


<p>Orano TN</p> <p>DOSSIER DE SURETE</p> <p>TN GEMINI™</p>	<p>Diffusion libre Orano</p> <p>ANNEXE 00-5</p>	 <p>orano</p> <p>TN international</p>												
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Préparation</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Date</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Signature</td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Vérification</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Date</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center; font-size: small;">Signature</td> </tr> <tr> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> <td style="background-color: black; height: 20px;"></td> </tr> </table>	Préparation	Date	Signature				Vérification	Date	Signature				
Préparation	Date	Signature												
Vérification	Date	Signature												
<p>Identification :</p>	<p>DOS-18-005400-001</p>	<p>Vers. 2.0</p>	<p>Page 1 / 21</p>											

CARACTERISTIQUES DES PERFORMANCES DU COLIS

Sommaire

ETAT DES REVISIONS	2
1. INTRODUCTION	3
2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS	3
3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE	7
4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE	14
5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT	16
6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION	17
7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE	18
8. CONDITIONS D'UTILISATION	20
9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE	20
10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE	20
11. REFERENCES	21

ETAT DES REVISIONS

Rév.	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
01		Création du document	
2.0	Voir 1 ^{ère} page	<ul style="list-style-type: none">– Mise à jour de la description de l'emballage– Ajout de contenus	

1. INTRODUCTION

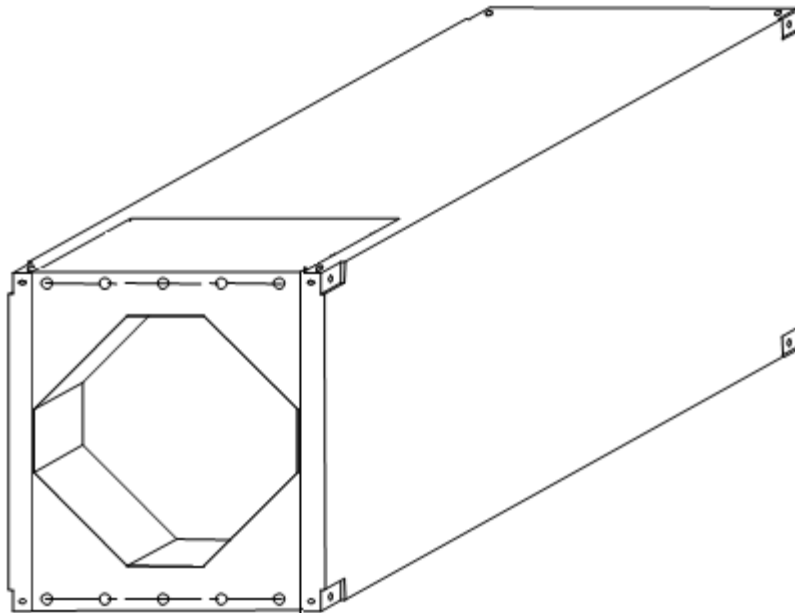
L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques de performances du colis TN GEMINI™, destiné au transport par voie routière, ferroviaire ou maritime de déchets divers faiblement irradiants, principalement émetteurs alpha, en tant que colis de type B(M) contenant des matières fissiles au regard de la réglementation <1>.

Les déchets sont conditionnés dans des emballages métalliques placés dans des aménagements internes disposés dans la cavité de l'emballage.

2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS

2.1. Description du colis

L'emballage, de forme générale parallélépipédique, est illustré sur la figure ci-dessous.



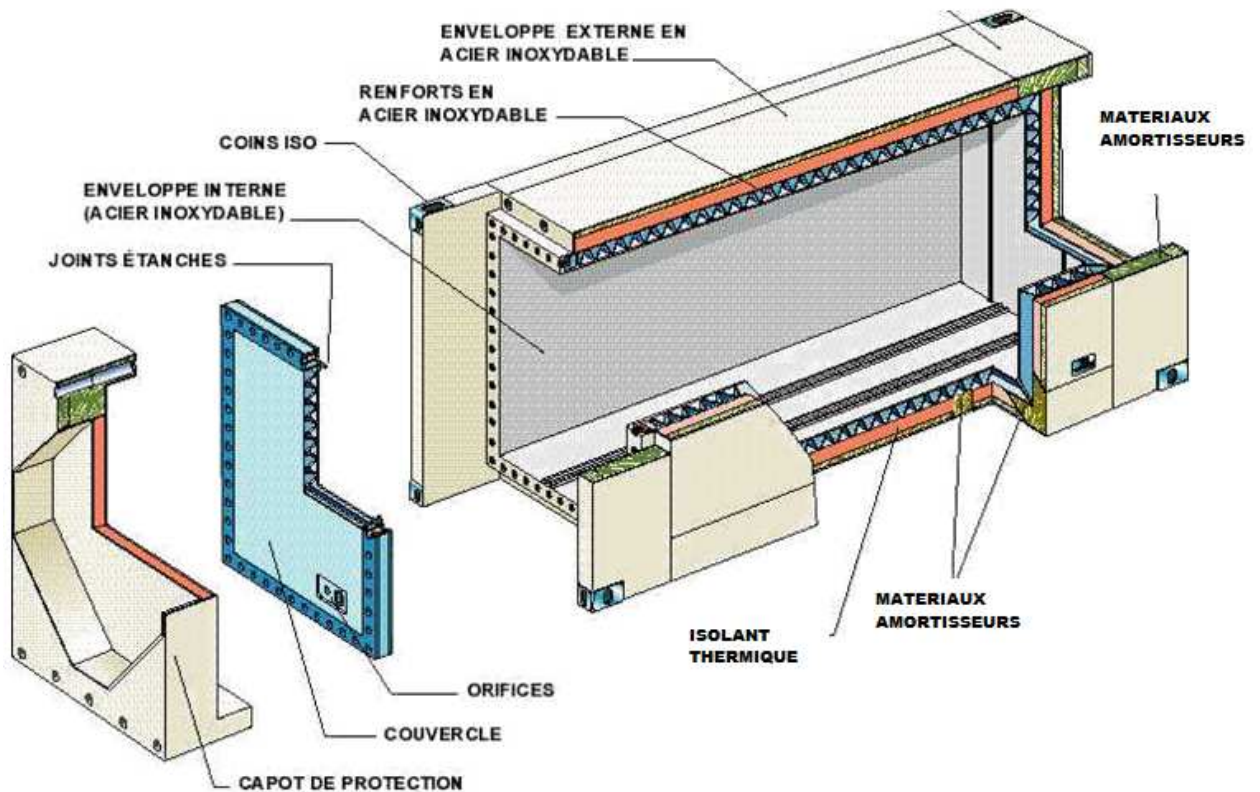
Les dimensions générales hors-tout sont les suivantes :

