



Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE

Référence du document :
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 1/25

DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TIRADE

FORMULAIRES ASSOCIES AU DOCUMENT	REFERENCE

Résumé

Ce document présente les solutions techniques retenues pour le transport de l'emballage TIRADE chargé de matières radioactives, fissiles ou non.

L'analyse de sûreté étudie la conformité du modèle de colis à la réglementation applicable aux colis de type B, transportés par voie routière.

Les éléments présentés dans cette analyse démontrent que le modèle de colis constitué par l'emballage TIRADE chargé de son contenu est conforme à la réglementation applicable aux colis de type B contenant des matières fissiles.

FONCTION				
NOM				
DATE				
VISA				
	REDACTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR	ÉMETTEUR



Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE

Référence du document :
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 2/25

Liste de diffusion

ENTITES

FONCTIONS

NOM

BDoc

DTEL / SGPE

██████████

██████████

DTEL / SGPE / GAET

██████████

██████████

DTEL / SGPE / GAET

██████████

██████████

DTEL / SGPE / GAET

██████████

██████████



Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE

Référence du document :
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 3/25

HISTORIQUE DES VERSIONS PRECEDENTES

INDICE	DATE D'APPLICATION	OBJET DE LA VERSION
CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01		
01	24/11/20	Edition originale
REF. : CEA-DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008		
A	cf. visa émetteur	Refonte du document pour la prorogation d'agrément



Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE

Référence du document :
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 4/25

SOMMAIRE

1. OBJET	6
2. REGLEMENTATION APPLICABLE	6
3. DEFINITION DE L'EMBALLAGE	6
3.1 DESCRIPTION GENERALE	6
3.2 Le corps	7
3.3 Le système de fermeture	8
3.4 Les capots amortisseurs	8
3.5 Manutention et arrimage	9
4. DEFINITION DES CONTENUS	9
5. DEFINITION DES FONCTIONS DE SURETE DU MODELE DE COLIS	10
6. EXPLOITATION DE L'EMBALLAGE	11
6.1 Instructions d'utilisation	11
6.1.1 Manutention	12
6.1.2 Arrimage	12
6.1.3 Contrôles	12
6.1 Instructions de maintenance	13
7. SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE	14
8. ILLUSTRATION DU COLIS	15
9. ANALYSE DE LA RESISTANCE STRUCTURELLE	16
9.1 Objectifs	16
9.2 Conditions de transport de routine	16
9.3 Conditions normales de transport	17
9.4 Conditions accidentelles de transport	18
9.5 Conclusion	18
10. ANALYSE THERMIQUE	18
10.1 Objectifs	18
10.2 Hypothèses de calcul	19
10.3 Résultats	19
10.4 Conclusion	19
11. ANALYSE DU CONFINEMENT	20



Démonstration de sûreté de l’emballage TIRADE

Référence du document :
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 5/25

11.1 Objectifs.....	20
11.2 Hypothèses de calcul	20
11.3 Conclusion.....	20
12. ANALYSE DE LA RADIOPROTECTION	21
12.1 Objectifs.....	21
12.2 Hypothèses de calcul	21
12.3 Conclusion.....	22
13. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE	22
13.1 Objectifs.....	22
13.2 Hypothèses de calcul	22
13.3 Conclusion.....	23
14. ANALYSE DES RISQUES SUBSIDIAIRES	23
14.1 Objectifs.....	23
14.2 Conclusion.....	24
15. CONCLUSION.....	25

INDEX DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Image de l’emballage TIRADE	15
--	----

	Démonstration de sûreté de l’emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 6/25

1. OBJET

Ce document présente les solutions techniques retenues pour le transport de l’emballage TIRADE chargé de matières radioactives, fissiles ou non.

L’analyse de sûreté étudie la conformité du modèle de colis à la réglementation applicable aux colis de type B(M) et B(M)F, transportés par voie routière.

2. REGLEMENTATION APPLICABLE

- [1] AIEA, Règlement de transport des matières radioactives, édition de 2018 – SSR-6.
- [2] ADR - Accord Relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Route, en vigueur au 1^{er} janvier 2023
- [3] Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif au transport des marchandises dangereuses par voies terrestre (arrêté TMD) en vigueur le 1er janvier 2023

3. DEFINITION DE L’EMBALLAGE

3.1 DESCRIPTION GENERALE

L’emballage est de forme générale cylindrique, utilisé et transporté en position verticale. Il est constitué principalement :

- d’un corps doté d’une cavité interne cylindrique autour de laquelle sont disposées les différentes épaisseurs de protections (notamment biologiques et thermiques) ; ce corps est également muni en partie inférieure d’un amortisseur soudé sur son fond externe,
- d’un couvercle de fermeture de la cavité, fixé par vis sur le corps,
- d’un capot amortisseur supérieur amovible, fixé par écrous sur le corps,
- d’un capot amortisseur inférieur amovible, fixé par écrous sur le corps.

