DESCRIPTION ET PERFORMANCES DU MODÈLE DE COLIS TN®12/2

Sommaire

État des révisions	2
1. OBJET	3
2. DESCRIPTIONS ET DÉFINITIONS	3
3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MÉCANIQUE	6
4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE	13
5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT	15
6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION	17
7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SÛRETÉ-CRITICITÉ	20
8. CONDITIONS D'UTILISATION	22
9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PÉRIODIQUE	24
10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITÉ	24
11. RÉFÉRENCES	24

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

État des révisions

Version	Date	Objet et historique des révisions	Préparé par / Vérifié par
1.0	[redacted]	Création du document	[redacted]
2.0	[redacted]	Ajout des contenus n°29, n°30 et n°31. Modifications mineures (correction sur la durée de vie emballage et précision sur les conditions de chargement et de déchargement).	[redacted]
3.0	[redacted]	Ajout du contenu n°32 (DAE de type 3)	[redacted]
4.0	[redacted]	Suppression des différents types (1,2, 3) de DAE et du contenu n°1. Modification de temps de refroidissement et du taux de rupture en CNT pour le contenu n°25 (CSS). Modification des conditions d'utilisation du contenu n°32 (ajout d'une plage de pression pour l'une des configuration possible). Mise à jour des éditions de réglementation AIEA. Modifications mineures.	[redacted]
5.0	[redacted]	Suppression des contenus obsolètes (contenu n° 1, contenu n° 4 REP 15 × 15, contenu n° 6, contenu n°8, contenu n° 16, contenu n° 24, contenu n° 28 et contenu n° 31). Suppression des tronçons de crayons combustibles irradiés pour le contenu n°19 Modifications mineures de forme	[redacted]

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

1. OBJET

L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du modèle de colis TN®12/2, destiné au transport par voie routière, ferroviaire ou maritime et chargé :

- d'assemblages combustibles à oxyde d'uranium ou oxyde mixte (MOX) de type REP irradiés ou non dans un panier de type 927,
- d'assemblages combustibles à oxyde d'uranium de type REP irradiés ou non dans un panier de type 922 (variante A ou B),
- de crayons sources secondaires placés dans des carquois dans un panier de type 901,
- d'assemblages combustibles MOX frais REP et REB dans un panier de type M931 ou M933 (version A uniquement),
- d'étuis pour déchets activés d'exploitation (DAE) dans un panier de type 922,

en tant que colis de type B(M) contenant des matières fissiles au regard des réglementations <1> et <2>.

2. DESCRIPTIONS ET DÉFINITIONS

2.1. Description du colis

Le modèle de colis TN®12/2 permet le transport à sec d'assemblages combustibles irradiés ou non provenant du cœur d'un réacteur à eau légère (REP) ou d'assemblages combustibles MOX frais pour réacteurs à eau légère (REP ou REB). Ces assemblages combustibles sont constitués de crayons combustibles assemblés en réseau. Le colis permet également le transport de crayons sources secondaires et de matières radioactives non-fissiles (squelettes d'assemblages, étuis contenant des déchets activés d'exploitation) provenant de réacteurs nucléaires à eau légère.

Le colis est de forme cylindrique et ses dimensions générales hors-tout sont :

- longueur : 6 150 mm,
- diamètre : 2 530 mm.

Un schéma de l'emballage muni de son capot de fond n° 2 est disponible en figure 00-1.1.

Il existe deux versions du modèle de colis TN®12/2 :

- la version A se compose de trois variantes (A-1, A-2 et A-3) dont le blindage radial est renforcé aux extrémités,
- la version B, conçue pour des combustibles irradiés à taux de combustion plus élevé, est dérivée de la version A avec en supplément une épaisseur de blindage radial neutronique plus importante dans la zone ailetée. Cette dernière peut également comprendre en option un blindage radial neutronique complémentaire aux extrémités (caissons et couronnes support de jupe) pour former la variante B-b.

2.2. Description de l'emballage

Les principaux composants de l'emballage sont :

- Un corps en acier forgé, comportant une cavité interne et muni, à l'exterieur, d'un blindage neutronique, d'une structure de dissipation thermique composée d'ailettes de refroidissement, de tourillons et de caissons protecteurs. Le corps forgé est composé de plusieurs parties (virole et fond) réunies par une soudure circulaire. Trois paires de tourillons vissés sur le corps (deux en tête et une en fond) forment les points de préhension pour la manutention et l'arrimage de l'emballage. Des orifices équipés de joints élastomères permettent un accès à la cavité.
- Un système de fermeture de la cavité interne est formé d'un bouchon en acier inoxydable forgé maintenu par une bride de serrage en acier fixée par des vis et d'un couvercle de protection en aluminium maintenu par des vis.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

- Deux capots amortisseurs, un pour la protection du système de fermeture et un pour la protection du fond, fixés chacun par des vis. Ils sont constitués d'une structure en acier inoxydable remplie de balsa (capot de fond concept n° 1) ou de balsa et d'aluminium (capot de fond concept n° 2) et de balsa et chêne (capot de tête).

2.3. Enceinte de confinement

L'enceinte de confinement de l'emballage est constituée par le corps, le bouchon, la bride, le capuchon de raccord rapide de l'orifice de prélèvement d'échantillons, les 3 sièges de tampons et les 3 tampons des orifices d'évent et de drainage.

2.4. Barrières d'étanchéité

Toutes les ouvertures de l'enceinte de confinement de l'emballage TN®12/2 sont équipées pour offrir un double niveau de sécurité. En effet, toutes ces ouvertures sont prévues avec deux barrières d'étanchéité contrôlables, chacune d'elles étant constituée par deux joints élastomères délimitant un espace entre joints relié à un orifice de contrôle terminé par un bouchon de contrôle.

2.5. Système d'isolement

Le système d'isolement est constitué par :

- le contenu et ses caractéristiques tels que décrits au chapitre 0A, en particulier la masse de métal lourd et l'enrichissement du contenu radioactif,
- le corps et les deux barrières d'étanchéité (bouchon et couvercle) décrits au paragraphe 2.2.

2.6. Bilan des masses

La masse totale de l'emballage chargé est comprise entre 96 000 kg et 117 000 kg (en manutention) selon le contenu, le type de capot de fond et les conditions d'utilisation.

La masse maximale autorisée du colis TN®12/2 en transport est de 111 000 kg. La masse autorisée au transport est celle utilisée de façon générique dans les études de sûreté. Seules les études en manutention verticale sont réalisées avec une masse de 117 000 kg.

2.7. Description du contenu

L'emballage TN®12/2, version A ou B, peut être chargé des contenus suivants :

- au maximum de 12 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium ou squelettes d'assemblages dans un panier de type 922 (variante A ou B) ***(contenu 2)***,
- au maximum de 12 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium, ou squelettes d'assemblages dans un panier de type 927 ***(contenu 4)***,
- au maximum d'un carquois contenant des crayons combustibles ou tronçons de crayons combustibles issus d'assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium et du complément à 12 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium dans un panier de type 922 (variante A ou B) ***(contenu 17)***,
- au maximum d'un carquois contenant des crayons combustibles issus d'assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium et du complément à 12 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium, ou squelettes d'assemblages dans un panier de type 927 ***(contenu 19)***,
- au maximum de 138 crayons sources secondaires irradiés disposés dans 2 carquois dans un panier de type 901 ***(contenu 25)***,
- au maximum de 12 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium, ou squelettes d'assemblages disposés dans un panier de type 927 ***(contenu 27)***,
- au maximum d'un carquois contenant des crayons combustibles ou tronçons de crayons combustibles issus d'assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

oxyde d'uranium et du complément à 10 ou 12 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium dans un panier de type 922 (**contenus 29 et 30**),

- au maximum de 12 étuis de déchets activés d'exploitation (DAE) disposés dans un panier de type 922 ***(contenu 32)***.

