


Orano NPS DOSSIER DE SURETE TN 843	Diffusion limitée Orano - Autorités ANNEXE 00-1		 orano	
	Préparateur / signature	Date		
	Vérificateur / signature	Date		
Identification :		DOS-18-007166-006	Version : 2.0	Page 1 / 15

DESCRIPTION ET PERFORMANCES DU MODELE DE COLIS TN 843

Sommaire

1. OBJET	3
2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS	3
2.1. Description du colis TN 843	3
2.2. Description de l'emballage TN 843	3
2.3. Description du contenu	4
2.4. Barrière d'étanchéité	5
2.5. Enceinte de confinement	5
2.6. Système d'isolement	5
2.7. Bilan de masses	5
3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE	5
3.1. Conditions de transport de routine	5
3.2. Conditions normales de transport	6
3.3. Conditions accidentelles de transport	6
4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE	8
4.1. Configurations étudiées	8
4.2. En conditions de routine de transport	8
4.3. En conditions normales de transport	8
4.4. En conditions accidentelles de transport	9
5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT	10
5.1. Conditions de transport de routine	10
5.2. Conditions normales de transport	10
5.3. Conditions accidentelles de transport	10
5.4. Analyse du relâchement de H ₂ lors du transport de contenus CSD-C	10
6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION	11
6.1. En conditions de routine de transport	11
6.2. En conditions normales de transport	12
6.3. En conditions accidentelles de transport	12
7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE	12
7.1. Colis isolé	13
7.2. Réseau de colis	13
8. CONDITIONS D'UTILISATION	13
9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE	14
10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE	14
11. REFERENCES	15

ÉTAT DES REVISIONS

Révision	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
Ancienne référence : DOS-09-00137300-002			
0	11/09	Création du document	[REDACTED]
1	01/11	Mise à jour du document	[REDACTED]
2	04/12	Mise à jour du document	[REDACTED]
3	12/13	Mise à jour du document	[REDACTED]
4	07/17	Mise à jour du document	[REDACTED]
Nouvelle référence : DOS-18-007166-006			
Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
1.0	06/18	Refonte du document	[REDACTED]
2.0	09/22	Modifications dues au contenu homogène sous air : définition de la puissance thermique des CSD-C centraux, de la puissance totale et gaz de remplissage Suppression année édition SSR-6 et renvoi au chapitre 00	[REDACTED]

1. OBJET

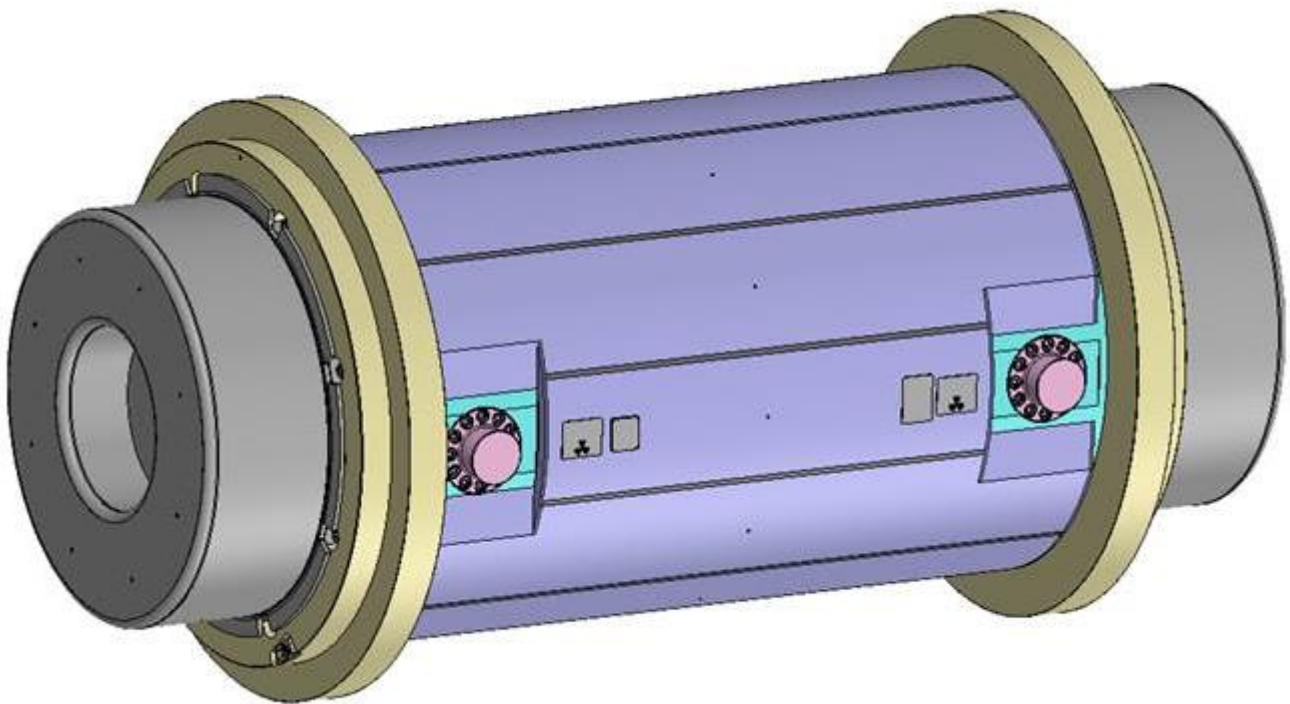
L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du modèle de colis TN 843, destiné au transport par voie routière, ferroviaire ou maritime, chargé de Canisters Standards de Déchets Compactés CSD-C, en tant que colis de type B(U) contenant des matières fissiles au regard de la réglementation <1>.

