

Orano NPS DOSSIER DE SURETE FS 47	Diffusion limitée Orano - Autorités DOSSIER PUBLIC		 orano
	Préparateur / signature	Date	
	Vérificateur / signature	Date	
Identification : DOS-24-005644-000		Version : 1.0	Page 1 / 14

CARACTERISTIQUES DES PERFORMANCES DU COLIS

Sommaire

Etat des révisions	2
1. INTRODUCTION	3
2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS	3
3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE	5
4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE	7
5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT	8
6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION	9
7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE	10
8. CONDITIONS D'UTILISATION	12
9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE	13
10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE	13
11. REFERENCES	14

Etat des révisions

Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
1.0	Voir ci-dessus	Création du document	████████████████████

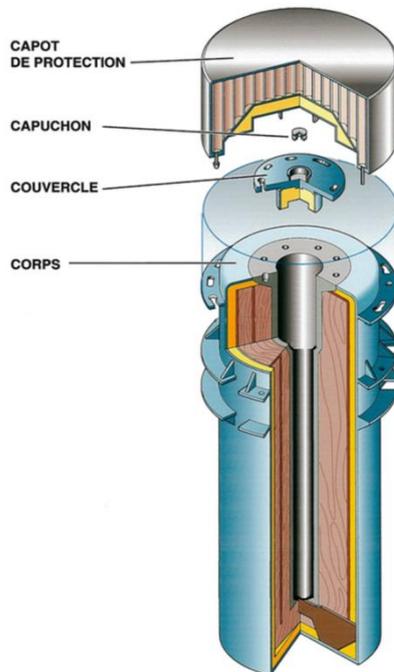
1. INTRODUCTION

L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du colis FS47, destiné au transport par voie routière, ferroviaire, maritime ou fluviale d'oxyde d'uranium (UO_2) faiblement irradié, sous forme de pastilles frittées conditionnées en crayons, panier et conteneurs, en tant que colis de type A contenant des matières fissiles au regard de la réglementation <1>.

2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS

2.1. Description du colis

De forme générale cylindrique, le colis est illustré sur la figure ci-dessous tel que présenté au transport, en position verticale.



Les dimensions générales hors-tout du colis sont :

hauteur = 2 055 mm

diamètre du capot = 742 mm

diamètre du corps = 611 mm

Le colis FS47 est transportable par voie terrestre (routier ou ferroviaire) ou maritime ou fluviale.

2.2. Description de l'emballage

L'emballage FS47, de forme générale cylindrique, est formé d'un corps, d'un système de fermeture et d'un capot de protection.

Le corps délimite une cavité cylindrique et est constitué successivement :

- d'une enveloppe interne en tôle d'acier inoxydable,
- d'une couche de compound de blindage neutronique et d'une couche de cuivre,
- d'une couche de protection thermique,
- d'une enveloppe externe en tôle d'acier doux peint. Le fond de l'enveloppe externe est en acier doux peint ou en acier inoxydable.

Le couvercle est fixé par des goujons à la bride en partie haute du corps. L'étanchéité est assurée par des joints toriques en élastomère. Au centre du couvercle, un raccord muni d'un joint permet d'effectuer une prise d'échantillon. Ce raccord est protégé par un capuchon muni également de joints.

Un capot, formé d'une enveloppe en acier inoxydable, rempli d'absorbant neutronique et de bois, placé sur la partie haute du corps, a pour but d'amortir les impacts subis en conditions accidentelles de chutes, et remplit une fonction d'isolation thermique des différents joints en conditions d'incendie. Le capot est assemblé sur le corps (couronne médiane supérieure) par l'intermédiaire de goujons.