L'emballage TN®12/2, version A, peut être chargé des contenus suivants :

- au maximum de 8 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 neufs à oxyde mixte disposés dans un panier de type M931 ***(contenu 13)***,
- au maximum de 21 assemblages combustibles de type REB 8 × 8 neufs à oxyde mixte ou à oxyde d'uranium ou à oxyde d'uranium et de gadolinium (ou une combinaison quelconque des trois) disposés dans un panier de type M933 ***(contenu 23)***.

L'emballage TN®12/2, version B, peut être chargé des contenus suivants :

- au maximum de 4 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde mixte et du complément à 12 assemblages combustibles de type REP 17 × 17 irradiés ou non à oxyde d'uranium disposés dans un panier de type 927 ***(contenus 9 et 20)***,

Le panier de type 901 comporte 12 logements de section carrée pour carquois contenant des crayons sources secondaires. Il est constitué par l'empilement de trois éléments alignés les uns par rapport aux autres par des pions et assemblés par quatre tirants. Chacun des éléments est constitué de quatre secteurs en alliage d'aluminium assemblés par des vis et des plaques de fixation. La manutention de l'ensemble est assurée par l'intermédiaire de tirants.

Le panier de type 927 comporte 12 logements de section carrée pour assemblages combustibles REP non encapsulés. Il est constitué de trois éléments assemblés entre une plaque inférieure et une plaque supérieure par des pions et quatre tirants. Chacun des éléments est constitué de quatre secteurs en alliage d'aluminium au bore assemblés par des vis et des plaques de fixation et maintenus espacés par des entretoises.

Chaque secteur comporte deux pièces de blindage en acier inoxydable assemblées par des vis sur la partie en aluminium au bore.

Le panier de type 922 comporte 8 logements de section carrée pour assemblages combustibles REP non encapsulés et 4 logements de section carrée pour assemblages combustibles REP encapsulés ou non. Il est constitué de trois éléments assemblés entre une plaque inférieure et une plaque supérieure par des pions et quatre tirants. Chacun des éléments est constitué de quatre secteurs en alliage d'aluminium au bore assemblés par des vis et des plaques de fixation et maintenus espacés par des entretoises.

Le panier de type M931 comporte 8 logements en acier au bore de section carrée pour assemblages combustibles frais MOX REP.

Le panier de type M933 comporte 21 logements en acier au bore de section carrée pour assemblages combustibles frais MOX REB de réseau 8 × 8.

Les contenus autorisés dans l'agrément sont limités par les paramètres suivants :

- la géométrie,
- la masse maximale d'uranium,
- la puissance thermique maximale dégagée,
- le nombre de crayons inétanches,
- la quantité et l'activité des radioéléments présents après irradiation dans le réacteur et après la durée de refroidissement requise,
- l'enrichissement, le taux de combustion moyen maximal et le temps de refroidissement minimal, résumés dans le tableau suivant :

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Contenu	Type	Substance	Enrichissement initial maximal en uranium 235 (%)	Teneur initiale maximale en plutonium (%)	Taux de combustion moyen maximal (GWj/t_U)	Durée de refroidissement minimum (jours)
2	REP 17×17	UO_2	3,75	-	55	365
4	REP 17×17	UO_2	4,55	-	60	180
9	REP 17×17	UO_2	3,75	-	50	180
		MOX	0,35	8,20	48,9	180
13	REP 17×17	MOX	0,35	15,0	Combustible neuf	Combustible neuf
17	REP 17×17	UO_2	3,75	-	55	365
19	REP 17×17	UO_2	4,3	-	60	180
20	REP 17×17	UO_2	3,75	-	50	180
		MOX	0,35	7,90	48,9	180
23	REB 8×8	UO_2 ou $UO_2 + Gd_2O_3$	5	-	Combustible neuf	Combustible neuf
		MOX	0,72	15,00	Combustible neuf	Combustible neuf
25	-	CSS	-	-	-	10220
27	REP 17×17	UO_2	4,3	-	60	180
29 et 30	REP 17×17	UO_2	3,75	-	55	365
	REP 17×17	UO_2	4,25	-	55	365
32	-	DAE	-	-	-	-

3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MÉCANIQUE

Les chapitres 1 et 1A et leurs annexes présentent l'ensemble des analyses mécaniques du modèle de colis TN®12/2.

3.1. Conditions de transport de routine

Tenue à la pression

L'enveloppe de confinement est justifiée selon les règles de calcul des codes ASME Section III Division 1 Sous-section NE. L'enceinte de confinement est soumise aux sollicitations suivantes :

- pression interne de l'enceinte de confinement,
- accélérations en manutention, en arrimage et en transport,
- ensoleillement et gradients thermiques maximums du contenu,
- phénomènes liés aux cycles de sollicitations (de pression, de température, de vibrations et de chocs).

La conformité aux codes ASME et CODAP des différents éléments constituant l'enceinte de confinement est vérifiée.

Arrimage et manutention

L'emballage est muni de deux paires de tourillons utilisables pour sa manutention verticale et horizontale ainsi que pour son arrimage sur des supports appropriés fixés au véhicule, et d'une paire de tourillons auxiliaires, du côté du bouchon, utilisables pour sa manutention verticale.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

La tenue mécanique des tourillons est justifiée pour des chargements statiques (en manutention et en arrimage), ainsi qu'à la fatigue suite au cumul des cycles de sollicitation en transport et en manutention.

Les études permettent de justifier la tenue des tourillons pour une utilisation de 60 ans.

Résistance des structures annexes

La tenue mécanique des structures annexes de l'emballage TN®12/2 est vérifiée, à savoir :

- capot de protection du bouchon et ses oreilles de manutention,
- capot de protection du fond (concept n° 1 ou concept n° 2) et ses oreilles de manutention,
- caissons.

Toutes les contraintes dans les structures annexes citées ci-dessus sont inférieures aux limites admissibles pour tous les cas de chargement envisagés.

Résistance de l'aménagement interne

La résistance de l'aménagement interne aux sollicitations mécaniques et contraintes thermiques rencontrées en conditions de transport de routine ainsi que sa libre dilatation dans la cavité sont vérifiées.

3.2. Conditions normales de transport

Les analyses de sûreté étudient l'épreuve réglementaire de chute libre de 30 cm de hauteur. Les autres épreuves réglementaires (gerbage, aspersion et pénétration d'une barre) sont sans impact sur la sûreté du colis.

Endommagements

L'emballage ne subit pas de dommage susceptible de nuire ni au confinement du contenu ni à l'efficacité du blindage et le panier maintient sa géométrie lors de l'épreuve de chute libre.

3.3. Conditions accidentelles de transport

L'ensemble des analyses de chute est réalisé en considérant une énergie de chute correspondant à une masse totale de colis de 111 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.

Chutes étudiées

Le comportement de l'emballage TN®12/2 dans les conditions accidentelles de chute règlementaires, a été étudié au moyen de maquettes à l'échelle 1/3 qui ont subi des chutes de 9 m ainsi que des chutes de 1 m sur poinçon selon différentes orientations. Les maquettes ont permis de simuler le comportement de l'emballage en conditions accidentelles de chute avec les deux concepts de capot de fond.

Les analyses ont été complétées par des chutes étudiées numériquement.

Toutes les configurations possibles de chute libre de 9 m et de 1 m sur poinçon ont été analysées, afin de définir les essais de chute à réaliser : les séquences de chutes retenues et testées physiquement sont celles maximisant les dommages possibles aux barrières d'étanchéité du système de fermeture et les sollicitations possibles dans le système de fixation des capots de tête et de fond.

D'autre part, les épreuves de chute ont été combinées avec diverses hypothèses d'environnement et de conditions à l'intérieur de l'emballage :

- température ambiante de -27°C (température minimale ambiante autorisée), 20°C ou 38°C,
- avec ou sans prise en compte de la puissance interne,
- avec ou sans prise en compte de la pression dans la cavité.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Principe de définition des maquettes de chute

Les épreuves de chute ont été réalisées avec des maquettes représentatives du modèle de colis à l'échelle 1/3.