2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS

2.1. Description du colis TN 843

L'emballage TN 843 est de forme générale cylindrique. Il est conçu pour transporter des Canisters Standards de Déchets Compactés (CSD-C).

L'emballage TN 843 dispose d'un panier qui assure pendant le transport, le bon positionnement des canisters dans la cavité de l'emballage. Le colis TN 843 est illustré sur la figure ci-dessous :



Les dimensions extérieures hors-tout de l'emballage TN 843 sont :

- longueur = 6 152 mm maximum,
- diamètre externe = 2 990 mm (au niveau des couronnes).

Le colis TN 843 est transportable par voie terrestre (routier ou ferroviaire) et maritime.

2.2. Description de l'emballage TN 843

Les principaux composants de l'emballage sont :

Corps :

Le corps de forme cylindrique est composé d'une virole épaisse et d'un fond, en acier au carbone forgé, réunis par une soudure en pleine épaisseur. En section courante, des goussets en acier au carbone sont vissés sur la surface externe de la virole forgée. Les logements ainsi créés sont remplis de résine neutrophage, elle-même protégée par une enveloppe externe en acier formée de tôles soudées entre elles. La surface externe de l'enveloppe externe est peinte. Le corps définit une cavité cylindrique.

Système de fermeture :

Le système de fermeture de la cavité de l'emballage est assuré par un couvercle en acier forgé, fixé à la virole forgée par des vis. Le couvercle est équipé de joints élastomères.

L'orifice du système de fermeture est obturé par une tôle d'orifice, fixée au couvercle par des vis, et équipée de joints élastomères.

Tourillons :

Deux paires de tourillons (une en partie haute de l'emballage et une en partie basse) sont vissés aux extrémités de la virole et permettent l'arrimage et la manutention de l'emballage.

Capots amortisseurs :

Deux capots amortisseurs (en tête et en fond) assurant la protection du système de fermeture et du fond de l'emballage contre les chocs en conditions normales et accidentelles de transport. Les capots de tête et de fond sont similaires et constitués chacun de caissons cylindriques en tôles d'acier remplis de bois et d'une couronne en aluminium. Le capot de tête est également équipé d'une plaque anti-poinçonnement qui protège le système de fermeture lors des épreuves des conditions accidentelles de transport.

2.3. Description du contenu

Le contenu est constitué par l'aménagement interne prenant place dans la cavité et les canisters standards de déchets compactés CSD-C.

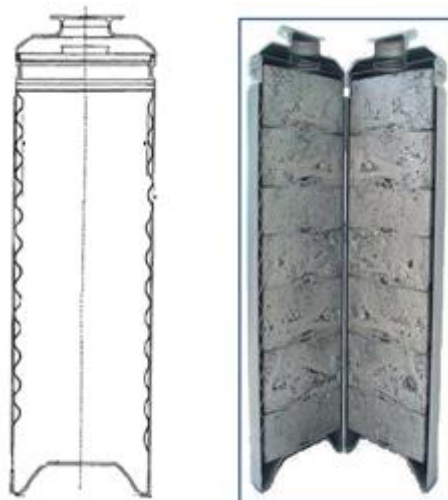
2.3.1. L'aménagement interne

L'aménagement interne est composé d'un panier destiné au rangement des canisters.