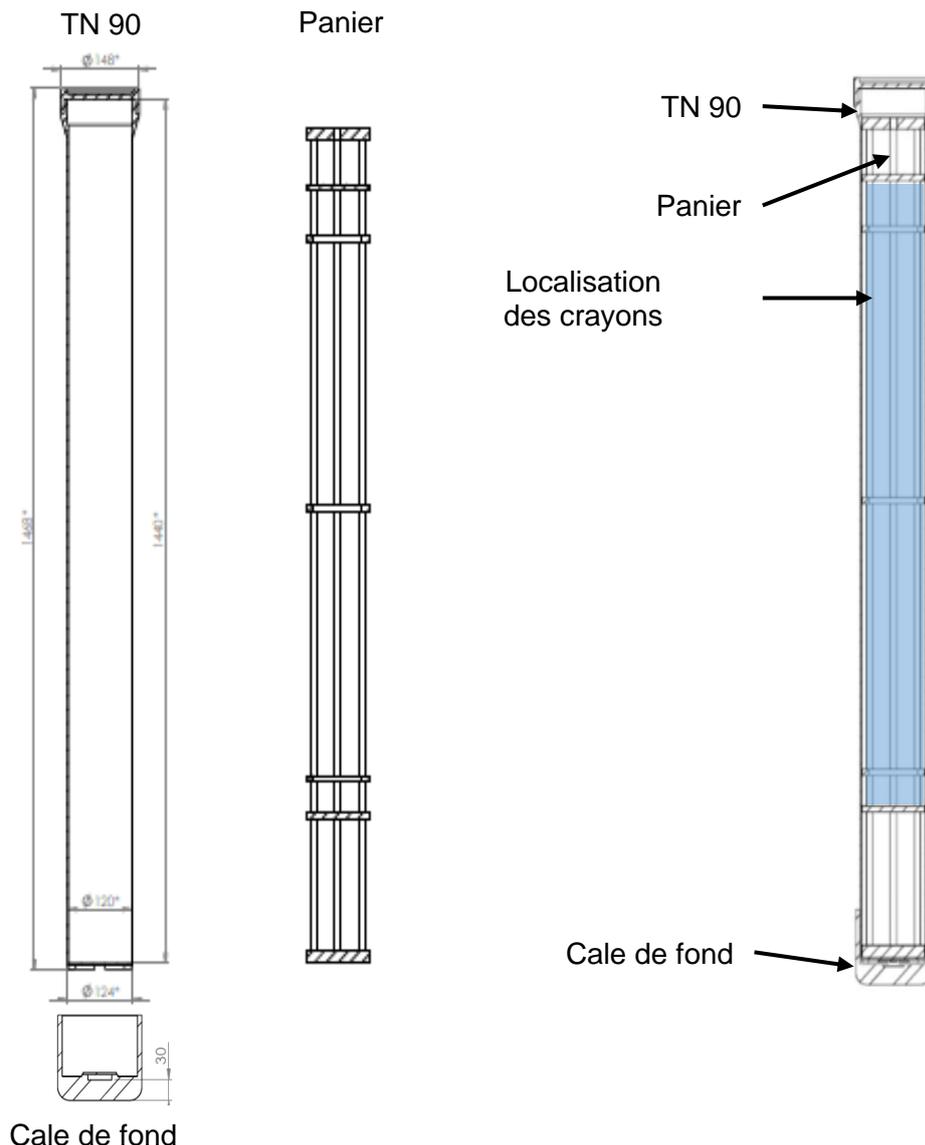
L'organe de manutention est constitué par la couronne médiane intermédiaire fixée sur la virole externe.

Pendant le transport, l'emballage est arrimé en position verticale par la couronne médiane intermédiaire fixée sur la virole externe par l'intermédiaire de sangle et de barre de calage, le tout placé dans un conteneur.

2.3. Description des conditionnements et des contenus

Le contenu est constitué de crayons d'oxyde d'uranium (UO_2) faiblement irradiés provenant du réacteur de recherche PROTEUS. Les crayons combustibles sont constitués de pastilles frittées d'oxyde d'uranium conditionnées dans des « cigares » en aluminium contenus dans une gaine, également en aluminium.