Une maquette numérique est également utilisée. Celle-ci est également à l'échelle 1/3.

Les règles de similitude sont appliquées afin de garantir que les contraintes mécaniques dans les composants des maquettes 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 les maquettes et sur les colis.

Les maquettes de l'emballage échelle 1/3 sont représentatives de l'emballage échelle 1. Il est démontré que les différences de fabrication entre les maquettes et le modèle de colis sont conservatives ou sans incidence notable sur la représentativité des maquettes lors des chutes sur poinçon ou lors des chutes de 9 m.

L'aménagement interne et le contenu radioactif sont représentés par un lest. Ce lest tient compte de la répartition de la masse du contenu.

Les règles de similitudes amènent à étudier le conservatisme des hauteurs de chutes pour tenir compte des écarts de masse entre celle de la maquette et la masse maximale du modèle de colis.

Conformément à la réglementation, le colis doit subir le cumul des épreuves de chutes des conditions normales et accidentelles de transport.

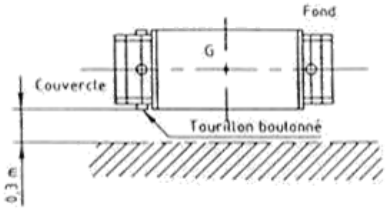
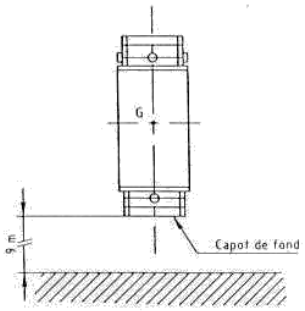
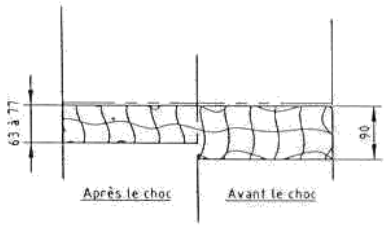
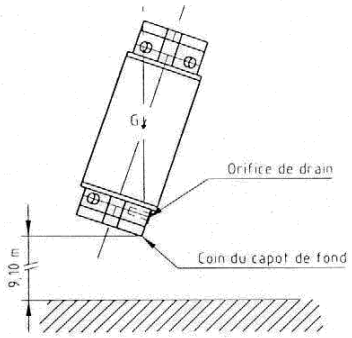
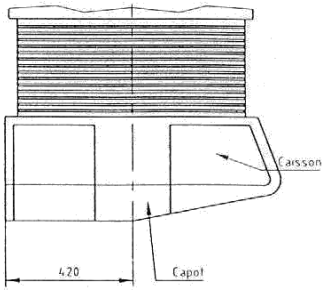
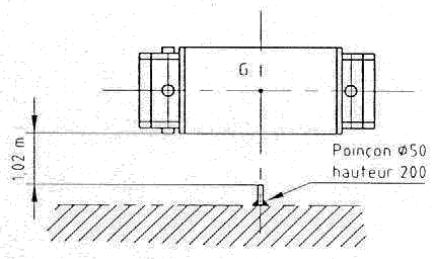
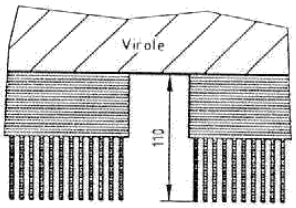
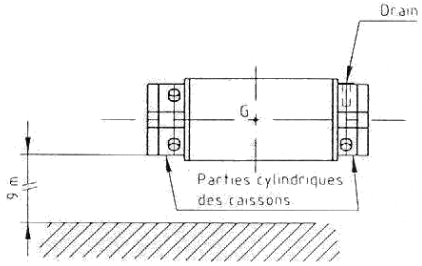
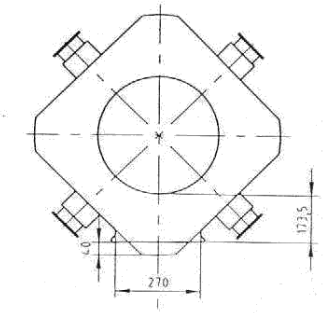
Trois séries d'essais ont été réalisées ; deux séries avec le capot de fond n° 1 et une série avec le capot de fond n° 2. La première maquette est une réplique à l'échelle 1/3 de l'emballage TN®12/1, munie d'un prolongateur : elle diffère de l'emballage TN®12/2 essentiellement par le système de fermeture. Néanmoins, les essais de chute effectués à l'aide de la maquette TN®12/1 et présentés ci-dessous couvrent également le cas du colis TN®12/2.

La première série d'essais a été effectuée à l'installation du BAM avec la maquette TN®12/1. Elle comporte 9 chutes, dont 5 seulement sont rapportées ci-après, à savoir :

- une chute de 0,30 m (essais n° 1),
- trois chutes de 9 m (essais n° 5, 6 et 9),
- une chute de 1,02 m sur poinçon (essai n° 7).

Ces cinq chutes sont résumées dans le tableau ci-dessous. Après chaque essai, un contrôle d'étanchéité à l'hélium a montré que le choc n'avait pas causé de fuite. En outre, les couples de desserrage ont été mesurés et ont montré qu'aucune vis n'avait été desserrée par le choc.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Numéro de l'essai	Orientation de la maquette TN®12/1	Déformations
1	 Horizontale sans capot	Léger aplatissement des supports de jupe. Trace de choc sur le tourillon boulonné, mais pas de déformation.
5	 Verticale sans capot de couvercle	Seul le capot de fond est déformé par le choc. 
6	 Inclinée sans capot de couvercle	Déformation du capot et du caisson du fond. 
7	 Horizontale avec ses capots	Déformation des ailettes de cuivre et de la couche de résine. 
9	 Horizontale avec ses capots, à mi-distance entre les tourillons	Déformation des capots et caissons. 

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

La seconde série d'essais a été effectuée à l'installation de la COGEMA avec la maquette TN®12/2. Elle comporte 5 chutes, à savoir :

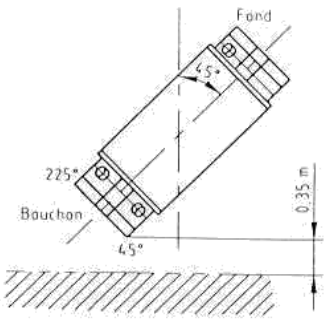
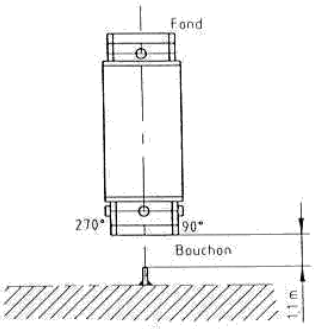
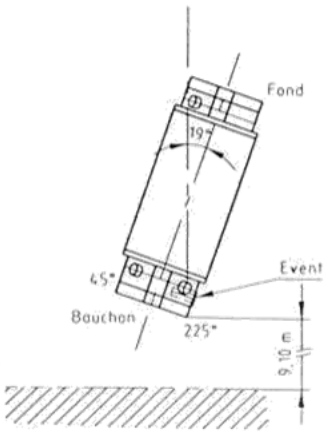
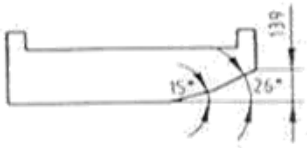
- une chute de 0,35 m (essai n° B-1),
- trois chutes de 9,10 m (essais n° B-3, B-4 et B-5),
- une chute de 1,10 m sur poinçon (essais n° B-2).

On peut observer que les hauteurs de chute sont légèrement supérieures aux valeurs réglementaires ; ceci compense en partie l'éventuel excédent de masse du colis TN®12/2 par rapport à celui de la maquette selon le rapport de similitude.