Le panier de l'emballage comporte des logements hexagonaux destinés à recevoir chacun des canisters empilés les uns sur les autres. Ces logements sont formés par des plaques en aluminium maintenues dans un berceau d'acier. Des cornières en aluminium vissées assurent la fixation des plaques entre elles et le maintien du berceau.

2.3.2. Les canisters

Les Canisters Standards de Déchets Compactés (CSD-C) ont une forme générale de bouteille cylindrique (voir figure ci-après).



Canisters Standards de Déchets Compactés

Les Canisters Standards de Déchets Compactés CSD-C :

Les CSD-C sont issus du traitement de combustibles irradiés. Ils sont en acier inoxydable, remplis d'éléments de structure et de déchets technologiques compactés sous forme de galettes.

2.4. Barrière d'étanchéité

L'emballage TN 843 est constitué d'un corps épais dont l'ouverture est fermée par une barrière d'étanchéité décrite ci-après.

Corps épais

Le corps épais est constitué par la virole épaisse en acier forgé, du fond en acier forgé, et de la soudure pleine pénétration liant ses composants entre eux.

Barrière d'étanchéité

La barrière d'étanchéité est constituée par :

- Le couvercle et son joint interne en élastomère,
- La tpe d'orifice et son joint interne en élastomère.

2.5. Enceinte de confinement

L'enceinte de confinement est constituée par le corps épais et sa barrière d'étanchéité décrite au §2.4.

2.6. Système d'isolement

Le système d'isolement est constitué par :

- les canisters de résidus compactés,
- l'aménagement interne,
- le corps épais en acier forgé et la barrière d'étanchéité décrite au §2.4.

2.7. Bilan de masses

La masse maximale autorisée du colis TN 843 en transport est de 118 000 kg.

La masse maximale autorisée en transport est celle utilisée de façon générique dans les études de sûreté.

3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE

3.1. Conditions de transport de routine

Tenue mécanique de l'enveloppe de confinement

La tenue mécanique des principaux composants de l'enveloppe de confinement à savoir la virole, le fond soudé, le couvercle et sa tpe d'orifice est vérifiée dans les conditions de transport de routine en tenant compte :

- des effets de différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur de l'emballage (pression relative de 7 bars),
- des gradients thermiques,
- accélérations représentatives des conditions de transport de routine,
- des phénomènes des cycles de sollicitations (cycles de pression, vibrations, chocs).

Tenue mécanique des structures annexes

La tenue mécanique des structures annexes de l'emballage TN 843 (enveloppe externe, champignon de manutention du couvercle, capots) est vérifiée.

Ces éléments sont justifiés pour une pression de 0,1 bar relatif (pression de déclenchement de la soupape de sécurité du capot et de celle de l'enveloppe externe) et une accélération représentative des conditions de transport de routine.

Tenue mécanique des points de manutention et d'arrimage de l'emballage

L'arrimage et la manutention du colis sont réalisés par les 2 paires de tourillons (2 en tête et 2 en fond) vissés sur le corps forgé.

La tenue des tourillons est justifiée pour des chargements statiques représentatifs des accélérations vues en transport.

La tenue en fatigue suite au cumul des cycles de sollicitation en transport et en manutention est également démontrée.

Les études permettent de justifier la tenue mécanique des tourillons pour une utilisation de 500 transports, et de 2 000 opérations de manutention.

3.2. Conditions normales de transport

La résistance de l'emballage aux épreuves réglementaires relatives aux conditions normales de transport est analysée, à savoir :

- l'épreuve de gerbage,
- l'épreuve d'aspersion et de pénétration,
- l'épreuve de chute libre de 30 cm.

Epreuve de gerbage

La forme convexe de l'emballage empêche tout gerbage. Cette épreuve n'est donc pas considérée.

Epreuve d'aspersion et de pénétration

Ces épreuves ne peuvent pas avoir d'effet sur la sûreté du colis compte tenu de la forme du colis, de la nature et des épaisseurs des matériaux du colis.

Epreuve de chute libre de 30 cm

Les épreuves de chute requises en conditions normales de transport sont couvertes par les épreuves de chute requises en conditions accidentelles de transport. La campagne de chutes effectuée sur maquette a démontré que l'emballage peut supporter ces épreuves de chute sans aucune modification des hypothèses prises dans les analyses de sûreté en CNT.