- Longueur : 6064 mm
- Largeur : 2500 mm
- Hauteur : 2650 mm

Il existe trois variantes de concept d'emballage TN GEMINI™ (VA, VB, VC), qui se différencient par les caractéristiques mécaniques des matériaux amortisseurs et la masse de contenu autorisée au transport.

Le colis TN GEMINI™ est transportable par voie terrestre (routier ou ferroviaire), ou maritime ou fluviale.

2.2. DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE



Cet emballage est caractérisé par :

- une cavité parallélépipédique dans laquelle viennent se loger les aménagements internes destinés à recevoir les déchets et formée par un assemblage de tôles soudées en acier inoxydable : chaque paroi étant constitué d'une tôle interne et d'une tôle externe qui est maintenue à distance par des renforts de structures ;
- un corps entièrement réalisé en acier inoxydable ; ce corps est entouré de matériaux amortisseurs et isolants thermiques confinés dans des caissons en acier inoxydable soudés sur le corps ;
- un couvercle fixé sur le corps au moyen de vis ; le système de fermeture comporte 3 orifices :
 - un orifice de test de l'espace inter-joint équipé d'un joint et obturé par un bouchon ;
 - un orifice de remplissage en hélium pour test de la cavité équipé d'un joint et obturé par 2 bouchons ;
 - un orifice de mise à la pression atmosphérique et de prise d'échantillon gazeux obturé par un bouchon muni d'un joint, et d'une tige munie de deux joints ;
- un capot amortisseur vissé sur le corps, réalisé suivant le même principe que l'habillage du corps ; ce capot vient s'emboîter entre les deux avancées latérales du corps de l'emballage ;
- des points d'ancrage, aux dimensions normalisées, dits "coins ISO", pour la manutention et l'arrimage, positionnés selon les dimensions d'un conteneur ISO standard à chaque sommet de l'emballage.

2.3. Description du contenu

Le contenu est constitué par les aménagements internes et les déchets conditionnés dans des emballages métalliques.

2.3.1. Aménagements internes

Il existe plusieurs types d'aménagement interne adaptés aux déchets et au type d'emballages dans lesquels ils sont conditionnés :

– **Aménagement interne (palettes) pour fûts de 100 ou 118 litres :**

Cinq palettes de 12 fûts de 100 ou 118 litres chacune, sont chargées dans l'emballage. Les fûts sont disposés sur deux niveaux, 4 rangées de 3 fûts par palette.

Le chargement de fûts doit être complet. Si le nombre de fûts à transporter est inférieur à 60, le chargement doit être complété par des fûts vides.

Chaque palette comprend une plaque inférieure, une plaque intermédiaire, une plaque supérieure.

L'ensemble des trois plaques et des fûts est assemblé au moyen de deux sangles.

– **Aménagement interne (clayettes) pour fûts de 118 litres :**

Le chargement de l'emballage comporte nécessairement 20 clayettes en aluminium disposées sur deux niveaux. Chaque clayette est prévue pour recevoir au maximum 3 fûts de 118 litres.

Les clayettes du niveau inférieur reposent sur un plancher à rouleaux amovible qui permet un chargement / déchargement automatique. Elles se composent de deux parties : une palette et un couvercle.

– **Les clayettes renforcées pour fûts de 400 litres à 460 litres :**

En complément de 12 ou 16 clayettes pour fût de 118 litres, chaque clayette renforcée prévue pour recevoir un fût de 400 à 460 litres est juxtaposée à un spacer de calage et disposée côté fond et/ou côté couvercle de l'emballage TN GEMINI™ recevant au maximum :

- soit 36 fûts de 118 litres et 2 fûts de 400 à 460 litres,
- soit 48 fûts de 118 litres et 1 fût de 400 à 460 litres.

Les clayettes pour fûts de 118 litres du niveau inférieur et les clayettes renforcées pour fûts de 400 à 460 litres reposent sur un plancher à rouleaux amovible qui permet un chargement-déchargement automatique.

– **Les clayettes pour fûts de 870 litres :**

Les clayettes pour fûts de 870 litres se composent d'un socle et d'un couvercle équipé de calages.

Un système de calage (de type cône centreur) en tôle mince est utilisé pour caler le fût dans la clayette.

La clayette peut recevoir un renfort constitué d'une virole en acier inoxydable fermée aux extrémités par des disques du même acier.

Deux clayettes sont disposées dans l'emballage TN GEMINI™ (soit au maximum 2 fûts de 870 litres).

– **L'aménagement interne TN®910 :**

L'aménagement interne TN®910 est composé de clayettes et de spacers.

Chaque clayette TN®910 présente deux cavités pouvant contenir chacune un fût et se compose d'une palette et d'un couvercle équipé de calages.

Des pièces de calage (anneaux de centrage et calages verticaux empilables maintenus par sangle) sont utilisées pour centrer et caler le fût dans chaque cavité de la clayette.