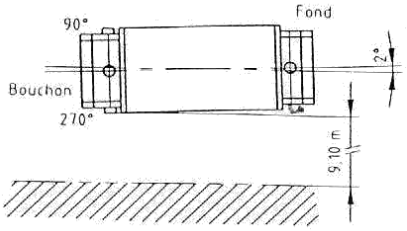
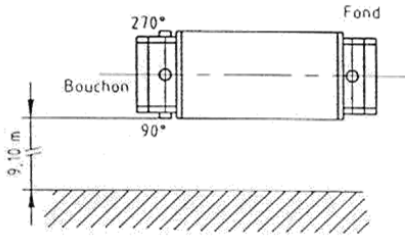
Ces cinq chutes sont résumées dans le tableau ci-dessous. Le contrôle d'étanchéité effectué après chaque chute a montré que le choc n'avait pas causé de fuite.

Il convient de mentionner que, du fait de l'endommagement du corps de la maquette avant la seconde série d'essais de chute, le capot de fond n'a pu être fixé que par 2 vis au lieu des 8 prévues dans le concept TN®12/2. À cause de cette fixation insuffisante, les 2 vis se sont rompues et le capot de fond s'est détaché au cours de l'essai n° B-4. En conséquence, pour l'essai n° 5, le capot de fond a été remplacé par une plaque d'acier octogonale sensiblement de même poids, qui a été fixée par vis pénétrant dans des trous filetés percés à même le fond massif.

Les couples de desserrage mesurés ont montré qu'aucune vis n'avait été desserrée par le choc.

Numéro de l'essai	Orientation de la maquette TN®12/2	Déformations
B-1		Léger aplatissement du coin du capot de bouchon. Léger aplatissement du support de jupe côté fond au cours du rebond.
B - 2		Perforation du capot de bouchon au voisinage de son centre (après l'impact, la maquette est restée fichée en position verticale sur le pion).
B - 3		Écrasement du coin du capot de bouchon selon deux plans (à cause d'un rebond) formant des angles de 15° et 26° respectivement par rapport au plan de la face interne initiale.  Lors du basculement léger écrasement du support de jupe, du caisson et du capot côté fond.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Numéro de l'essai	Orientation de la maquette TN®12/2	Déformations
B-4		Rupture et écrasement des 2 tourillons inférieurs. Écrasement supplémentaire des supports de jupe. Flexion supplémentaire des ailettes de cuivre entre les parties aplaties des supports de jupe.
B - 5		Rupture et écrasement du tourillon inférieur. Écrasement supplémentaire des supports de jupe. Flexion supplémentaire des ailettes de cuivre entre les parties aplaties des supports de jupe.

Les résultats des essais montrent que l'emballage conserve son étanchéité, son blindage et ses dimensions après une chute règlementaire de 9 m sur un sol indéformable, quelle qu'en soit l'orientation. Il en ressort également que la forme des tourillons permet leur écrasement pendant l'impact, sans risques pour le corps.

La tenue des aménagements internes lors des chutes et les hypothèses géométriques sur lesquelles sont basées les études de criticité et l'analyse thermique sont vérifiées.

Les résultats de ces essais montrent également que l'emballage TN®12/2 résiste à l'épreuve réglementaire de chute de 1 m sur poinçon.

La troisième série d'essais montre la validation du capot de fond n° 2 dans le cadre de son utilisation sur l'emballage TN®12/2.

Le comportement du capot de fond concept n° 2 en chute verticale axiale de 9 m de l'emballage TN®12/2 est couvert par celui du capot de fond concept n° 1.

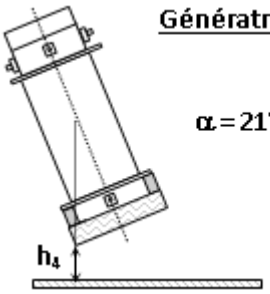
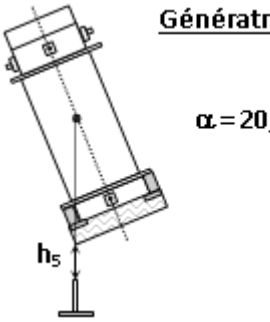
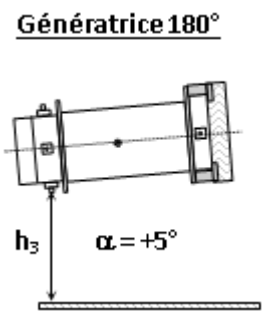
Le comportement du capot de fond concept n° 2 en chute verticale oblique de l'emballage TN®12/2 est couvert par celui du capot de fond concept n° 1.

Un modèle numérique a permis de déterminer l'angle d'incidence et la génératrice de chute les plus pénalisants. Des essais réalisés avec la maquette d'emballage TN®13/2 version B échelle 1/3 munie du capot de fond concept n° 2 démontrent la bonne tenue de la fixation de ce capot sur l'emballage. L'emballage TN®12/2 étant plus léger que l'emballage TN®13/2 et la fixation du capot de fond concept n° 2 étant identique pour les deux emballages, la tenue de fixation du capot de fond concept n° 2 sur l'emballage TN®12/2 est garantie dans les conditions accidentelles de transport.

La série d'essais comporte 3 chutes :

- une chute de 0,3 m sur capot de fond concept n° 2 avec une incidence de 21° par rapport à la verticale, suivant la génératrice 0°, (essai n° 4),
- une chute de 1 m sur poinçon, le point d'impact est au centre du bloc aluminium situé sur la génératrice 0° du capot de fond concept n° 2, avec une incidence de 20,5° par rapport à la verticale (essais n° 5),
- une chute de 9 m avec une incidence de 5° par rapport à l'horizontale (premier impact côté tête) suivant la génératrice 180° (tourillon avant – capot de fond concept n° 2) (essais n° 3).

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Numéro de l'essai	Orientation de la maquette TN®13/2	Déformations
4	 Chute de 0,3 m	Faible endommagement du capot de fond concept n°2 conformément à l'attente.
5	 Chute de 1 m sur poinçon	La chute sur poinçon n'a pas entraîné de déformations notables du bloc aluminium central qui est resté en place dans son caissonnage en acier.
3	 Chute de 9 m	Le capot de fond concept n° 2 est resté en place. Seule une vis située du côté de la génératrice d'impact a été cisaillée.

Lors des chutes verticales axiale et oblique de 9 m, les accélérations subies par l'emballage TN®13/2 muni du capot de fond concept n° 2 sont inférieures aux accélérations subies par l'emballage TN®13/2 muni du capot de fond concept n° 1.

Par ailleurs, le maintien de la fixation de capot de fond concept n° 2 sur l'emballage après les chutes horizontales de 9 m est démontré.

Enfin, on démontre que l'effet de fouettement lors d'une chute horizontale de 9 m avec faible angle d'incidence ne remet pas en cause l'étanchéité du système de fermeture.

Analyses complémentaires

La tenue à la rupture fragile de l'emballage a également fait l'objet d'une analyse. Il est démontré que le choix des matériaux utilisés dans la fabrication de la virole de l'enceinte de confinement et de la bride de bouchon écarte le risque de rupture fragile à - 40°C.

La tenue de l'emballage aux épreuves règlementaire d'immersion à une profondeur de 200 m pendant une heure, de 0,9 m pendant 8 heures est étudiée. Il est démontré que l'enceinte de confinement reste intègre et ne se déforme pas.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE

Les chapitres 2 et 2A et leurs annexes présentent l'ensemble des analyses thermiques du modèle de colis TN®12/2.

4.1. Conditions normales de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

La caractéristique utilisée dans cette étude est la puissance thermique maximale donnée dans la définition du contenu autorisé.

Le contenu du colis considéré pour l'analyse thermique couvre l'ensemble des contenus autorisés.