3.3. Conditions accidentelles de transport

L'ensemble des analyses de chute est réalisé en considérant une énergie de chute correspondant à la masse maximale admissible de colis de 118 tonnes.

Conformément à la réglementation pour les colis contenant des matières fissiles, le colis doit subir le cumul des épreuves de chutes des conditions normales et accidentelles de transport. Ce cumul est pris en compte en rehaussant de 30 cm la hauteur de chute libre de 9 m de l'épreuve accidentelle (soit 9,3 m au lieu de 9 m).

Ensemble des chutes étudiées

Toutes les configurations possibles de chute libre de 9 mètres et de 1 mètre sur poinçon sont étudiées ; soit au total 5 chutes libres et 4 chutes sur poinçon. Les séquences de chutes retenues et testées physiquement sont celles maximisant :

- les dommages possibles au système de fermeture de l'emballage ou,
- les dommages possibles aux capots et à leurs systèmes de fixation.

Principe de définition de la maquette de chute

Les épreuves de chutes ont été réalisées avec une maquette à l'échelle 1/3.

Les règles de similitudes sont appliquées afin de garantir que les contraintes mécaniques dans les composants de la maquette sont à minima les mêmes que celles dans les composants du modèle d'emballage. Le comportement mécanique en chute sera le même sur la maquette et sur le colis.

La maquette échelle 1/3 de l'emballage TN 843 est représentative du modèle de colis TN 843 à l'échelle 1.

Fin de campagne de chutes

A l'issue des séquences de chutes, l'étanchéité du joint interne du couvercle a été testée concluant au maintien de l'étanchéité de l'enceinte de confinement.

Modélisation numérique

Les séquences de chutes ont été complétées par des analyses numériques de chutes réalisées à l'aide du logiciel de calcul dynamique LS-DYNA3D en considérant les caractéristiques des matériaux à -40°C et aux températures maximales (ou enveloppes) des conditions normales de transport.

Les modèles numériques construits sont représentatifs du comportement de l'emballage durant les essais de chute sur maquette.

La prise en compte de l'impact décalé du contenu sur le couvercle est réalisée par des calculs numériques en chute axiale ainsi qu'en chutes obliques sur capot de tête.

La virole et le fond sont constitués entièrement d'acier dont le risque de rupture brutale à -40°C est écarté par la garantie de sa non-fragilité à cette température. Seule la soudure virole/fond fait l'objet d'une analyse mécanique écartant le risque de rupture brutale à -40°C.

Conclusions

Les épreuves réglementaires de chute relatives aux conditions normales de transport et aux conditions accidentelles ne causent aucune déformation susceptible de remettre en cause l'étanchéité de l'enveloppe de confinement de la maquette. Les capots amortisseurs de chocs restent solidaires du corps de l'emballage. Les analyses de chutes réalisées par calculs numériques montrent également que l'étanchéité de l'emballage est garantie.

4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE

4.1. Configurations étudiées

Deux configurations du colis TN 843 sont considérées, en conditions normales et en conditions accidentelles de transport :

- Configuration 1 : cette configuration permet de maximiser les températures des différents composants de l'emballage, en particulier celles des joints de l'enveloppe de confinement.
- Configuration 2: cette configuration permet de maximiser la température des déchets compactés.

Ces deux configurations sont étudiées pour chacun des deux contenus suivants :

- contenu hétérogène : 1 590 W au total, 90 W pour les 3 canisters des logements centraux du niveau intermédiaire et 40 W pour les 33 autres canisters,
- contenu homogène : 1 440 W au total, 40 W pour chacun des canisters.

4.2. En conditions de routine de transport

Les températures atteintes par le colis en conditions de routine sont couvertes par celles atteintes en conditions normales de transport.

4.3. En conditions normales de transport

Paramètres de contenu importants pour l'étude

La principale caractéristique utilisée dans cette étude est le plan de chargement thermique (puissance thermique maximale par canister selon le positionnement dans la cavité), il diffère selon le contenu considéré (voir §4.1).

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

- la géométrie de l'emballage,
- les propriétés matériaux des composants de l'emballage,
- le gaz de remplissage dans la cavité (mélange d'air et d'hélium pour le contenu hétérogène et air pour le contenu homogène).

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- le colis est transporté en position horizontale,
- la température extérieure est la température réglementaire de 38°C <1>,
- l'ensoleillement réglementaire est appliqué de manière pénalisante 24h/24h.

Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée à l'aide du logiciel I-DEAS utilisant un modèle numérique représentant un colis (emballage et panier).

L'analyse thermique, c'est-à-dire la mise en données des conditions aux limites, des échanges thermiques et la résolution du calcul thermique est réalisée à l'aide du module TMG interfacé avec I-DEAS.

Les principales hypothèses et simplifications de modèle sont :

- un demi-modèle est réalisé compte tenu de la symétrie du modèle de colis,
- selon la configuration étudiée, le contenu et/ou le panier sont centrés radialement et axialement dans leurs logements et dans la cavité respectivement.

- Pour la configuration 1, les caissons de bois des capots de tête et de fond sont modélisés intacts. Pour la configuration 2, les capots ne sont pas modélisés, les zones couvertes par les capots sont considérées comme adiabatiques.

Résultats de l'étude en CNT

Les températures maximales du colis sont utilisées dans les différentes parties du dossier de sûreté, notamment pour déterminer les caractéristiques mécaniques des composants pour l'analyse mécanique et pour déterminer la température des gaz de cavité pour l'analyse de confinement.

La température des composants sensibles à la température sont compatibles avec leur critère d'intégrité ; en particulier pour les joints d'étanchéité.

Les températures maximales atteintes par les CSD-Cs ne remettent pas en cause les valeurs considérées comme données d'entrée pour l'analyse de radiolyse de l'emballage.

4.4. En conditions accidentelles de transport

Paramètres de contenu importants pour l'étude

La caractéristique utilisée dans cette étude est le plan de chargement thermique (puissance thermique maximale par canister selon leur positionnement dans la cavité), il diffère selon le contenu considéré (voir §4.1).

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les calculs tiennent compte des endommagements des capots consécutifs aux chutes en conditions accidentelles de transport.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- application d'une température ambiante de 800°C pendant 30 minutes autour du colis conformément à la réglementation <1> ,
- application d'une convection forcée pendant la phase de feu.

Méthode d'analyse

L'analyse est réalisée à l'aide du logiciel I-DEAS utilisant un modèle numérique représentant un colis (emballage et panier).

L'analyse thermique, c'est-à-dire la mise en données des conditions aux limites, des échanges thermiques et la résolution du calcul thermique est réalisée à l'aide du module TMG interfacé avec I-DEAS.

Les principales hypothèses et simplifications de modèle sont :

- un demi-modèle est réalisé compte tenu de la symétrie du modèle de colis,
- les capots sont modélisés en tenant des dommages consécutifs aux chutes en conditions accidentelles de transport,
- les conditions initiales avant feu sont celles des conditions normales de transport.

Résultats de l'étude en CAT

La température des composants sensibles à la température sont compatibles avec leur critère d'intégrité ; en particulier pour les joints d'étanchéité.

Les températures maximales atteintes par les CSD-C ne remettent pas en cause les valeurs considérées comme données d'entrée pour l'analyse de radiolyse de l'emballage.

5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT

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 de :

- la perméation des gaz tritium et krypton à travers les joints élastomères,
- les fuites de gaz radioactif,
- les fuites des particules aérosols radioactives.

L'activité relâchée est calculée en termes de A_2 , en se basant sur les taux de fuite mesurés avant transport.

5.1. Conditions de transport de routine

En conditions de transport de routine, la pression d'utilisation normale maximale (MNOP) est inférieure à la pression de dimensionnement de l'enceinte de confinement de 7 bars.

5.2. Conditions normales de transport

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 mesurés avant transport,
- la pression interne maximale dans la cavité (incluant la pression de vapeur saturante due à la présence d'eau dans les canisters),
- les températures maximales des gaz dans la cavité et des joints de l'enceinte de confinement issues de l'analyse thermique en CNT.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- les canisters sont supposés inétanches,
- la pression externe minimale est prise égale à 0,6 bar abs <1>.

Résultats de l'étude en CNT

Le critère réglementaire de $10^{-6} A_2$ par heure est respecté.

Il est vérifié que la pression maximale atteinte à l'intérieur de l'enceinte de confinement en CNT est inférieure à la valeur conservative de 7 bars considérée dans les analyses de tenue mécanique de l'enceinte de confinement.

