui
- L'activité totale maximale des matières chargées est limitée à : 400 A2

7. DESCRIPTION GENERALE DES AMENAGEMENTS INTERNES

Les emballages R73/R73L peuvent être utilisés avec plusieurs types d'aménagements internes selon les matières à transporter et les besoins en termes d'exploitation.

Les matières radioactives transportées à l'aide des emballages R73/R73L sont chargées grâce à des paniers métalliques en acier inoxydable, éventuellement munis d'un système de calage pour leur maintien en position dans la cavité des emballages.

Ces aménagements permettent de transporter différentes matières radioactives dans la mesure où elles sont autorisées dans le certificat d'agrément du modèle de colis R73 et où leurs géométries sont compatibles avec celles desdits aménagements.



Les matières transportées peuvent être chargés soit directement dans un de ces paniers, soit via un aménagement interne intermédiaire lui-même placé dans un panier R73 selon les besoins spécifiques afférents aux contraintes des installations productrices. Pour des matières qui seraient conditionnés sous eau, elles peuvent par exemple être d'abord chargées dans un panier ajouré intermédiaire qui est ensuite égoutté et séché avant d'être introduit dans un panier R73 pour un chargement à sec dans l'emballage.

8. ANALYSES STRUCTURALES

L'analyse structurale du modèle de colis R73/R73L 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) (épreuve d'écrasement dynamique, 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 $1/2,8$.

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 R73/R73L 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 ») ;
- vis-à-vis des phénomènes de fatigue induits par les cycles de manutentions.

Ces analyses ont démontré la tenue mécanique des organes de manutention de l'emballage sans restriction sur sa durée de service.

8.1.2. Tenue mécanique des organes d'arrimage

Les emballages R73/R73L ne disposent pas d'organes d'arrimage spécifique : ils sont arrimés sur les moyens de transport à l'aide de châssis de transport dédiés dans lesquels il sont calés au niveau de leurs capots amortisseurs. La résistance des capots 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.

Ces analyses ont démontré la tenue mécanique et le maintien des performances des capots des emballages sans restriction sur leur durée de service.

8.1.3. Tenue mécanique de l'enceinte de confinement

La résistance de l'enceinte 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.

Ces analyses ont démontré la tenue mécanique de l'enceinte de confinement de l'emballage et de son système de fermeture en conditions de transport de routine.

Nota : L'enceinte de confinement et son système 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

Les instructions d'utilisation spécifient qu'il est interdit de gerber les emballages R73/R73L. La résistance des emballages à l'épreuve réglementaire de gerbage a néanmoins été vérifiée. Les analyses ont démontré qu'ils résistent à une charge de compression verticale équivalente à 5 fois leur masse maximale sans remettre en cause leurs performances de sûreté.

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 des emballages R73/R73L (de forme cylindrique en acier inoxydable, fermés de manière étanche par un couvercle muni de joints toriques en EPDM), est sans effet sur les emballages et sur leurs 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 des emballages (géométrie, nature et épaisseurs des matériaux), est sans effet sur les emballages et sur leurs performances de sûreté.

Nota : L'enceinte de confinement 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 R73/R73L (24 100 kg), 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 réalisé à l'aide d'une maquette représentative de l'emballage (dans sa version « standard ») à échelle réduite (1/2.8).

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

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

Les emballages R73/R73L résistent donc à l'épreuve de chute libre de CNT sans remettre en cause leurs performances de sûreté (confinement et radioprotection) ni leurs capacités à résister ensuite aux épreuves réglementaires de CAT.

Nota : Les essais de chutes ont en effet démontré le maintien du niveau d'étanchéité de l'enceinte de confinement des emballages et le maintien de leurs 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).

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 R73/R73L car sa masse (24 100 kg) est supérieure à 500 kg.

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

Le R73/R73L, 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 R73 à échelle réduite ($1/2.8$) ;
- Des simulations numériques de chutes (à l'aide de modèles éléments finis en dynamique rapide) ;
- Le REX de ROBATEL Industries concernant la conception et les essais de chutes d'emballages type B.