La présence d'au moins un crayon inétanche est également pris en compte.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

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

- la version de l'emballage (A ou B) qui influe sur l'épaisseur de résine,
- la variante de la version de l'emballage qui influe sur l'épaisseur de la virole au-delà de la zone ailetée,
- les matériaux et la géométrie du panier,
- la géométrie des ailettes en cuivre,
- la cavité de l'emballage est remplie d'air, d'hélium ou d'azote.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- la température ambiante réglementaire,
- l'ensoleillement réglementaire appliqué de manière pénalisante 24h/24h,
- le positionnement horizontal du colis,
- les échanges thermiques se font par conduction, rayonnement et convection,
  - le rayonnement entre le colis et l'extérieur est pris en compte,
  - les échanges à l'intérieur des jeux sont pris en compte (rayonnement et conduction),
- un gradient circonférentiel est pris en compte,
- la puissance thermique du contenu est répartie selon un profil axial de puissance thermique normalisé,
- le positionnement de la partie active des assemblages dans les logements du panier est choisie de façon à majorer les températures des joints de l'emballage. Le dépassement des parties actives du panier est également étudié.

L'analyse thermique de l'emballage TN®12/2 vide est réalisée sur la base des résultats d'essais thermiques réalisés sur un emballage TN®12/1.

Méthode d'analyse

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

La puissance des assemblages combustibles est directement appliquée sur les parois des logements du panier. Le profil de puissance thermique des assemblages combustibles est pris en compte.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

La puissance des déchets activés d'exploitation (DAE) est appliquée de manière volumique à l'intérieur des étuis des déchets sur une hauteur égale à la longueur de la partie la plus activée des déchets activés d'exploitation.

Résultats de l'étude

La température maximale des joints d'étanchéité permet de justifier leur non-endommagement sur un nombre de cycles de transport compatible avec la fréquence de remplacement en maintenance. Par ailleurs, la dilatation des joints à fort taux de remplissage dans leur gorge entraîne un taux de remplissage proche de 100%, ce qui est acceptable.

La température maximale de la résine neutrophage reste inférieure à sa limite d'utilisation.

4.2. Conditions accidentelles de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

La caractéristique utilisée dans cette étude est la puissance thermique maximale donnée dans la définition du contenu autorisé.

Le contenu du colis considéré pour l'analyse thermique est le même que celui considéré dans les conditions normales de transport.

L'étude des contenus présentant au moins un crayon inétanche est couverte par celle des contenus sans crayons inétanches (puissance thermique supérieure).

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

L'analyse thermique du colis TN®12/2 en conditions accidentelles de transport est effectuée en considérant l'état du colis tel que considéré pour l'analyse thermique en conditions normales de transport avec les différences suivantes :

- la perte du capot de fond cumulée avec le poinçonnement du caisson à hauteur des orifices de drainage pour les contenus transportés dans un emballage équipé d'un capot de fond de concept n° 1,
- le poinçonnement des caissons et du capot de fond à hauteur des orifices de drainage pour les contenus transportés dans un emballage équipé d'un capot de fond de concept n° 2.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- application d'une température de 800°C pendant 30 minutes autour du colis conformément à la réglementation,
- le positionnement horizontal ou vertical du colis,
- le tassement du réseau est pris en compte pour le calcul des températures des crayons des assemblages combustibles irradiés.

Méthode d'analyse

Le modèle est réalisé à l'aide du logiciel I-DEAS. Le calcul thermique est réalisé selon la méthode des volumes finis avec le module TMG interfacé avec I-DEAS.

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

- 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 système de fermeture.
- Pendant la période réglementaire de 30 minutes, le feu est simulé par :
  - une température ambiante réglementaire de 800°C,
  - un coefficient d'échange convectif égal à 10 $W.m^{-2}.K^{-1}$ représentatif d'une convection forcée sur l'ensemble des parois (hors zone ailetée).

Les résultats intègrent l'influence du gradient circonférentiel.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Résultats de l'étude

La température maximale des joints d'étanchéité permet de justifier leur non-endommagement. Par ailleurs, la dilatation des joints à fort taux de remplissage dans leur gorge entraîne un taux de remplissage proche de 100%, ce qui est acceptable.

5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT

Le chapitre 3A et ses annexes présentent l'ensemble des analyses de relâchement d'activité du modèle de colis TN®12/2 vide et chargé de ses contenus. L'enceinte de confinement est définie au paragraphe 2.3.

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 (^{3}H) et krypton (^{85}Kr) à travers les joints élastomères,
- Les fuites de gaz radioactifs,
- Les fuites de particules aérosols radioactives.

5.1. Conditions de transport de routine

En conditions de transport de routine, la pression d'utilisation normale maximale (MNOP) est négative ce qui prévient toute fuite vers l'extérieur.

5.2. Conditions normales de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Les sources radioactives sont déterminées sur la base de caractéristiques couvrant l'ensemble des contenus autorisés.

Dans le cas d'un transport avec au moins un crayon inétanche la quantité d'eau totale apportée par ce(s) crayon(s) est prise en compte.

Dans le cas d'un transport de déchets activés d'exploitation (DAE), le volume total des zones de rétention d'eau est considéré rempli d'eau dans l'analyse.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude :

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- le taux de fuite de l'enceinte de confinement défini au chapitre 6A et vérifié avant expédition,
- la pression maximale de remplissage du colis défini au chapitre 6A,
- la pression de vapeur saturante due à la présence d'eau dans les crayons inétanches et les étuis de déchets activés d'exploitation (DAE),
- les températures maximales des gaz et des joints issues du chapitre 2A et de ses annexes,
- le volume libre dans la cavité,
- la nature et la géométrie des joints des barrières d'étanchéité qui impactent les fuites par perméation.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Hypothèses importantes pour l'étude :

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- le taux de crayons ruptés en conditions normales de transport est de 5 % (avec ou sans assemblage combustible inétanche) pour le combustible usé, auxquels on ajoute 100% des crayons du carquois pour les contenus avec carquois et 2 % pour le MOX frais. Dans le cas du contenu de déchets activés d'exploitation (DAE) et celui du contenu de crayons sources secondaires (CSS), le taux de rupture de gaine en conditions normales de transport est de 100 %,
- la concentration maximale d'aérosols dans la cavité vaut 10^{-3} g/m^3. ,
- le taux de relâchement des gaz de fission (RGF) est conforme aux recommandations de l'ASN,
- la pression externe du colis est de 0,85 bar pour le combustible usé, les crayons sources secondaires ainsi que pour le contenu de déchets activés d'exploitation et 0,6 pour le MOX frais,
- la durée de transport maximale autorisée est :
  - 1 an pour les contenus REP 17 × 17 sans crayon inétanche au chargement,
  - 60 jours pour les contenus REP 17 × 17 contenant au maximum un crayon inétanche, les crayons sources secondaires et le contenu de déchets activés d'exploitation (DAE),
  - sans limitation pour le contenu REB MOX frais.

Méthode de calcul :

La méthodologie décrite dans la norme ISO 12807 est basée sur un scénario en 2 phases :

A. La phase de rentrée d'air : pendant la durée de transport, la pression atmosphérique est supposée majorante (1,04 bar absolu).

   Le colis étant en dépression, le flux de fuite se fait de l'extérieur vers l'intérieur, et augmente la pression dans la cavité. Il n'y a pas de relâchement d'activité pendant cette phase.

B. La phase de relâchement d'activité : à la fin de la période de transport, la pression atmosphérique chute brutalement à 0,85 bar. Cette fois, le flux de fuite se fait de l'intérieur vers l'extérieur. Le relâchement d'activité reste inférieur au critère réglementaire de 10^{-6} A_2/h.

Résultats de l'étude :

Le critère réglementaire est respecté.

5.3. Conditions accidentelles de transport

Les différences principales avec le calcul en conditions normales de transport sont les suivantes :

- le taux de crayons ruptés en conditions accidentelles de transport est de 100%,
- les températures maximales des gaz et des joints sont issues des calculs thermiques en conditions accidentelles de feu,
- la concentration maximale d'aérosols dans la cavité vaut 9 g/m^3 durant la première demi-heure puis 10^{-1} g/m^3 ensuite,
- la pression externe du colis est de 0,6 bar.

Les résultats montrent une marge significative par rapport au critère réglementaire de 1 A_2 cumulé sur une semaine (contenu combustible usé, MOX frais et CSS).