5.3. Conditions accidentelles de transport

La principale différence avec le calcul en conditions normales de transport est la suivante :

- les températures maximales des gaz dans la cavité et des joints de l'enceinte de confinement, qui sont celles issues de l'analyse thermique en CAT.

Il est vérifié que la pression maximale atteinte à l'intérieur de l'enceinte de confinement en CNT est inférieure à la valeur conservative de 7 bars considérée dans les analyses de tenue mécanique de l'enceinte de confinement.

5.4. Analyse du relâchement de H_2 lors du transport de contenus CSD-C

Pour le scénario d'entreposage et de transport défini, il est démontré que les taux de dihydrogène dans le ciel gazeux d'un canister (canisters étanches) et dans la cavité de l'emballage (canisters ruptés) restent inférieurs à la limite d'inflammabilité.

Les résultats obtenus montrent que tout risque d'inflammabilité lié au phénomène de radiolyse est exclu.

6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION

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

- Conditions de transport de routine (CTR) : 2 mSv/h au contact du colis ; 0,1 mSv/h à 2 m du colis.
- Conditions normales de transport (CNT): moins de 20% d'augmentation de l'intensité de rayonnement maximale au contact du colis.
- Conditions accidentelles de transport (CAT) : 10 mSv/h à 1 m de la surface externe du colis.

6.1. En conditions de routine de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude :

Dans cette étude (comme pour toutes les conditions de transport), il est considéré que :

- Pour les calculs de débit d'équivalent de dose autour du colis, la source neutron correspond à 100% de ^{244}Cm ,
- Pour les calculs de débit d'équivalent de dose autour du colis, la source gamma par canister est assimilée à 100% de ^{60}Co .

Seul le contenu hétérogène (voir §4.1) est étudié dans la mesure où ses sources sont supérieures à celles du contenu homogène.

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 en partie courante est principalement formé par :

- la virole épaisse en acier,
- une couche de résine, traversée par des goussets en acier, assurant le blindage neutronique principal de l'emballage,
- une enveloppe externe en acier au carbone.

Le blindage radial, au niveau des tourillons, est principalement formé par :

- la virole forgée en acier,
- l'acier inoxydable martensitique des tourillons.

Le blindage axial en tête est principalement constitué par :

- un couvercle massif en acier au carbone
- le capot amortisseur de tête (parties en acier et en bois)

Le blindage axial en fond est principalement constitué par :

- le fond forgé de la virole,
- le capot amortisseur de fond (parties en acier et en bois)

Hypothèses importantes pour l'étude

Dans cette étude, l'effet du vieillissement de la résine a été pris en compte sur une durée d'emballage chargé de 30 ans.

Une partie des goussets en acier est assimilée à de la résine. De manière pénalisante, le panier et ses plats de blindages ne sont pas modélisés.

Méthode de calcul

Les calculs de débits d'équivalent de dose ont été menés à l'aide du code de calcul TRIPOLI 4.4. Le calcul des sources neutrons est réalisé avec le code ORIGEN 2.1. Les débits d'équivalent de dose neutron sont évalués en tenant compte des directives de la CIPR 60.

Résultats de l'étude

Les débits de dose obtenus au contact et à 2 mètres de l'emballage en conditions de transport de routine sont inférieurs aux critères réglementaires.

6.2. En conditions normales de transport

En conditions de transport de routine, les débits d'équivalents de dose au contact du colis sont faibles au regard du critère réglementaire. Suite aux épreuves réglementaires en conditions normales de transport, les débits d'équivalents de dose au contact des zones endommagées des capots amortisseurs (compartiments en bois, couronnes en aluminium) et au niveau des méplats des tourillons, ne remettent pas en cause les résultats obtenus en conditions de transport de routine. Il n'y a pas d'augmentation notable des débits d'équivalent de dose à la surface du colis en conditions normales de transport.

Il est démontré que les débits d'équivalent de dose en conditions normales de transport n'augmentent pas de plus de 20% par rapport aux débits d'équivalent de dose maximaux en conditions de transport de routine.

6.3. En conditions accidentelles de transport

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude :

Les endommagements de l'emballage considérés en conditions accidentelles de transport sont les suivants :

- la résine en partie radiale n'est pas modélisée,
- les capots amortisseurs ne sont pas pris en compte.

Le reste du modèle est identique à celui utilisé en conditions de transport de routine.

Résultats de l'étude :

Les débits d'équivalent de dose obtenus à 1 mètre de l'emballage en conditions accidentelles de transport respectent le critère réglementaire.