L'emballage est chargé de cinq clayettes TN[®]910 comportant chacune au maximum 2 fûts. En cas de chargement partiel de l'emballage, les clayettes vides peuvent être remplacées par des spacers.

Cinq clayettes et/ou spacers sont disposées dans l'emballage TN GEMINI[™] (soit au maximum 10 fûts).

– **L'aménagement interne TN[®]920 :**

Chaque clayette TN[®]920 est constituée d'une palette et d'un couvercle équipé de calages.

Des pièces de calage (anneaux de centrage et calages verticaux empilables maintenus par sangle) sont utilisées pour centrer et caler le fût dans chaque cavité de la clayette.

L'emballage est chargé de deux clayettes TN[®]920 comportant chacune un fût. En cas de chargement partiel de l'emballage (1 seul fût transporté), une clayette vide doit compléter le chargement.

2.3.2. Description des déchets

Les déchets sont constitués :

- de rebuts technologiques faiblement irradiants, principalement émetteurs alpha, conditionnés dans des fûts de 100 ou 118 litres, des fûts de 400 à 460 litres ou dans au maximum deux fûts de 870 litres pouvant être injectés de béton,
- de déchets solides, contaminés par divers isotopes alpha et/ou beta-gamma, conditionnés dans des fûts bétonnés,
- de rebuts technologiques faiblement irradiants, contaminés par des émetteurs alpha et/ou beta-gamma, conditionnés dans des fûts de 200 litres ou dans des fûts bétonnés de 223 litres,
- de concentrats faiblement irradiants, contaminés par des émetteurs alpha et/ou beta-gamma, conditionnés dans des fûts bétonnés de 225 litres.

Le contenu autorisé limite les paramètres importants pour la sûreté et qui sont utilisés dans le dossier de sûreté ; en particulier :

- les masses et volumes des déchets,
- la nature du conditionnement et des matériaux composant les déchets,
- la puissance thermique des matières radioactives,
- le temps de transport,
- les activités des matières radioactives,
- la masse de matières fissiles.

2.4. Enceinte de confinement

L'enveloppe de confinement de l'emballage TN GEMINI[™] est constituée par :

- les parois renforcées latérales et de fond,
- le couvercle et son joint interne,
- la tige d'orifice de prise d'échantillon gazeux et de mise à pression et son joint interne.

2.5. Bilan de masse

Le tableau ci-après présente les masses des principaux composants du colis TN GEMINI™ en configuration de transport.

Composant	Masse maximale (kg)	
	Variantes VA et VB	Variante VC
Couvercle	1 800	
Corps de l'emballage vide	19 900	
Capot amortisseur	2 500	
Total emballage vide	24 200	
Aménagements internes et contenus	5 800	5 400
Total emballage chargé	30 000	29 600

3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE

3.1. En conditions de transport de routine

Enceinte de confinement :

L'enceinte de confinement est dimensionnée vis-à-vis d'une pression interne de l'enceinte de confinement enveloppe des pressions pouvant être rencontrées en conditions réglementaires de transport (voir paragraphe 3.4.2). Des marges importantes de sûreté existent vis-à-vis du critère de limite élastique du matériau des parois de l'enceinte de confinement et des contraintes critiques de flambage de l'enveloppe interne lors de l'application de la pression interne de dimensionnement.

Les contraintes générées par les gradients thermiques sur l'enceinte de confinement respectent également les critères fixés (limites élastiques des matériaux).

Manutention et arrimage :

Les dispositifs d'arrimage et de manutention sont constitués des bras de manutention, structures internes de l'emballage assurant la liaison entre l'enveloppe de confinement et les 8 coins ISO situés aux sommets de l'emballage.

La manutention du colis est réalisée par les 4 coins ISO supérieurs au moyen d'un palonnier standard pour conteneurs ISO ou par les 4 coins ISO inférieurs par un autre système de levage vertical.

L'arrimage du colis sur son moyen de transport est réalisé par les 4 coins ISO inférieurs qui servent de points d'ancrage sur la remorque.

La résistance mécanique des dispositifs de manutention et d'arrimage est justifiée par des calculs numériques basés sur un modèle complet de l'emballage :

- pour des chargements statiques représentatifs des accélérations vues en manutention et en arrimage,
- ainsi que vis-à-vis du cumul des dommages par fatigue suite aux cycles de sollicitation en manutention et en transport.

Structures auxiliaires :

Les structures auxiliaires sont constituées de l'ensemble des structures de l'emballage à l'exception de l'enceinte de confinement. Les structures annexes sont équipées de soupapes tarées.

La tenue mécanique des structures auxiliaires est justifiée vis-à-vis des conditions de pression en conditions de transport de routine garanties par la présence des soupapes.

La tenue mécanique du capot et du couvercle est justifiée vis-à-vis des conditions de pression et des sollicitations en manutention.

3.2. En conditions normales de transport

Les études de sûreté démontrent la tenue mécanique de l'emballage lors de l'épreuve de gerbage et l'absence d'effet des épreuves d'aspersion et de pénétration sur l'emballage compte tenu de la nature des matériaux.

L'essai de chute de 0,3 m, réalisé sur une maquette de l'emballage à l'échelle 1/2 suivant la configuration la plus dommageable, ne montre aucun dommage mettant en cause le confinement ou le blindage.

Par conséquent, l'emballage ne montre aucun dommage mettant en cause le confinement ou le blindage à la suite des épreuves réglementaires représentatives des conditions normales de transport.

3.3. En conditions accidentelles de transport

3.3.1. Epreuves de chute :

Ensemble des chutes étudiées :

Quatre configurations de chute libre de 9 mètres et quatre configurations de chute sur poinçon de 1 mètre sont étudiées.

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

Un modèle numérique a été construit afin de simuler des configurations de chute.

Principe de définition de la maquette de chute :

Les épreuves de chutes ont été réalisées avec une maquette du modèle de colis à l'échelle 1/2 ; c'est-à-dire que toutes les dimensions sont réduites de moitié.