La matière est conditionnée dans des crayons, placés dans un panier, eux-mêmes placés dans un conteneur. Ces conditionnements métalliques sont de forme cylindrique. Un exemple est donné ci-dessous :



Les contenus autorisés limitent les paramètres importants pour la sûreté et qui sont utilisés dans le dossier de sûreté, en particulier :

- la forme chimique,
- la composition isotopique,
- la masse maximale de métal lourd,
- la puissance thermique maximale dégagée,
- la masse maximale admissible.

2.4. Enceinte de confinement

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

- la virole interne,
- le fond,
- le système de fermeture avec le joint interne,
- le capuchon de protection du raccord avec le joint interne.

2.5. Bilan de masses

Le tableau ci-dessous présente les masses des principaux composants du colis FS47 en configuration de transport.

Composant	Masse maximale (kg)
Corps vide	1 250
Système de fermeture	30
Capot de protection	100
Masse de l'emballage à vide	1 380
Masse maximale du contenu	120
Masse maximale de l'emballage chargé	1 500

3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE

3.1. En conditions de transport de routine

Tenue à la pression

Les analyses permettant de justifier la résistance structurelle de l'enveloppe de confinement est réalisée selon les règles de l'ASME complétées des règles du CODAP.

Le capot de protection (virole externe, face supérieure et fond), le corps (virole externe, fond de l'enveloppe externe et embout supérieur) sont dimensionnés en tenant compte d'une pression atmosphérique de $0,60 \cdot 10^5$ Pa.

La virole interne, la partie supérieure, le fond, le couvercle et son système de fixation et le capuchon de protection du raccord et son système de fermeture sont dimensionnés en tenant compte des chargements suivants :

- Pression interne de calcul de 2 MPa.
- Pression interne d'épreuve de 3 MPa.
- Pression atmosphérique de $0,60 \cdot 10^5$ Pa.

Arrimage et manutention

La manutention du colis est réalisée par la couronne médiane intermédiaire fixée sur la virole externe. L'arrimage de l'emballage est réalisé en position verticale par la couronne médiane intermédiaire fixée sur la virole externe à l'aide de sangle et de barres de calage.

La tenue des couronnes est justifiée pour des chargements statiques et cycliques des accélérations vues en manutention, en arrimage et en transport.

3.2. En conditions normales de transport

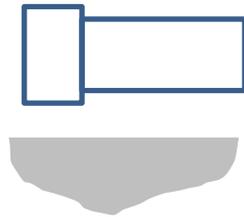
Les analyses de sûreté étudient l'épreuve réglementaire de chute libre d'une hauteur de 1,2 mètres, une épreuve de gerbage et une épreuve de pénétration. Une épreuve d'aspersion est également prévue par la réglementation <1>. Ces épreuves sont sans impact sur la sûreté du colis.

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

Principe de définition des maquettes de chute

Les épreuves de chutes ont été réalisées avec des maquettes du modèle de colis à l'échelle 1 ; c'est-à-dire que toutes les dimensions sont les dimensions réelles du colis.

Chute étudiée : 1,2 mètres sur génératrice



Les analyses complémentaires effectuées montrent que les effets de chutes de 1,2 m selon d'autres orientations que la chute sur génératrice, ne conduisent à aucun dommage sur l'enveloppe de confinement des colis

Endommagement

Les déformations sont inférieures à 10 % sur le capot de protection et sont localisées sur les couronnes soudées et l'arête du fond pour le corps de l'emballage.

Tenue au gerbage

Cette épreuve a été réalisée sur un spécimen avec une charge correspondant à 5 fois la masse du colis. Aucune déformation permanente n'a été constatée à l'issue de cette épreuve.

Tenue à la pénétration

L'analyse conclut que les efforts transmis à l'enveloppe de confinement sont négligeables et ne remettent pas en cause l'intégrité du confinement.

Tenue en pression

L'analyse de la tenue de l'enceinte de confinement en tant qu'enceinte sous pression en conditions normales de transport est réalisée selon les règles de l'ASME, et selon la norme NF pour les liaisons vissées.