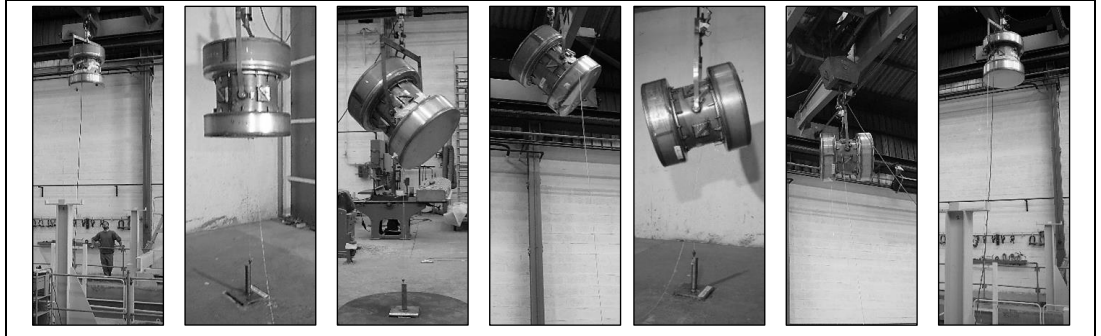
Essais de chutes :

Afin d'analyser le comportement mécanique de l'emballage, des essais de chutes ont été réalisés sur une maquette représentative du colis R73 (version « standard ») à l'échelle $1/2.8$. 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).



Campagne d'essais de chute de la maquette du modèle de colis R73 :

- 4 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)

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

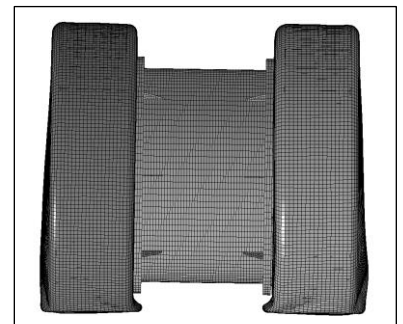
- Le comportement des capots amortisseurs,
- Les niveaux de décélérations subis par l'emballage,
- La résistance du système de fermeture (i.e. le couvercle et ses vis de fixation),
- Le niveau d'étanchéité du système de fermeture,
- Les endommagements de protections thermiques et biologiques.

Ces essais ont ainsi démontré que :

- Les capots amortisseurs permettent d'absorber les chocs de manière satisfaisante protégeant ainsi de manière efficace le système 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),
- Le système de fermeture résiste aux sollicitations sans subir aucun endommagement,
- L'enceinte de confinement demeure intègre sans dégradation de son étanchéité ce qui garantit donc le maintien de ses performances en termes de relâchement (cf. §10),
- Les dommages subis par les protections thermiques (PNT7™) et biologiques (plomb) sont limités localement à la zone du corps impactée par le poinçon et ne remettent pas en cause les capacités du colis à résister à l'épreuve d'incendie réglementaire de CAT (successive aux épreuves mécaniques : cf. §9) ou à assurer la protection radiologique requise après CAT (cf. §11).

Simulations numériques :

Des simulations numériques complémentaires ont également été réalisées pour analyser de manière plus précise le comportement mécanique de l'enveloppe de confinement et de son système de fermeture. Ces calculs (simulations des essais de chutes par éléments finis en dynamique rapide à l'aide du code LS-DYNA) ont démontré la résistance de l'enceinte de confinement aux effets potentiels de chocs internes des contenus chargés contre les parois de la cavité de l'emballage et son système de fermeture.



8.3.3. Epreuve d'immersion

Compte tenu de l'activité maximale transportée ($< 10^5$ A2), le colis R73/R73L doit résister à l'épreuve réglementaire d'immersion consistant à soumettre le colis à une pression statique extérieure de 150 kPa (correspondant à une immersion sous 15 m d'eau pendant au moins 1 heure).

Il a été démontré par calculs que cette épreuve, du fait de la conception des emballages, est sans effet sur le colis R73/R73L et sur ses performances de sûreté.

9. ANALYSES THERMIQUES

Les analyses thermiques du modèle de colis R73/R73L 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 (200 W/m² pour les surfaces verticales et 800 W/m² pour les surfaces planes orientées vers le haut suivant spécifications de l'AIEA),
- 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 en conditions de transport de routine (CTR) par l'emballage 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 ne dépassent pas 50°C.