L’emballage, afin de conditionner les contenus qu’il doit transporter, peut être chargé de différents types d’aménagements internes qui sont constitués de paniers métalliques, de bouchons plombés de protection biologique et d’éventuelles rehausses selon les configurations requises.

La forme générale cylindrique empêche toute rétention d’eau sur la surface externe de l’emballage. L’emballage est conçu de sorte à être facilement décontaminable : ses surfaces externes en acier inoxydable sont polies et ne présentent pas de zone de rétention.

Un schéma d’ensemble de l’emballage TIRADE est présenté au paragraphe 8 sur la Figure 1.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 7/25

Les principales dimensions de l'emballage sont les suivantes:

- hauteur hors tout de l'emballage : 2,2 m ;
- diamètre externe hors tout du corps : 1,5 m ;
- diamètre de la cavité intérieure : 1,1 m ;
- hauteur de la cavité intérieure : 0,8 m.

La masse maximale du colis chargé est de 20 140 kg.

3.2 LE CORPS

Le corps de l'emballage est constitué des éléments suivants :

- la cavité, en acier inoxydable, formée d'une virole interne, d'une bride massive supérieure et d'un fond plat, tous deux soudés sur la virole en pleine pénétration ;
- l'enveloppe intérieure entourée d'une protection radiologique en plomb qui joue le rôle de blindage ainsi que d'une protection thermique en compound qui joue le rôle d'absorbant neutronique.
- l'enveloppe externe en acier inoxydable constituée d'une virole fermée en partie basse par une plaque soudée en pleine pénétration.

Par ailleurs, le corps de l'emballage est équipé de divers éléments fonctionnels listés ci-après :

- un amortisseur, soudé sur le fond externe et constitué de bois gainé de manière étanche par une tôle en acier inoxydable, permet, conjointement avec le capot de protection amovible inférieur, d'absorber les chocs vis-à-vis des chutes. Il permet également d'assurer un amortissement contre les chocs en exploitation (lorsque le capot amovible de protection inférieur est démonté) ;
- deux chapes en acier inoxydable soudées diamétralement opposées sur la virole externe permettent la manutention verticale de l'emballage à l'aide d'un palonnier spécifique ;
- deux bras en acier inoxydable, soudés diamétralement opposés sur la virole externe et munis à chacune de leurs extrémités d'oreilles, permettent l'arrimage de l'emballage sur son moyen de transport ;
- deux collerettes en acier inoxydable, soudées sur la virole externe, permettent la fixation des deux capots de protection amovibles (inférieur et supérieur) sur le corps de l'emballage ;
- des bouchons fusibles qui fondent en cas d'incendie sont répartis sur la virole externe de l'emballage, permettant ainsi de libérer la vapeur d'eau créée par la déshydratation du matériau de la protection thermique.

La protection biologique de l'emballage intègre dans sa partie supérieure un caisson inox (en tôles mécano-soudées : deux viroles et une couronne) soudé sous la bride supérieure et rempli de plomb. Ce dispositif permet de limiter les effets d'un éventuel tassement du plomb en cas de chute axiale sur le capot inférieur.

	Démonstration de sûreté de l’emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 8/25

L’emballage intègre un dispositif de contrôle en maintenance des soudures de son enveloppe de confinement (la soudure longitudinale de la virole interne et les deux soudures circulaires de la virole interne respectivement sur le fond interne et la bride supérieure). Ces soudures sont doublées (côté plomb) de sorte à ménager un espace permettant de contrôler leur étanchéité (par test hélium ou remontée de pression par exemple). Cet espace est accessible (lorsque le capot de protection supérieur est retiré) par un orifice situé sur le côté de la bride supérieure, orifice obturé par un bouchon vissé muni de son joint d’étanchéité (ce ne sont pas des éléments de confinement).