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Dans le cas d'un transport déchets activés d'exploitation (DAE), il est supposé une perte d'étanchéité du colis. Néanmoins, la valeur d'activité totale susceptible d'être mise en suspension dans la cavité ne dépasse pas $1A_2$.

Dans le cas d'un transport avec un crayon inétanche, de l'eau résiduelle peut subsister à l'intérieur du crayon. La radiolyse de cette eau conduit à générer du dihydrogène. La quantité de gaz produite doit rester inférieure à la limite inférieure d'inflammabilité dans la cavité, qui est déterminée en considérant les températures maximales des gaz issues de l'étude thermique en conditions accidentelles de transport. Dans le cas d'assemblages irradiés transportés avec mesures de H_2, cette limite sert de critère pour les mesures d'hydrogène requises avant expédition (voir paragraphe 8), permettant le calcul de la durée de transport. Dans le cas d'assemblages irradiés transportés sans mesure de H_2 et dans le cas de CSS, cette limite sert à démontrer qu'il n'y pas de risque d'inflammation du H_2 produit sur la base des volumes d'eau potentiels et de la durée maximale de fermeture de l'enceinte de confinement.

Dans le cas d'un transport avec un étui de déchets activés (DAE) présentant une zone de rétention d'eau, de l'eau résiduelle peut subsister à l'intérieur du déchet activé. La radiolyse de cette eau conduit à générer du dihydrogène. La quantité de gaz produite doit rester inférieure à la limite inférieure d'inflammabilité dans la cavité, qui est déterminée en considérant les températures maximales des gaz issues de l'étude thermique en conditions accidentelles de transport. Dans le cas d'une cavité remplie en air, cette limite sert de critère pour les mesures d'hydrogène requises avant expédition (voir paragraphe 8), permettant le calcul de la durée de transport. Dans le cas d'un remplissage en hélium, cette limite sert à démontrer qu'il n'y pas de risque d'inflammation du H_2 produit sur la base notamment du volume des zones de rétention d'eau et de la durée maximale de fermeture de l'enceinte de confinement.

6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION

Le chapitre 4A et ses annexes présentent l'ensemble des analyses des débits d'équivalent de dose externes du modèle de colis TN®12/2.

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

- Conditions de transport de routine :
  - 2 mSv/h en tout point de la surface externe du colis.
- Conditions normales de transport :
  - la perte de l'intégrité de la protection radiologique suite aux épreuves des conditions normales de transport ne doit pas résulter en une augmentation de plus de 20% de l'intensité de rayonnement en tout point de la surface externe du colis pour les contenus agréés selon <1>,
  - l'intensité de rayonnement maximale en tout point de la surface externe du colis ne doit pas augmenter de plus de 20% suite aux épreuves des conditions normales de transport pour les contenus agréés selon <2>.
- Conditions accidentelles de transport :
  - 10 mSv/h à 1 m de la surface externe du colis.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

6.1. Conditions de transport de routine

Pour le transport de combustibles usés le respect des critères en CRT avant chargement est vérifié par des calculs prenant en compte les caractéristiques réelles des contenus, conformément aux prescriptions du chapitre 6A.

Pour le transport de MOX frais ou crayons sources secondaires, la démonstration du respect des critères des conditions de transport de routine est effectuée par calculs en considérant les caractéristiques du colis telles que décrites aux chapitres 0 et 0A. Une homogénéisation du milieu résine/ailette est considérée.

Pour le transport des déchets activés d'exploitation (DAE), les sources de rayonnement du contenu radioactif maximal sont limitées par la définition d'un système d'inéquations présenté dans la définition du contenu permettant de garantir le respect des critères de débits d'équivalent de dose au contact du colis en CTR. De plus, avant chargement des étuis, le respect des critères réglementaires de débits d'équivalent de dose en conditions de transport de routine à 2 m du véhicule ou moyen de transport est vérifié par calcul en tenant compte des caractéristiques réelles du contenu.

6.2. Conditions normales de transport

La démonstration du respect des critères après les chutes réglementaires des conditions normales de transport prend en compte les hypothèses géométriques pénalisantes.

L'augmentation des débits de dose due à la perte de l'intégrité de la protection radiologique suite aux épreuves de conditions normales de transport est inférieure à 20% en tout point de la surface externe du colis.

Le critère des conditions normales de transport est donc respecté.

6.3. Conditions accidentelles de transport

Paramètres du contenu importants pour l'étude

Concernant les combustibles usés :

L'étude est réalisée avec des contenus enveloppes du point de vue radioprotection.

Les caractéristiques enveloppes pénalisantes suivantes sont retenues :

- taux de combustion moyen maximal,
- enrichissement en ^{235}U minimal,
- vecteur majorant les teneurs de ^{238}Pu, ^{241}Pu et ^{241}Am,
- temps de refroidissement minimal,
- masse de métal lourd maximale.

Concernant les combustibles MOX :

- Pour le contenu 13, l'étude est réalisée avec un contenu représentatif. Les marges disponibles vis-à-vis des critères règlementaires sont significatives (marge supérieure à 10).
- Pour le contenu 23, l'étude est réalisée avec le contenu enveloppe d'un point de vue radioprotection.

Concernant les crayons sources secondaires, l'étude est réalisée avec un contenu enveloppe d'un point de vue radioprotection.

Concernant les déchets activés d'exploitation (DAE), il est justifié que le contenu radioactif maximal prévu pour le colis défini par les inéquations respecte le critère réglementaire de débit d'équivalent de dose à un mètre en conditions accidentelles de transport.

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

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Concernant les combustibles usés :

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

- le capot de tête est perdu et le capot de fond est en place,
- l'épaisseur de résine en partie courante est diminuée de 28% (version A de l'emballage),
- 10 mm d'épaisseur de résine sont carbonisés pour une épaisseur totale de 120 mm,
- l'épaisseur de bois du capot de fond est considérée égale à 150 mm au lieu de 281 mm.

Concernant les étuis de déchets activés d'exploitation (DAE), les endommagements de l'emballage considérés en conditions accidentelles de transport sont les suivants :

- les capots de tête et de fond ont disparu,
- l'épaisseur de résine en partie courante est diminuée de 32,5% (version A de l'emballage) ou 50% (version B de l'emballage),
- 10 mm d'épaisseur de résine sont carbonisés pour une épaisseur totale de 120 mm.

Concernant les combustibles MOX frais, il a été supposé que la résine et le balsa des capots avaient totalement disparu suites aux épreuves réglementaires de feu.

Concernant les crayons sources secondaires, les endommagements de l'emballage considérés en conditions accidentelles de transport sont les suivants :

- les capots de tête et de fond ont disparu,
- la résine en partie courante est considérée totalement détruite,
- 10 mm d'épaisseur de résine sont carbonisés pour une épaisseur totale de 120 mm.

En l'absence de démonstration formelle de la tenue des crayons sources secondaires et de manière très pénalisante, la matière est représentée sous forme de boule au fond de l'emballage, sous le panier, qui lui est intègre.

La dégradation de la résine prise en compte dans les calculs en conditions accidentelles de transport est très pénalisante par rapport à l'altération de la résine suite aux épreuves mécaniques et thermiques et à l'éventuel vieillissement de la résine.

Méthode de calcul

L'analyse de blindage du modèle de colis TN®12/2 est effectuée à l'aide des codes de calcul suivants pour les combustibles usés :

- ORIGEN ARP pour le calcul des sources neutrons et gamma,
- APOLLO 2.5 pour les calculs d'activation du ^{59}Co,
- TRIPOLI 4.4 pour le calcul des débits d'équivalent de dose.

L'analyse est effectuée à l'aide des codes de calcul suivants pour les combustibles MOX frais :

- ORIGEN 2.1 pour le calcul des sources neutrons,
- « BND » ACTIV-PA ou ORIGEN 2.1 pour le calcul des sources gamma,
- MERCURE 5.2 ou MERCURE 6.3 pour les débits de dose gamma,
- SN1D pour les débits de dose neutrons et gamma de capture.