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

Les règles de similitudes amènent à définir une hauteur de chute corrigée pour tenir compte :

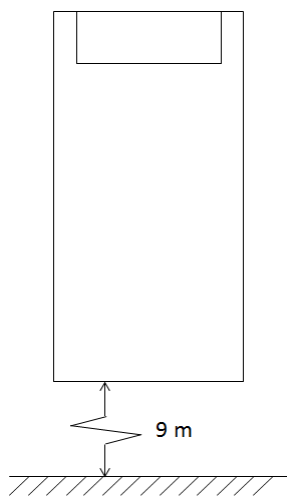
- des écarts de masse entre celle de la maquette et la masse maximale du modèle de colis,
- du complément d'énergie de chute nécessaire à apporter à la maquette en raison des différences d'échelle de la hauteur écrasée des éléments amortisseurs entre la maquette et le modèle d'emballage.

Ainsi, le principe de similitude permet de garantir que les résultats de la maquette sont valables pour le modèle d'emballage.

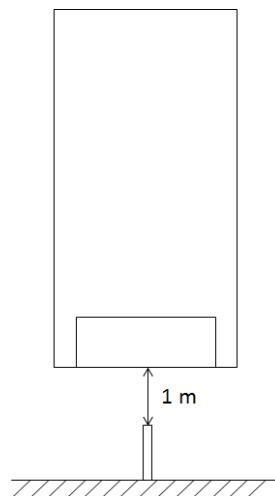
Essais de chute :

Huit chutes ont été réalisées à température ambiante :

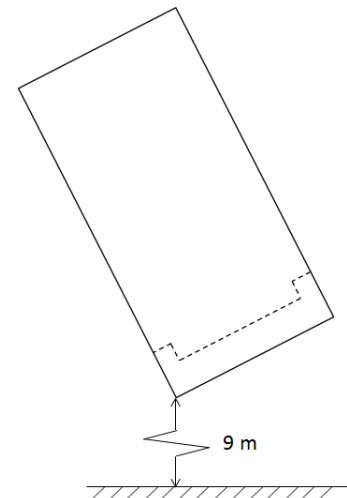
- F2 : chute libre de 9 m à plat sur fond,
- F3 : chute sur poinçon de 1 m à plat sur couvercle,
- A4 : chute libre de 9 m sur arête courte côté couvercle,
- F5 : chute sur poinçon de 1 m à 30° sur paroi latérale,
- C7 : chute libre de 9 m sur coin côté couvercle,
- C8 : chute sur poinçon de 1 m sur coin côté couvercle,
- F9 : chute sur poinçon de 1 m à 30° sur paroi latérale,
- A6 : chute sur arête longue.



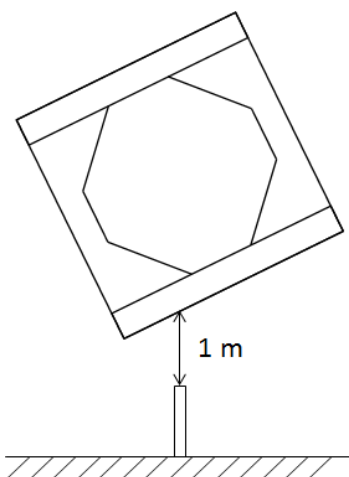
Chute F2



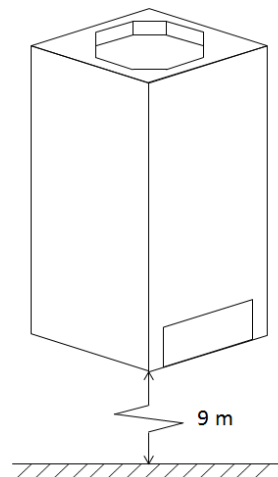
Chute F3



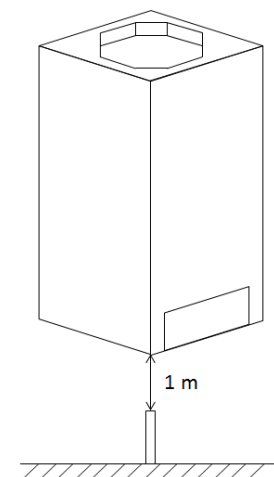
Chute A4



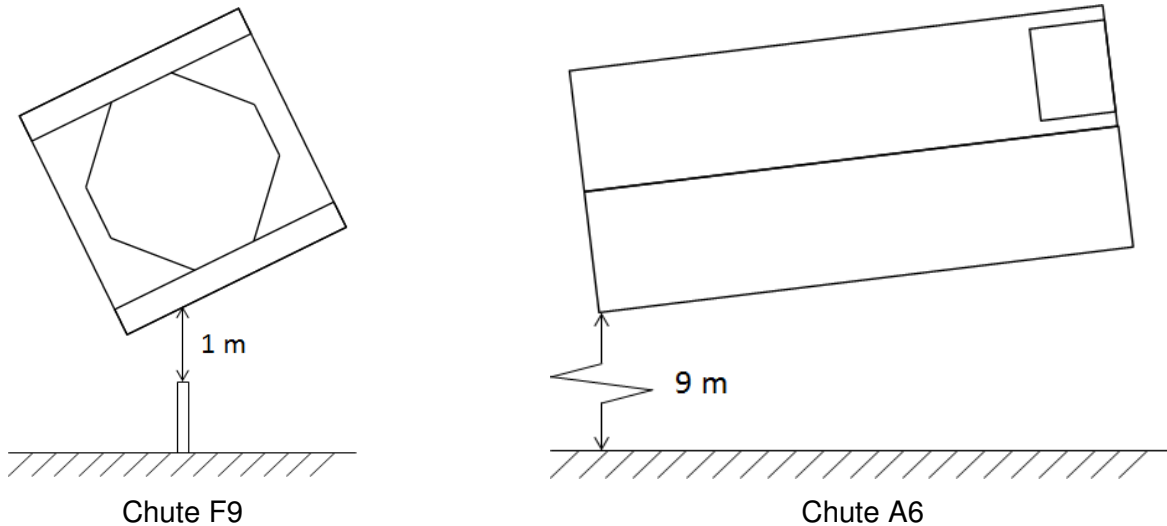
Chute F5



Chute C7



Chute C8



Mise à part la chute F5, les agressions subies par la maquette n'ont pas altéré l'étanchéité de l'enceinte de confinement. En effet, pour chaque chute il n'est constaté que des déformations locales avec écrasement des matériaux amortisseurs et déchirure des tôles extérieures.