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

La sûreté-criticité doit être assurée, suivant la réglementation <1> pour :

- le colis isolé en conditions 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 conditions accidentelles de transport (c'est-à-dire résultant du cumul des épreuves des conditions normales et conditions accidentelles de transport),
- l'agencement de 5N 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 2N colis en conditions accidentelles de transport.

Le calcul du coefficient de multiplication effectif (k_{eff}) est effectué pour un colis isolé dans les conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport, couvrant le cas des conditions de routine et des conditions normales de transport.

Les critères de sûreté-criticité retenus sont les suivants :

- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$ pour un colis isolé ; toutes incertitudes comprises,
- $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,980$ pour un le réseau de colis ; toutes incertitudes comprises.

7.1. Colis isolé

Paramètres du contenu importants pour l'étude :

Les analyses sont réalisées en considérant de manière pénalisante 100% de ^{239}Pu ou 100% d' ^{235}U sous forme d'oxyde de plutonium (PuO_2) ou d'uranium (UO_2) dans le milieu fissile du contenu.

Les masses d' ^{235}U ou de ^{239}Pu considérées correspondent à des masses interprétées comme étant des masses d' ^{235}U seules ou de ^{239}Pu seules.

De manière pénalisante, les produits de fissions ou de tout autre actinide ne sont pas considérés.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude :

Le colis est entouré d'une couronne d'eau de 200 mm.

Hypothèses importantes pour l'étude :

- l'influence de la densité d'eau dans la cavité est étudiée,
- certains matériaux de structure de l'emballage ne sont pas pris en compte, l'emballage est ainsi modélisé de manière simplifiée,
- l'influence de la présence ou non de certains composants du panier est étudiée.
- L'influence de la position de la matière fissile est étudiée.

Méthode de calcul

L'étude est réalisée avec le schéma de calcul APOLLO2-MORET4 (voie standard du formulaire de criticité CRISTAL V1.2) associé à la bibliothèque CEA93 V6.

La bibliothèque CEA93 V6 est une bibliothèque de sections efficaces et effectives à 99 ou 172 groupes d'énergie des neutrons qui a été élaborée à partir de l'évaluation européenne de données nucléaires JEF2.2.

Résultats de l'étude

La réactivité maximale du colis est inférieure à 0,950.

Ainsi, la sous-criticité du colis isolé en transport est assurée dans les conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport.

7.2. Réseau de colis

L'emballage TN 843 est constitué d'une virole épaisse en acier (épaisseur supérieure à 200 mm) qui isole neutroniquement son contenu. Ainsi, le respect du critère $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$ pour le colis isolé (toutes incertitudes comprises) permet d'assurer le respect du critère réglementaire pour un réseau infini de colis.

Ainsi, l'indice de sûreté-criticité vaut $\text{CSI}=0$.

8. CONDITIONS D'UTILISATION

L'emballage est conçu pour être :

- chargé et déchargé verticalement à sec,
- transporté horizontalement et 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 canisters chargés doivent respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé,
- contrôle de la bonne fermeture (couple de serrage des vis) et du niveau d'étanchéité (taux de fuite) de tous les composants assurant l'étanchéité,
- remplissage en hélium pour le contenu hétérogène et air pour le contenu homogène de la cavité à une pression maximale définie,
- contrôle des débits d'équivalent de dose maximaux autour du colis en conformité avec les limites réglementaires,
- mise en place de scellés sur le capot de tête,
- vérification de la non-contamination de l'emballage et du véhicule conformément aux critères 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 périodicités suivant les composants importants pour la sûreté : le nombre de cycles de transport réalisés et la durée d'utilisation.

Le programme d'entretien comprend notamment :

- le remplacement des joints de la barrière d'étanchéité pour une durée compatible avec leurs durées de vie,
- le contrôle des tourillons assurant la manutention et l'arrimage du colis, incluant la détection de défaut, ainsi que le démontage des tourillons et des essais de charge après remontage,
- le contrôle de l'état des composants des systèmes vissés (enceinte de confinement, capots, tourillons) afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté.

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 document 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, normes de sûreté de l'Agence International de l'Energie Atomique, Edition applicable : voir chapitre 00

Les règles de conception et d'épreuves 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 (code IMDG et l'OMI),
- Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (arrêté TMD),
- Arrêté du 23 novembre 1987 modifié relatif à la sécurité des navires, division 411 du règlement annexé (arrêté RSN).