3.3 LE SYSTEME DE FERMETURE

La fermeture de la cavité intérieure est constituée d’un couvercle en acier inoxydable comprenant :

- un système triple-joint composé de joints toriques, le joint central assurant le confinement et les joints externe et interne permettant de contrôler l’étanchéité du joint central,
- une vanne munie de deux joints toriques permettant d’avoir accès à l’espace inter-joint interne du triple-joint du couvercle (le joint inférieur de la vanne étant un joint de confinement, le joint supérieur étant un joint de contrôle),
- un bouchon d’étanchéité vissé muni de son joint permettant d’obturer l’accès à l’espace inter-joint externe du triple-joint du couvercle (accès nécessaire au contrôle de l’étanchéité du joint central),
- deux tapes d’accès aux raccords de connexion à la cavité interne de l’emballage, vissées par 6 vis sur le couvercle, chacune munie d’un double-joint et d’un bouchon d’étanchéité vissé muni de son joint (permettant d’obturer l’accès à leur espace inter-joint). Ces tapes permettent de protéger les raccords montés dans le couvercle (raccords auto-obturant mais ne participant pas au confinement des matières au sens de la réglementation des transports) et d’assurer le confinement de l’activité des matières transportées. Les raccords montés dans le couvercle permettent quant à eux d’accéder à la cavité de l’emballage (pour d’éventuelles prises d’échantillons d’air en partie haute ou en partie basse de la cavité, ou pour la dépressurisation interne avant ouverture par exemple).

Le couvercle est fixé sur le corps de l’emballage par 39 vis en acier inoxydable haute résistance. Il est orienté lors de sa mise en place sur le corps par un pion de positionnement (vissé dans la bride du corps) se logeant dans un orifice situé entre deux des 39 vis.

Le couvercle est muni sur sa face supérieure de trois taraudages équidistants permettant sa manutention (à l’aide d’anneaux vissés et d’élingues par exemple).

3.4 LES CAPOTS AMORTISSEURS

L’emballage est équipé en parties supérieure et inférieure de capots amortisseurs amovibles. Chaque capot est constitué :

- d’une enveloppe externe en acier inoxydable (capotage),
- d’une couronne de fermeture de l’enveloppe externe en acier inoxydable,

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 9/25

- de blocs de bois (balsa et tilleul) dont la géométrie, la densité et l'orientation des fibres sont définies de sorte à assurer l'amortissement du colis en cas de chute. Le bois des capots est ainsi gainé par une enveloppe inox étanche.

Le capot supérieur est également équipé :

- d'une tôle et de viroles anti-poinçon permettant de protéger la face supérieure du colis en cas de chute sur poinçon et de conserver une épaisseur de bois à l'abri des flammes,
- de deux tubes verticaux traversants et diamétralement opposés qui permettent le passage des bras d'un palonnier pour sa prise sur les chapes de manutention du corps de l'emballage.

Chacun des deux capots est fixé sur les collerettes du corps à l'aide de huit tiges filetées et de huit écrous : le maintien des écrous est assuré par la mise en place de goupilles (ou d'un scellé) empêchant leur dévissage. Les enveloppes en inox des capots sont munies de bouchons fusibles qui fondent en cas d'incendie et permettent ainsi de libérer les surpressions dans les capots.

3.5 MANUTENTION ET ARRIMAGE

Les deux bras soudés sur le corps de l'emballage et munis à chacune de leurs extrémités d'oreilles assurent l'arrimage de l'emballage sur son moyen de transport.

Deux chapes soudées sur la partie supérieure du corps de l'emballage permettent la manutention de l'emballage à l'aide d'un palonnier spécifique.

Le couvercle est muni sur sa face supérieure de trois taraudages permettant sa manutention.

4. DEFINITION DES CONTENUS

L'emballage TIRADE répond aux prescriptions réglementaires [1], [2] et [3] applicables au transport par route de colis de type B(M) ou B(M)F.

Le contenu radioactif se présente sous la forme de fûts cylindriques métalliques contenant des déchets issus de l'exploitation ou du démantèlement d'installations.

Les déchets contenus dans les fûts sont sous forme solide et sont constitués de matériaux divers, éventuellement radiolysables, ou thermolysables mais inertes chimiquement. Ils peuvent être contaminés et/ou irradiés et donc présenter tout type de radionucléides (émetteurs alpha / bêta / gamma). Ils peuvent également contenir des matières fissiles.

Les principaux matériaux pouvant être présents parmi les fûts de déchets sont listés ci-après à titre indicatif :

- matières plastiques et caoutchoucs divers (PE, PVC, vinyle, etc.),
- matières cellulosiques (coton, carton, tissus, etc.),
- déchets métalliques divers (ferreux et non ferreux),

	Démonstration de sûreté de l’emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 10/25

- verrerie de laboratoire, plexiglas, gravats,
- amiante,
- etc.