A l'issue de la chute C8, les panneaux latéraux de la maquette ont été modifiés pour tenir compte de l'échec constaté au cours de la chute de 1 m sur poinçon F5.

La réalisation de la chute F9 dans les mêmes conditions que la chute F5 a permis de valider la modification de concept des parois de l'emballage TN GEMINI™. Mis à part la chute F5, les configurations n'ont montré aucun dommage mettant en cause le confinement ou le blindage.

L'ensemble de la campagne d'essais s'est déroulé avec succès, en prenant en compte une amélioration du concept au cours de la campagne.

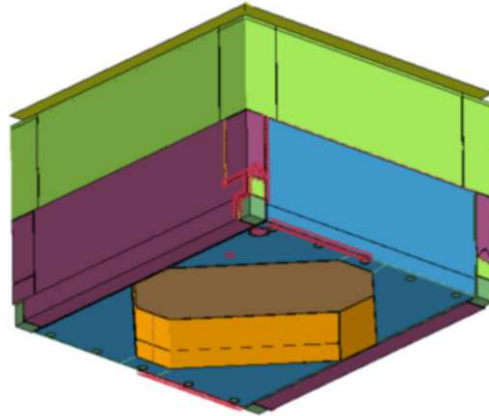
A partir des relevés accélérométriques réalisés pendant les essais, les accélérations maximales de chute vues par le contenu sont déterminées par calcul analytique pour chaque orientation de chute à plat à la température minimale des conditions normales de transport et avec les caractéristiques mécaniques maximales des matériaux amortisseurs définis selon les 3 variantes de concept d'emballage.

La tenue mécanique de l'enceinte de confinement de chaque variante de concept d'emballage chargé du contenu à sa masse maximale est alors justifiée par comparaison avec les sollicitations subies par la maquette de chutes. La tenue mécanique du système de fermeture est également démontrée.

Analyses complémentaires :

Afin de vérifier la capacité d'amortissement des capots sur toutes les faces de l'emballage TN GEMINI™, le comportement du colis lors des épreuves réglementaires de chute a été étudié par calculs analytiques et numériques à la température maximale des conditions normales de transport, et avec les caractéristiques mécaniques minimales des matériaux amortisseurs.

Afin de vérifier la résistance du système de fermeture et de vérifier la capacité d'amortissement du capot, le comportement du colis aux températures minimales et maximales des conditions normales de transport lors des épreuves réglementaires de chute a été également étudié par calcul numérique.



Cette étude comprend plusieurs parties :

- Un recalage du modèle numérique à partir des résultats de l'essai de chute (C7) sur coin bas, côté couvercle de 9,2 m sur cible plane réalisé sur la maquette à l'échelle 1/2 de l'emballage TN GEMINI™.
- L'utilisation de ce modèle à la température maximale des conditions normales de transport et avec les caractéristiques mécaniques minimales des matériaux spécifiées pour le modèle d'emballage en simulant le cumul des épreuves de chutes réglementaires (chute de 1 mètre sur poinçon, chute de 0,3 m des conditions normales de transport et de 9 m des conditions accidentelles de transport) afin de déterminer la déformation maximale du colis.
- L'utilisation du modèle à la température minimale des conditions normales de transport et avec les caractéristiques mécaniques maximales des matériaux spécifiées pour le modèle d'emballage en simulant le cumul des épreuves de chutes réglementaires (chute de 1 mètre sur poinçon, chute de 0,3 m des conditions normales de transport et de 9 m des conditions accidentelles de transport) afin de vérifier la résistance du système de fermeture.

Cette étude permet de conclure que la réalisation des épreuves réglementaires n'induit pas de déformation de l'enveloppe de confinement et assure le maintien de l'étanchéité.

3.3.2. Epreuves d'immersion

La tenue de l'enceinte de confinement dans les conditions réglementaires (voir paragraphe 3.1) permet de déduire que l'immersion de l'emballage sous une profondeur de 15 m d'eau (0,15 MPa) ne remet pas en cause la tenue de l'enceinte de confinement.

Enfin, compte tenu des contenus autorisés, il est justifié que l'emballage est exempté de l'épreuve poussée d'immersion dans l'eau (200 m) applicable aux colis de type B contenant plus de 10^5 A₂.

3.4. Comportement des contenus

Les analyses de sûreté étudient le comportement des différents contenus transportés dans l'emballage TN GEMINI™, en conditions normales et accidentelles de transport, afin de justifier les hypothèses considérées pour les analyses de relâchement, de radioprotection et de sûreté-criticité.

Les paramètres des contenus importants pour l'étude sont donnés au paragraphe 2.3.2.

L'analyse permet :

- d'établir l'absence de risque de perforation de la cavité de l'emballage par les différents contenus, dans les conditions des épreuves représentatives des conditions normales et accidentelles de transport,
- de valider les valeurs de pressions internes utilisées dans les analyses de relâchement et de résistance structurelle de l'emballage,
- d'établir l'absence de risque d'inflammabilité de l'atmosphère dans la cavité de l'emballage et dans les différents conditionnements des contenus du fait d'une production de gaz inflammables par décomposition thermique ou par radiolyse pour les différents types de déchets transportés,
- de démontrer la tenue mécanique en conditions normales et accidentelles de transport des aménagements internes suivants :
 - clayettes renforcées pour fûts de 400 à 460 litres,
 - clayettes pour fûts de 870 litres,
 - aménagement interne TN[®]910,
 - aménagement interne TN[®]920.