L'analyse est effectuée à l'aide des codes de calcul suivants pour les crayons sources secondaires (CSS) :

- ORIGEN ARP pour le calcul des sources gamma,
- TRIPOLI 4.7 pour le calcul des débits d'équivalent de dose.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

L'analyse est effectuée à l'aide des codes de calcul suivants pour les déchets activés d'exploitation (DAE) :

- ORIGEN ARP pour la détermination des spectres gamma,
- TRIPOLI 4.7 pour le calcul des débits d'équivalent de dose.

Résultats de l'étude

En conditions accidentelles de transport, le colis TN®12/2 respecte le critère de débit de dose réglementaire des conditions accidentelles de transport dès lors que les débits d'équivalent de dose mesurés autour du colis avant expédition respectent les limites réglementaires.

7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SÛRETÉ-CRITICITÉ

Le chapitre 5A et ses annexes présentent l'ensemble des analyses de sûreté-criticité du modèle de colis TN®12/2.

La sûreté-criticité doit être assurée suivant la réglementation <1> ou <2> pour :

- un colis isolé dans les conditions de transport de routine,
- un colis isolé dans les conditions normales de transport,
- un colis isolé dans les conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport,
- un réseau de 5N colis dans les conditions normales de transport,
- un réseau de 2N colis dans les conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport.

Par la suite, on entend par colis « non endommagé » l'état du colis à l'issue des épreuves des conditions normales de transport. On entend par colis « endommagé » l'état du colis à l'issue des épreuves des conditions normales de transport, suivies des épreuves des conditions accidentelles de transport.

Les critères de sous-criticité pénalisants retenus sont les suivants :

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

La configuration colis endommagé est enveloppe de la configuration colis non endommagé.

Pour les combustibles irradiés, l'analyse de sûreté-criticité se limite au cas d'un colis isolé endommagé avec pénétration d'eau limitée (colis isolé endommagé).

Pour les assemblages REP MOX frais, la configuration étudiée est celle d'un colis isolé endommagé avec pénétration d'eau limitée. La configuration où l'emballage est équipé du capot de fond n° 2 enveloppe de celle où l'emballage est équipé du capot de fond n° 1 vis-à-vis des endommagements subis par le panier.

Pour les assemblages REB MOX frais, la configuration étudiée est celle d'un colis isolé dans les conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

7.1. Colis isolé

Géométrie du modèle

De façon très pénalisante, la géométrie étudiée pour les combustibles irradiés suppose :

- la disparition des matériaux de structure (panier, emballage, structure des assemblages) qui limitent la réactivité du colis par leur géométrie et la présence d'absorbant neutronique,
- la ruine totale du combustible sous forme de matière fissile, modélisée sous forme de sphère afin de minimiser les fuites neutroniques.

Pour les assemblages combustibles de type REP frais en panier M931, en l'absence de dispersion de matière on considère un cas enveloppe avec les hypothèses suivantes :

- la quantité d'eau qui peut pénétrer dans la cavité est limitée à 5 litres,
- les assemblages et les crayons peuvent glisser et un foisonnement du réseau est possible.

Pour les assemblages combustibles de type REB frais en panier M933,

- le colis immergé dans l'eau (l'eau pénètre dans tous les espaces libres de la cavité, y compris entre les crayons),
- une dispersion de 2,8 kg de matière fissile des crayons ruptés, les assemblages et les crayons peuvent glisser et un foisonnement du réseau est possible.

Milieu fissile

Pour les combustibles irradiés, de manière pénalisante, les assemblages combustibles sont considérés totalement ruinés.

Seule la matière fissile est modélisée et dispersée sous forme d'un milieu hétérogène sphérique composé de sphérules d'oxyde d'uranium de rayons variables immergés dans l'eau.

La description hétérogène de la matière fissile permet de majorer la réactivité du colis.

Une masse maximale de métal lourd enveloppe du colis et l'enrichissement maximal du combustible sont considérés.

Pour les assemblages combustibles MOX, les teneurs initiales maximales en plutonium et le vecteur pénalisant sont considérées.

Hypothèses importantes pour l'étude

Le modèle d'emballage est constitué d'une barrière d'étanchéité réputée étanche à l'issue des épreuves réglementaires, dont les contrôles avant transport pour vérifier la bonne fermeture, le séchage et l'étanchéité sont renforcés pour se prémunir de l'erreur humaine et qui permet ainsi de considérer une introduction partielle d'eau dans la cavité.

On considère une quantité maximale d'eau dans le colis enveloppe de la quantité d'eau susceptible de pénétrer dans la cavité suite aux épreuves d'immersion :

- immersion sous une hauteur d'eau de 15 m pendant 8 heures à l'issue des épreuves réglementaires des conditions normales de transport,
- immersion sous une hauteur d'eau de 0,9 m pendant une semaine à l'issue des épreuves réglementaires des conditions accidentelles de transport.

Le colis étant isolé, il est entouré par une couronne d'eau de 200 mm d'épaisseur.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

Méthode de calcul

Les calculs ont été réalisés avec le schéma de calcul APOLLO2-MORET4.

L'analyse de sûreté-criticité se déroule en deux parties :

- la première partie consiste en l'étude des milieux fissiles et des milieux de structure, un jeu de sections efficaces est alors déterminé pour chaque matériau du colis,
- la seconde partie correspond au calcul du k_{eff} du colis se basant sur ces jeux de section efficace.

Résultats

Le critère de sûreté-criticité retenu pour un colis isolé $k_{eff} + 3\sigma \leq 0{,}950$ (toutes incertitudes comprises) est respecté dans tous les cas de chargement, en prenant en compte la capacité de l'emballage à limiter la pénétration d'eau.

7.2. Réseau de colis

La présence de viroles d'acier d'épaisseur importante (supérieure à 200 mm) permet une isolation neutronique entre colis adjacents. En conséquence, un empilement de colis, endommagés ou non, dans les trois directions et dans les conditions les plus réactives, présente une réactivité sensiblement égale à celle du colis isolé. L'étude du colis isolé couvre donc celle du réseau de colis, quel que soit le type de contenu transporté.

8. CONDITIONS D'UTILISATION

Le chapitre 6A et ses annexes présentent l'ensemble des instructions d'utilisation du modèle de colis TN®12/2.

L'emballage est conçu pour :

- être transporté à sec (avec des assemblages combustibles ou des crayons sources secondaires (CSS) ou des déchets activés d'exploitation (DAE)),
- être transporté avec une faible quantité d'eau dans sa cavité (cas de l'emballage vide : drainage non suivi d'un séchage de la cavité),
- être chargé verticalement en humide (cas de l'immersion en piscine ou de l'accostage sous piscine) et déchargé verticalement en humide (cas de l'immersion en piscine) ou déchargé verticalement à sec sous cellule, dans le cadre d'un transport de combustibles usés,
- être chargé et déchargé verticalement en humide (cas de l'immersion en piscine) ou déchargé verticalement à sec sous cellule, dans le cadre d'un transport de déchets activés d'exploitation (DAE),
- être chargé et déchargé verticalement à sec, dans le cadre d'un transport de combustibles frais ou de CSS.

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 combustibles, les crayons sources secondaires et les étuis de déchets activés d'exploitation (DAE) chargés doivent respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé,
- le drainage et séchage de la cavité,
- le remplissage de la cavité en air ou en gaz neutre (hélium ou azote) selon le contenu à une pression maximale définie,
- la bonne fermeture (couple de serrage des vis) et le niveau d'étanchéité (taux de fuite) de tous les composants constituant les deux barrières d'étanchéité,
- le taux de fuite cumulé sur l'ensemble des orifices de l'emballage (bouchon, évent, rinçage et drainage),

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

- l'ensemble des opérations effectuées pour vérifier le séchage, la fermeture des cavités et le niveau d'étanchéité du colis doit être contrôlé par une personne différente de celle qui les a réalisées afin de vérifier la conformité au respect des exigences,
- 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,
- dans le cas d'un transport avec au moins un crayon inétanche :

  Cas des contenus n° 2, n° 17, n° 19, n° 20 et n° 29 : des mesures dans le temps du taux de dihydrogène sont requises, afin de déterminer la durée maximale de transport sur la base de la Limite Inférieure d'Inflammabilité (LII) minimale définie. Les dispositions suivantes doivent être réalisées :

  - La durée maximale séparant la fermeture de l'ouverture de l'enveloppe de confinement ne doit pas excéder 60 jours,
  - L'expéditeur s'assure que le transporteur dispose du temps nécessaire (aléas compris) pour réaliser le transport. Le transporteur présente à l'expédition les garanties du respect de la durée de transport (hors aléas),
  - Après l'arrivée sur le site destinataire, le temps compté à partir de la fermeture de l'enveloppe de confinement de l'emballage jusqu'à son ouverture ne doit pas dépasser cette durée maximale diminuée de 7 jours.