L'enceinte de confinement en tant qu'enceinte sous pression est dimensionnée en tenant compte d'une pression interne relative de 1 MPa. Cela couvre les pressions suivantes en conditions normales de transport :

- Pression interne maximale absolue de 1,04 MPa.
- Pression atmosphérique de $0,60 \cdot 10^5$ Pa, soit 0,06 MPa.

4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE

4.1. En conditions de transport de routine

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

4.2. En conditions normales de transport

Le colis est considéré isolé puis lors d'un transport en nombre dans un moyen de transport fermé.

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les principales caractéristiques des différents contenus influant sur les études thermiques sont :

- la puissance thermique maximale.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

- les matériaux et la géométrie de l'emballage.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

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

Méthode de calcul

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

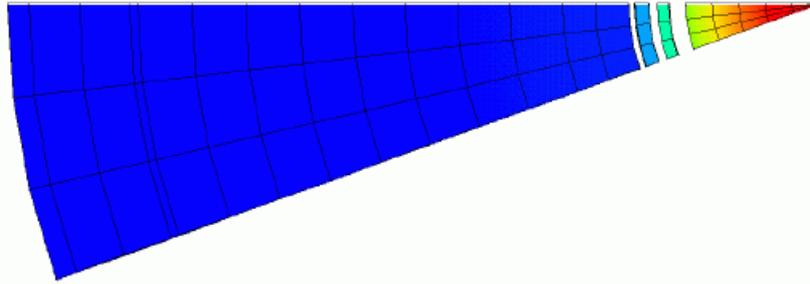
Les principales hypothèses et simplification du modèle sont :

- compte tenu de la symétrie de révolution de l'emballage, seul un secteur de 20° de l'emballage est représenté par le modèle 3D.
- la puissance des différents contenus est directement appliquée sur la paroi interne de l'emballage.

Compte tenu de la possibilité d'un transport fermé en réseau d'emballages, ce cas supplémentaire est étudié.

Résultats de l'étude

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



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

- Joint d'étanchéité : la température maximale des joints permet de justifier le non-endommagement des joints. Par ailleurs, la dilatation du joint dans sa gorge vérifie un taux de remplissage inférieur à 100%.
- Protection neutronique : la température maximale de l'absorbant neutronique reste inférieure à sa limite d'utilisation.
- Housse : pour les contenus équipés de housse, la température maximale de la housse reste inférieure à sa limite d'utilisation.

5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT

L'analyse de confinement du modèle de colis FS47 tient compte du colis contenant les différents contenus définis au paragraphe 2.3. L'enceinte de confinement est définie au paragraphe 2.4.

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

5.1. En conditions de transport de routine

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

5.2. En conditions normales de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- la teneur et composition isotopique des contenus,
- les températures maximales des contenus issues de l'analyse thermique.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- le taux de fuite maximal de l'enceinte de confinement vérifié avant expédition.
- les températures maximales des gaz et des joints issus de l'analyse thermique.
- la pression au sein de la cavité de l'emballage.
- le volume libre de la cavité.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- la pression externe minimale du colis est la pression ambiante réglementaire minimale de 0,6 bar.
- la durée de transport est de 1 an.

Méthode de calcul

La méthodologie est décrite dans la norme ISO 12807 et est basée sur une phase de relâchement d'activité : pendant un an, la pression atmosphérique de 0,6 bar entraîne une surpression dans le colis. Le flux de fuite se fait donc de l'intérieur vers l'extérieur, entraînant un relâchement d'activité à l'extérieur. Le relâchement d'activité reste inférieur au critère réglementaire de 10^{-6} A₂/h.

Résultats de l'étude

Le critère réglementaire est respecté.

6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION

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

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

6.1. En conditions de transport de routine

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- les dimensions des différents conditionnements,
- la masse des différents radioéléments présents,
- le vieillissement des sources radioactives.