3.4.1. Analyse du risque de poinçonnement de la cavité

En fonction de la tenue des aménagements internes et de la définition du contenu autorisé au transport, la masse du contenu chargé est limitée afin d'éviter tout risque de perforation de la cavité de l'emballage lors des chutes. Les analyses sont réalisées à partir d'essais de poinçonnement de maquettes de parois de l'emballage :

- des essais dynamiques consistant à larguer des lests munis de poinçons de différentes géométries sur une maquette à l'échelle 1 représentative des dispositifs anti-poinçonnement des aménagements internes selon les contenus et de la paroi de l'emballage TN GEMINI[™] ;
- des essais statiques consistant à déterminer les efforts de perforation de différentes tailles de poinçons sur une maquette à l'échelle 1/2 représentative de la paroi de l'emballage TN GEMINI[™].

3.4.2. Evolution de la pression interne dans l'emballage

La pression maximale dans l'emballage chargé des différents contenus est calculée en prenant en compte les phénomènes suivants :

- la production de gaz par radiolyse des déchets organiques déterminée à partir de coefficients radiolytiques issus de la littérature couvrant les matériaux présents dans les déchets,
- la production de gaz par décomposition thermique des matières organiques,
- la pression de vapeur saturante de l'eau pour tenir compte de la présence éventuelle d'humidité dans la cavité de l'emballage,
- les changements de température en conditions normales et accidentelles de transport pendant les durées de transport et leurs effets sur les paramètres définis ci-dessus.

3.4.3. Contrôle des gaz inflammables

Dans la cavité de l'emballage, la concentration en gaz inflammables est calculée en considérant les phénomènes suivants :

- la production de gaz inflammables par radiolyse des déchets organiques déterminée à partir de coefficients radiolytiques issus de la littérature couvrant les matériaux

présents dans les déchets ou issus de mesures expérimentales effectuées sur des fûts de déchets représentatifs des contenus transportés,

- la production de gaz inflammables par décomposition thermique des matières organiques,
- l'influence de la température susceptible d'être atteinte par le contenu en conditions normales et accidentelles de transport et son effet sur les phénomènes définis ci-dessus,
- la durée des conditions normales et accidentelles de transport,
- les éventuelles quantités de gaz inflammables accumulées en entreposage dans les conditionnements des déchets.

Dans les conditionnements des déchets, le contrôle des gaz inflammables est assuré :

- Soit par le calcul de la concentration en gaz inflammables dans les conditionnements en considérant les phénomènes suivants :
 - la production de gaz inflammables par radiolyse des déchets organiques, déterminée à partir de coefficients radiolytiques issus de la littérature couvrant les matériaux présents dans les déchets ou issus de mesures expérimentales effectuées sur des fûts de déchets représentatifs des contenus transportés,
 - la production de gaz inflammables par décomposition thermique des matières organiques,
 - la perméation des gaz inflammables à travers d'éventuelles enveloppes ou housses,
 - la diffusion des gaz inflammables à travers d'éventuels orifices ou dispositifs de ventilation placés sur les fûts,
 - l'influence de la température susceptible d'être atteinte par le contenu en conditions normales et accidentelles de transport et son effet sur les phénomènes définis ci-dessus,
 - la durée des conditions normales et accidentelles de transport,
 - les éventuelles quantités de gaz inflammables accumulées en entreposage dans les conditionnements des déchets.
- Soit par le calcul des concentrations en oxygène et de gaz inflammables permettant de s'assurer que la concentration en oxygène est inférieure à la valeur limite d'inflammabilité si la concentration de gaz inflammables atteint la limite inférieure d'inflammabilité, en considérant les phénomènes suivants :
 - la production de gaz inflammables par radiolyse des déchets organiques et la consommation d'oxygène des matériaux polymères par le phénomène de radio-oxydation, déterminée à partir de coefficients radiolytiques issus de la littérature couvrant les matériaux présents dans les déchets et issus de mesures expérimentales effectuées sur des échantillons de différents matériaux polymères soumis à des tests d'irradiation par des rayonnements β/γ et α ,
 - la diffusion des gaz à travers d'éventuels orifices des conditionnements internes des déchets,
 - la perméation des gaz à travers d'éventuelles enveloppes ou housses,
 - la durée écoulée depuis le conditionnement des déchets,
 - l'influence de la température susceptible d'être atteinte par le contenu en conditions normales et accidentelles de transport et son effet sur les phénomènes définis ci-dessus.

3.4.4. Comportement des aménagements internes en conditions normales et accidentelles de transport

La tenue mécanique des aménagements internes (clayettes pour fûts de 400 à 460 litres, clayettes pour fûts de 870 litres, aménagement interne TN[®]910, aménagement interne TN[®]920) et des éventuels renforts anti-poinçonnements est démontrée en conditions normales et accidentelles de transport, à partir des masses des contenus autorisés au transport et des accélérations maximales de chute calculées pour les différentes variantes de concept d'emballage autorisées au transport (voir paragraphe 3.3.1).

L'analyse permet d'assurer que le rôle des aménagements internes (tenue structurelle et maintien en position des fûts et déchets dans leur cavité) est conservé lors des épreuves de réglementaires représentatives des conditions normales et accidentelles de transport selon les variantes autorisées de concept d'emballage.

4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE

4.1. En conditions de routine et en conditions normales de transport

Paramètres du contenu important pour l'étude

La principale caractéristique des différents contenus influant sur les études thermiques est la puissance thermique totale du contenu qui est prise, de façon conservative, enveloppe des valeurs maximales autorisées.