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

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 R73/R73L 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 amortisseurs et de l'impact du poinçon sur le corps de l'emballage,
- 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 en compound PNT7™ de l'emballage 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 R73/R73L 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.

10. ANALYSES DU CONFINEMENT

Les analyses du confinement du modèle de colis R73/R73L 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 des emballages.

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),
- 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 l'enceinte de confinement du colis R73/R73L conserve son 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 R73/R73L (chargé de ses contenus enveloppes) respecte les exigences réglementaires en termes de relâchement maximal d'activité :

- En CTR et CNT : $\leq 10^{-6} A2$ / heure
- En CAT : $\leq 1 A2$ 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 R73/R73L 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 de modélisations tridimensionnelles du colis en utilisant les codes de calcul TRIPOLI et SCALE.

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

- Les propriétés radiologiques enveloppes des contenus admissibles,
- Les éventuelles hétérogénéités au sein du contenu,
- Les éventuels mouvements au sein du contenu pendant les transports,
- 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.

Ces analyses ont démontré que les intensités de rayonnement maximales autour du modèle de colis R73/R73L, chargé de son contenu maximal, 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 R73/R73L est donc garanti.

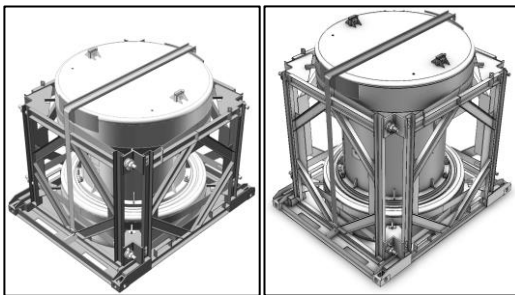
12. UTILISATION / ENTRETIEN / MAINTENANCE

Le dossier de sûreté définit les principaux principes selon lesquels les emballages R73/R73L 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 R73 (dans sa version « standard » comme « Longue ») est conçu pour être :

- chargé,
- transporté,
- et déchargé,
- verticalement, à sec.

Il peut être transporté par route ou par rail, arrimé au moyen de transport à l'aide de châssis de transport dédiés.

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...);
- 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 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'emballage en conformité avec les exigences du dossier de sûreté (contrôles des critères de flux de fuite);
- Apposition du scellé réglementaire sur son capot supérieur;
- Neutralisation des organes de manutention du capot supérieur de l'emballage;
- 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 R73/R73L 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 R73/R73L aux prescriptions réglementaires,
- des exemplaires des emballages R73/R73L au modèle de colis défini par le dossier de sûreté,
- de l'utilisation des exemplaires des emballages R73/R73L aux spécifications du dossier de sûreté,
- des transports des exemplaires des emballages R73/R73L aux prescriptions réglementaires.

Ces principes d'assurance de la qualité concernent et s'appliquent à toute activité en lien avec les emballages R73/R73L (conception, fabrication, mise en service, tests, contrôles, exploitation, transport, entretien et maintenance des emballages).

Les différents acteurs en charge d'opérations afférentes aux emballages R73/R73L 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).

14. ANALYSE DU VIEILLISSEMENT ET PROGRAMME D'ANALYSE DES ECARTS

L'analyse du vieillissement du modèle de colis R73/R73L est présentée dans le dossier de sûreté. D'une manière générale, les matériaux constitutifs du modèle de colis R73/R73L ne sont pas particulièrement sensibles aux phénomènes de vieillissement. Les mesures préventives prévues lors de la conception, de la fabrication et de l'utilisation du modèle de colis sont détaillées dans le dossier de sûreté.

Dans la mesure où le modèle de colis R73L (version longue du R73) est destiné à pouvoir être utilisé pour une expédition après une période d'entreposage, un programme d'analyse des écarts est défini dans le dossier de sûreté conformément à la réglementation. Il décrit les principes d'une procédure systématique d'évaluation périodique des changements au niveau de la réglementation, des connaissances techniques et de l'état général du colis R73L pendant une période d'entreposage après laquelle il devrait être expédié.