  Cas des contenus n° 4, n° 27 et n° 30 : le transport peut être effectué sans mesure de taux de dihydrogène. Le nombre maximal de crayon inétanche au chargement impose le respect d'une puissance maximale par assemblage pour tous les assemblages du chargement, ainsi qu'un temps de fermeture de l'enceinte de confinement et une plage de pression de remplissage de la cavité en Hélium.

- dans le cas d'un transport avec au moins un étui de déchets activés d'exploitation (DAE) présentant au moins une zone de rétention d'eau :

  Cas du contenu n° 32 avec remplissage de la cavité en air : des mesures dans le temps du taux de dihydrogène sont requises, afin de déterminer la durée maximale de transport sur la base de la Limite Inférieure d'Inflammabilité (LII) minimale définie. Les dispositions suivantes doivent être réalisées :

  - La durée maximale séparant la fermeture de l'ouverture de l'enveloppe de confinement ne doit pas excèder 60 jours,
  - L'expéditeur s'assure que le transporteur dispose du temps nécessaire (aléas compris) pour réaliser le transport. Le transporteur présente à l'expédition les garanties du respect de la durée de transport (hors aléas),
  - Après l'arrivée sur le site destinataire, le temps compté à partir de la fermeture de l'enveloppe de confinement de l'emballage jusqu'à son ouverture ne doit pas dépasser cette durée maximale diminuée de 7 jours.

  Cas du contenu n° 32 avec remplissage de la cavité en helium : le transport peut être effectué sans mesure de taux de dihydrogène. Dans ce cas, l'activité maximale du chargement est limitée en fonction de la quantité d'eau résiduelle dans la cavité, du nombre d'étuis de déchets activés d'exploitation (DAE) dans le chargement ; un temps de fermeture de l'enceinte de confinement et une plage de pression de remplissage de la cavité en hélium sont alors imposés.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PÉRIODIQUE

Le chapitre 7A et ses annexes présentent notamment le programme d'entretien du modèle de colis TN®12/2.

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 ou la durée d'utilisation. Le programme d'entretien comprend notamment :

- le remplacement des joints des barrières d'étanchéité pour une durée compatible avec sa durée de vie,
- le contrôle de l'état des composants des systèmes vissés (barrières d'étanchéités, capots et tourillons),
- le contrôle liaison virole forgée – ailettes afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté,
- le contrôle des tourillons assurant la manutention et l'arrimage du colis, incluant la détection de défaut, le démontage des composants, et un test en charge après remontage.

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 doit être réparé ou justifié 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 QUALITÉ

Le chapitre 8A présente le système d'assurance de la qualité applicable au modèle de colis TN®12/2.

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, produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.

11. RÉFÉRENCES

<1> Règlement de transport des matières radioactives, norme de sûreté de l'Agence International de l'Énergie Atomique, n° SSR-6, édition 1985.

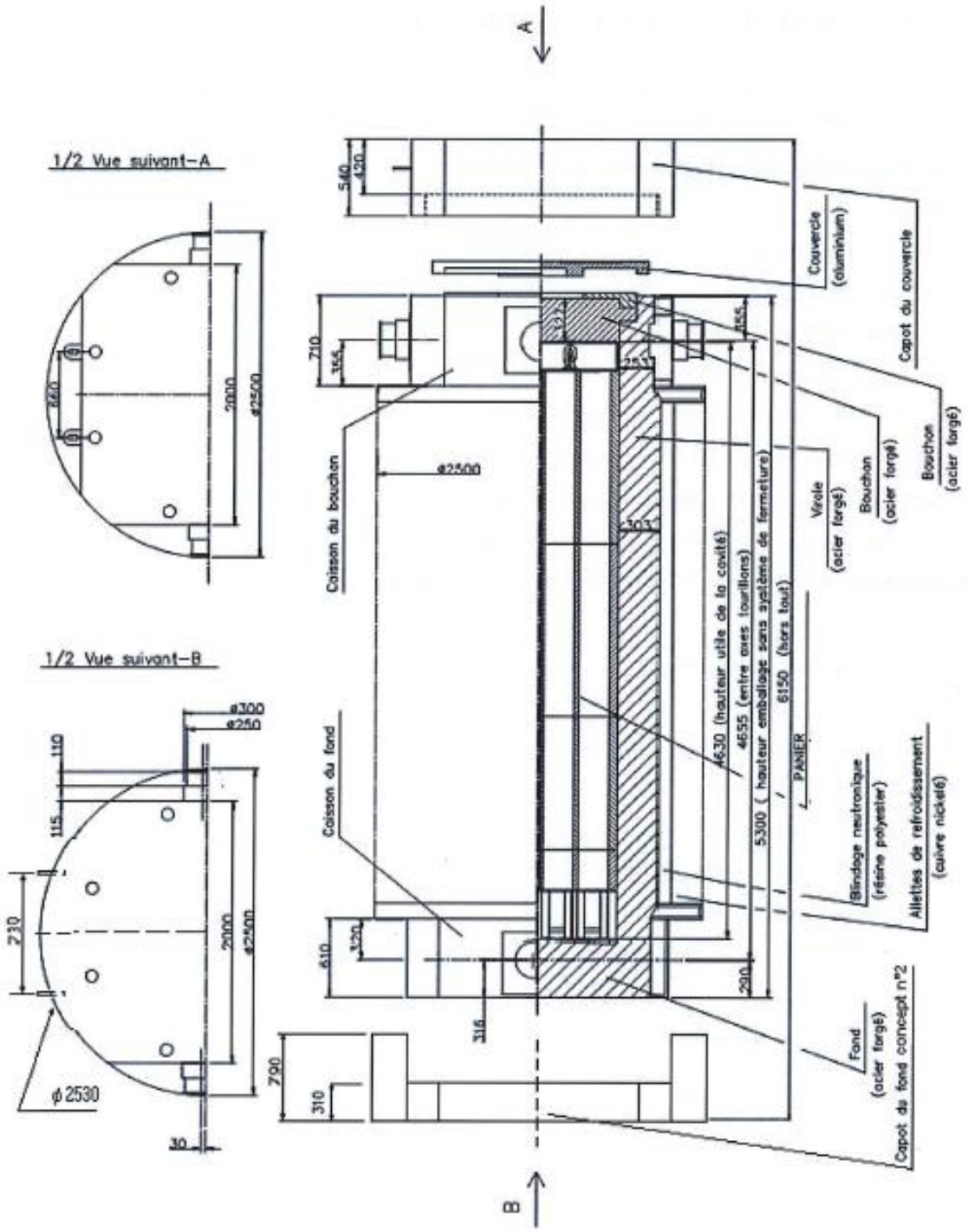
<2> Règlement de transport des matières radioactives, norme de sûreté de l'Agence International de l'Énergie Atomique, n° SSR-6, édition 2018.

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable

(Chapitre 00-1)

FIGURE 00-1.1

SCHÉMA DE L'EMBALLAGE TN®12/2 ÉQUIPÉ DU CAPOT DE FOND N° 2



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété d'Orano NPS et ne peuvent être communiqués, reproduits ou utilisés sans son autorisation écrite et préalable