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 est prise en compte.
- Un ensoleillement de 12 heures par jour et des conditions d'insolation réglementaires sont considérés.
- L'emballage est en position horizontale.

Méthode de calcul

Les différentes analyses thermiques ont été réalisées à l'aide du logiciel IDEAS pour tous les transferts thermiques.

Les principales hypothèses et simplifications du modèle sont :

- Un demi-modèle est réalisé compte tenu de la symétrie verticale du modèle de colis.
- Le contenu transporté n'est pas modélisé. La puissance dissipée est uniformément répartie sur la face interne de l'enveloppe de confinement. L'inertie du contenu n'est donc pas prise en compte.

Résultats

Tous les matériaux restent en dessous de leur température limite d'utilisation. En particulier les températures maximales des joints restent inférieures à leurs températures maximales d'utilisation en régime continu.

La température de l'enveloppe externe obtenue en conditions normales de transport, sans prendre en compte l'ensoleillement, est inférieure à 50°C.

4.2. En conditions accidentelles de transport

Paramètres de l'emballage important pour l'étude

Le modèle géométrique considéré pour les conditions accidentelles de transport est celui utilisé pour les conditions normales de transport, en tenant compte des endommagements des matériaux de protection thermique survenus à la suite des épreuves représentatives des conditions accidentelles de transport :

- diminution des épaisseurs d'isolants thermiques et des matériaux amortisseurs sur toute la face supérieure de l'emballage correspondant à l'endommagement maximal lors d'une chute d'une hauteur de 9 m,
- suppression d'un volume de matériaux amortisseurs enveloppe des dimensions d'un poinçon réglementaire, au niveau de la partie supérieure du capot au droit du joint du couvercle, correspondant à l'endommagement maximal lors d'une chute de 1 m sur poinçon.

Pour le refroidissement après feu, le colis est considéré en position la plus pénalisante vis-à-vis des échanges thermiques, en orientant la face endommagée de l'emballage présentant les épaisseurs les plus faibles vers le haut afin de maximiser les effets de l'ensoleillement.

Méthode d'analyse

Les différentes analyses thermiques ont été réalisées à l'aide du logiciel IDEAS.

Le calcul est réalisé en régime transitoire selon le synoptique suivant :

- A. Le champ de température initial du colis est celui des conditions normales de transport ayant conduit aux températures les plus élevées concernant les joints d'étanchéité du colis.
- B. Pendant la période réglementaire de 30 minutes, le feu est simulé par :
 - a. une température ambiante réglementaire de 800°C.
 - b. un coefficient d'échange convectif autour de l'emballage égal au coefficient recommandé par la réglementation de 10 W/m²/K représentatif d'une convection forcée dans un incendie englobant.
 - c. l'émissivité des flammes de 0,9 et celle des surfaces externes de 0,8 conformément à la réglementation.
- C. Après feu,
 - a. l'ensoleillement est appliqué pour un colis dans la position la plus pénalisante.
 - b. l'émissivité des surfaces externes reste à 0,8 et l'absorptivité solaire des surfaces externes est de 0,9.

En complément du cas de calcul de base, les études d'influence suivantes ont été réalisées :

- l'influence directe du feu dans le jeu entre les brides de fixation du capot avant et du corps de l'emballage,
- l'influence du changement des caractéristiques thermiques de l'isolant thermique en fonction de la température.

Résultats

Tous les matériaux restent en dessous de leur température limite d'utilisation. En particulier les températures maximales des joints restent inférieures aux températures maximales d'utilisation des joints sur une durée limitée.

L'analyse du comportement des joints de confinement de l'emballage TN GEMINI™, ainsi que des joints des tubes télescopiques du capot, en conditions normales et accidentelles de transport, montrent que :

- le risque d'extrusion des joints est nul en conditions normales de transport, lorsque les cotes sont prises aux tolérances les plus pénalisantes,
- le risque d'extrusion des joints est nul en conditions accidentelles de transport pour les joints de confinement de l'emballage TN GEMINI™, lorsque les cotes sont prises aux tolérances les plus pénalisantes,
- les taux de compression minimaux à la température de -40°C sont suffisants pour assurer une bonne étanchéité de l'emballage,
- la tenue au vieillissement en température des joints toriques de l'emballage est garantie et valide la périodicité de remplacement des joints,
- la tenue au vieillissement (thermique et mécanique) des joints toriques des tubes du capot de l'emballage est garantie pour la durée de vie des capots de l'emballage.

5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT

L'analyse de confinement du modèle de colis TN GEMINI™ 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.

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

L'analyse est réalisée pour les conditions normales et accidentelles de transport :

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- la définition et la nature des matières radioactives autorisées au transport,
- les activités spécifiques maximales des matières radioactives.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont :

- le taux de fuite maximal de l'enceinte de confinement vérifié avant expédition,
- les températures maximales des joints issues de l'analyse thermique.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les hypothèses suivantes sont prises en compte :

- L'emballage est fermé à la pression atmosphérique.
- Le relâchement d'activité est causé par l'éventuelle présence d'aérosols en suspension dans la cavité de l'emballage, en concentration différente selon les conditions normales ou accidentelles de transport.
- La pression interne considérée est enveloppe des pressions pouvant être rencontrées en conditions réglementaires de transport (voir paragraphe 3.4.2).

- La pression externe minimale du colis est la pression ambiante réglementaire minimale de 0,6 bar.

Méthode de calcul

La méthodologie est décrite dans la norme ISO 12807 et est basée sur une phase de relâchement d'activité : la surpression dans l'emballage et 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.

Résultats

Les critères réglementaires de relâchement d'activité en conditions normales de transport de $10^{-6} A_2/h$ et en conditions accidentelles de transport de $1A_2$ cumulée sur une semaine sont respectés.