Le blindage apporté par le conditionnement est constitué par :

- une couche en acier inoxydable en radial,
- une couche en acier inoxydable en axial côté capot,
- une couche en acier inoxydable en axial côté fond.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

Le blindage radial est principalement formé par :

- la virole interne en acier,
- la couche de compound de blindage neutronique, la couche de cuivre,
- la couche de protection thermique,
- la virole externe en acier.

Le blindage axial côté capot est principalement formé par :

- le couvercle en acier,
- le capot (acier inoxydable, absorbant neutronique, bois, acier inoxydable).

Le blindage axial côté fond est principalement formé par :

- la virole interne en acier inoxydable,
- la couche d'absorbant neutronique,
- la couche de protection thermique,
- la virole externe en acier.

Méthode de calcul

Les débits d'équivalent de dose sont évalués avec TRIPOLI 4.7. TRIPOLI est un code de calcul simulant le transport des neutrons et photons, électrons et positrons. TRIPOLI est un code tridimensionnel utilisant la méthode Monte-Carlo. Il prend en compte la description ponctuelle en énergie des sections efficaces. Pour les calculs de protection (propagation à longues distances avec atténuation de flux, en milieu non multiplicateur) la bibliothèque de section efficace CEA V5.0 basée sur JEFF-3.1.1 est utilisée.

Résultats de l'étude

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

6.2. En conditions normales de transport

La géométrie de l'emballage prend en compte les endommagements engendrés par les séquences de chutes des conditions normales de transport.

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

7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE

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

- le colis isolé en conditions de transport de routine (c'est-à-dire tel que présenté au transport),
- le colis isolé en conditions normales de transport (c'est-à-dire résultant des épreuves réglementaires des conditions normales de transport),
- le colis isolé en condition accidentelles de transport (c'est-à-dire résultant du cumul des épreuves des conditions normales et conditions accidentelles de transport),
- l'agencement de 5 N colis (N étant le nombre permettant de définir la valeur du coefficient réglementaire – Criticality Safety Index CSI) en conditions normales de transport,
- l'agencement de 2 N colis en conditions accidentelles de transport.

Le nombre N est considéré comme étant infini pour les analyses concernant l'emballage chargé.

Les critères de sous-criticité retenus sont les suivants :

$k_{\text{eff}} \leq 0,95$ pour le colis isolé ; toutes incertitudes comprises.

$k_{\text{eff}} \leq 0,98$ pour le colis en réseau ; toutes incertitudes comprises.

7.1. En conditions de transport de routine et conditions normales de transport

Les résultats en conditions de transport de routine et en conditions normales de transport sont couverts par les résultats en conditions accidentelles de transport.

7.2. En conditions accidentelles de transport

De manière pénalisante le calcul du k_{eff} est effectué pour un réseau de colis infini en tenant compte de l'état des colis suite aux épreuves de chute et d'incendie représentatives des conditions accidentelles de transport cumulées aux conditions normales de transport.

Afin de déterminer la configuration est la plus pénalisante, sont étudiés :

- l'influence de la densité d'un brouillard d'eau dans les espaces libres de la cavité,
- l'influence de la déshydratation du compound,
- l'influence de la présence de matériaux réflecteurs.

La recherche de la modération optimale de la matière fissile est effectuée pour chaque cas de calcul.

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées pour l'oxyde d'uranium sont les suivantes :

- l'enrichissement,
- la masse volumique,
- la forme la matière : homogène ou hétérogène.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Le système d'isolement est constitué pour l'emballage FS47 par : la virole externe, le fond, la partie supérieure de la cavité interne, la virole interne, le fond de la cavité interne et la protection radiale et axiale.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