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 suivantes :

- En conditions de transport de routine (CTR) : 2 mSv/h en tout point de la surface externe du colis.
- En conditions normales de transport (CNT) : augmentation de l'intensité de rayonnement maximale sur toute surface externe du colis inférieure à 20%.
- En conditions accidentelles de transport (CAT) : 10 mSv/h à un mètre de la surface du colis.

6.1. En conditions de transport de routine et en conditions accidentelles de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les principales caractéristiques du contenu utilisées sont selon les contenus :

- soit la masse maximale d'uranium et de plutonium dans l'emballage définie pour chaque contenu,
- soit l'activité maximale des radionucléides présents dans les déchets, et leur position dans l'emballage assurée par la tenue mécanique des aménagements internes.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

Le blindage est principalement formé par :

- les tôles en acier de l'enceinte de confinement,
- les épaisseurs de matériaux amortisseurs dans les capots entourant l'enceinte de confinement,
- les tôles en acier formant les capots tout autour de l'emballage.

Méthode de calcul

L'analyse en conditions de transport de routine et en conditions accidentelles de transport démontre le respect des critères au contact et à 1 m des parois du colis en considérant les hypothèses pénalisantes suivantes :

- Selon les contenus, un même modèle numérique est utilisé pour les configurations de calcul dans les conditions de transport de routine et les conditions accidentelles de

transport. Le modèle prend en compte l'état de l'emballage et de l'aménagement interne à l'issue des épreuves représentatives des conditions accidentelles de transport.

- Les matériaux amortisseurs et isolants thermiques et de l'emballage sont remplacés par de l'air et seule une partie des tôles de l'emballage et des éventuels aménagements internes est considérée.
- Les sources considèrent les activités maximales des isotopes présents dans les différents contenus, et leurs géométries et leurs emplacements sont modélisés de façon à maximiser les intensités de rayonnement.
- Les sources modélisées considèrent un temps de vieillissement de façon à maximiser les intensités de rayonnement en transport.

Résultats

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

Il est justifié que le contenu radioactif maximal de chaque contenu prévu pour le colis respecte le critère réglementaire de débit d'équivalent de dose à 1 m en conditions accidentelles de transport.

6.2. En conditions normales de transport

Suite aux épreuves représentatives des conditions normales de transport, aucun endommagement de l'emballage susceptible d'entraîner un dépassement du critère en conditions normales de transport (augmentation du débit d'équivalent de doses maximal en conditions de transport de routine inférieure à 20 %) n'est constaté.

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 conditions 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.

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 en 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

Paramètres du contenu importants pour l'étude :

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- la nature des matériaux présents dans les déchets,
- les masses de plutonium et d'uranium 235 autorisées par fût, par groupe de fûts ou par colis.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude :

Le système d'isolement est constitué par :

- pour l'emballage : la cavité de l'emballage délimitée par une tôle interne en acier et une tôle externe en acier maintenue à une distance minimale par des matériaux de structures (non modélisés),
- pour les clayettes pour fûts de 870 litres, et les clayettes TN[®]910 et TN[®]920 : la cavité des clayettes délimitées par une tôle et des calages (non modélisés) assurant un espacement minimal entre clayettes.

Les performances du colis permettent de s'assurer que la géométrie du système d'isolement n'est pas modifiée suite aux épreuves réglementaires représentatives conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles.

Hypothèses importantes pour l'étude :

Les principales hypothèses utilisées sont :

- Le risque de modification de la géométrie du contenu est traité en étudiant le milieu fissile sous diverses formes pénalisantes, notamment sous forme de sphère, et en étudiant la variation de la position du milieu fissile, simulant le contenu, dans la cavité des clayettes ou de l'emballage.
- Le milieu fissile est modéré par le matériau modérateur, en quantité non-limitée, le plus performant parmi les matériaux présents dans les déchets. L'optimum de modération est recherché.
- Le milieu fissile est réfléchi par les matériaux réflecteurs, en quantité non-limitée dans la cavité des clayettes ou de l'emballage, les plus performants parmi les matériaux présents dans les déchets.

Méthode de calcul :

Pour le réseau de colis, le nombre N est considéré comme étant infini pour les analyses concernant l'emballage chargé de ses contenus. Le réseau de colis est assuré par l'application de réflexion totale sur les faces externes du modèle.

Selon les contenus, les calculs ont été effectués avec le schéma de calcul APOLLO1-MORET III, APOLLO2 - S_N, APOLLO2-MORET4 (voie standard du formulaire CRISTAL) et avec le code TRIPOLI4 (voie étalon du formulaire CRISTAL).

Résultats :

Les valeurs de réactivité ($k_{\text{eff}} + 3 \sigma$) restent inférieures aux critères du colis isolé et du réseau de colis pour les masses maximales de ²³⁵U et de plutonium autorisées pour les différents contenus.

Ainsi, la sous-criticité du colis isolé et du réseau de colis est assuré.

8. CONDITIONS D'UTILISATION

L'emballage TN GEMINI™ est étudié pour être chargé et déchargé horizontalement et à sec.

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

- Le contenu chargé doit respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé.
- La bonne fermeture (couple de serrage des vis) et le niveau d'étanchéité (taux de fuite) 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.

Le transport ne doit pas être effectué si la température ambiante extérieure est inférieure à -10°C.

Afin de limiter la production de gaz inflammables dans la cavité de l'emballage, le temps prévu pour le transport, compté à partir du moment de la fermeture de l'enveloppe de confinement de l'emballage, est limité selon les contenus chargés.

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/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 leur durée de vie,
- le contrôle de l'état des composants des systèmes vissés (couvercle, tapes d'orifices, capot) afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté,
- le contrôle des éléments permettant la manutention et l'arrimage du colis,
- le contrôle de l'étanchéité des capots et des soudures de l'enceinte de confinement.

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 leurs activités.

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.