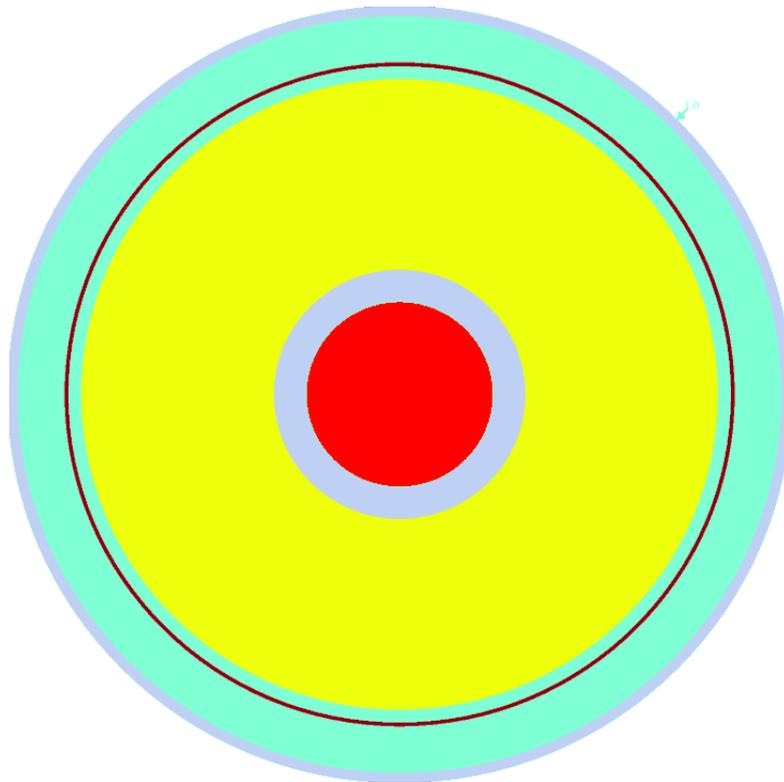
- la réduction de l'épaisseur de l'absorbant neutronique,
- la déshydratation de l'absorbant neutronique.

Les calculs tiennent compte des endommagements suivants :

- la disparition d'une partie de l'absorbant neutronique à l'épreuve de feu,
- la disparition de la protection thermique.

Méthode de calcul

Les calculs ont été effectués avec le schéma de calcul APOLLO2-MORET5 (voie standard du formulaire CRISTAL).



Exemple d'un modèle

La valeur de réactivité maximale ($k_{\text{eff}} + 3 \sigma$) reste inférieure aux critères du colis isolé et du réseau de colis quel que soit la masse d' UO_2 dans la limite autorisée par le contenu. Ainsi, la sous-criticité du colis isolé et du réseau de colis est assuré.

8. CONDITIONS D'UTILISATION

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

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

- les contenus chargés doivent respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé.
- la bonne fermeture (couple et ordre de serrage des vis) de tous les composants constituant l'enceinte de confinement.
- la mise en place des scellés.
- la vérification de la non-contamination de l'emballage en conformité avec les limites réglementaires.
- le contrôle des débits d'équivalent de dose autour du colis en conformité avec les limites réglementaires.
- la mise en place de l'étiquetage réglementaire.

9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE

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

Le programme d'entretien comprend notamment :

- le remplacement des joints de l'enceinte de confinement pour une durée compatible avec sa durée de vie,
- le contrôle de l'état des composants des systèmes de fermeture (couvercle, capuchon de protection du raccord, capot) afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté,
- le contrôle des éléments assurant la manutention et l'arrimage du colis et du capot,
- le contrôle de l'étanchéité du capot.

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

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

10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE

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

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

des colis de matières radioactives.

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

11. REFERENCES

<1> « Règlement de transport des matières radioactives » de l'AIEA – Prescription, SSR-6, Edition de 2012.

Les règles de conception et d'épreuves de l'édition 2012 du Règlement de l'AIEA englobent celles des règlements applicables suivants :

- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) ;
- Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID) ;
- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigations intérieures (ADN) ;
- Code maritime international des marchandises dangereuses de l'Organisation Maritime Internationale (code IMDG de l'OMI) ;
- Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (arrêté TMD) ;
- Règlement de sécurité des navires (RSN), annexé à l'arrêté du 23 novembre 1987 modifié relatif à la sécurité des navires, division 411.