En revanche les fûts ne contiennent pas :

- de liquides (pas d’eau notamment),
- de matières putrescibles,
- de plutonium issu de séparation isotopique.

Aménagements internes

Le contenu peut être conditionné dans quatre types d’aménagements internes qui diffèrent selon le nombre de fûts de déchets transportés et permettent leur calage dans la cavité interne de l’emballage.

Ces aménagements internes sont constitués de paniers métalliques, de bouchons plombés de protection biologique et d’éventuelles rehausses selon les configurations requises.

5. DEFINITION DES FONCTIONS DE SURETE DU MODELE DE COLIS

L’emballage TIRADE, est conçu de manière à garantir les fonctions de sûreté décrites ci-après.

Dissipation de la puissance thermique interne

La dissipation de la puissance thermique interne est assurée par la présence d’une couche de plomb et une couche de compound qui composent le colis.

Confinement des matières radioactives

Le confinement est assuré par l’enveloppe de confinement constituée de la virole interne, de la bride massive supérieure et du système de fermeture.

	Démonstration de sûreté de l’emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 11/25

Protection radiologique

La protection radiologique est assurée par des épaisseurs de plomb, de compound et d’acier inoxydable en partie radiale (viroles intérieure et extérieure du corps) et en partie axiale inférieure de l’emballage (fond de la cavité interne et fond de l’enveloppe extérieure), et d’épaisseurs de plomb et d’acier inoxydable en partie axiale supérieure de l’emballage (bouchon, couvercle et tôle anti-poinçon du capot supérieur).

Maîtrise de la sûreté-criticité

La maîtrise de la sous-criticité est assurée par une limitation de la masse de matière fissile, par la présence de la virole interne en acier et la présence des épaisseurs de plomb, de compound et d’acier inoxydable autour de la cavité de l’emballage.

Protection contre les effets de l’incendie

La protection contre l’incendie est assurée par les épaisseurs de compound et le capot amortisseur supérieur en bois.

Protection contre les chocs

La protection contre les chocs est assurée par la virole externe et les capots amortisseurs supérieur et inférieur.

6. EXPLOITATION DE L’EMBALLAGE

6.1 INSTRUCTIONS D’UTILISATION

L’emballage TIRADE chargé de son contenu constitue un modèle de colis de type B(M) au sens de la réglementation. Pour effectuer les transports conformément aux exigences réglementaires et aux spécifications du dossier de sûreté, les trois contraintes suivantes doivent être respectées :

- lorsque les contenus transportés contiennent des matières radiolysables et/ou thermolysables, le temps de transport prévisionnel du colis ne doit pas excéder 5 jours (hors aléas de transports éventuels).
- les transports réalisés à l’aide du modèle de colis sont exclusivement des transports nationaux réalisés sous utilisation exclusive.
- la température ambiante sur toute la durée du transport et sur tout le trajet du transport ne doit pas descendre en dessous de -20°C. Un bulletin météorologique prévisionnel relatif au trajet du colis pourra faire office de validation avant départ du respect de cette exigence.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 12/25

6.1.1 Manutention

L'emballage TIRADE doit être manutentionné en position verticale. Il peut être manutentionné :

- vide ou chargé,
- avec ou sans ses capots amortisseurs (supérieur et /ou inférieur).

Il est manutentionné à l'aide d'un palonnier spécifique en prise sur les deux chapes soudées diamétralement opposées sur sa virole externe sous la collerette de fixation du capot supérieur.

Dans tous les cas, les moyens de manutention doivent être conformes à la réglementation.

La géométrie de l'emballage ne lui permet pas d'être gerbé (la face supérieure de son capot supérieur possède deux chapes de manutentions proéminentes et n'est donc pas plane). Il est interdit de gerber les emballages.

6.1.2 Arrimage

L'arrimage de l'emballage est assuré par ses 4 oreilles d'arrimage disposées à chacune des extrémités de ses deux bras d'arrimage.

Le colis doit être arrimé en position verticale sur son moyen de transport.

6.1.3 Contrôles

Un contrôle visuel de l'état général de l'emballage est à effectuer après chaque chargement ou déchargement :

- état des capots amortisseurs (et de leurs éléments de fixation, notamment vérification de la présence des goupilles sur les tiges filetées),
- état des surfaces externes de l'emballage,
- état des soudures des collerettes de fixation des capots,
- présence des bouchons fusibles des capots et de la virole externe,
- état des chapes et de leurs soudures,
- état et lisibilité du marquage de l'emballage.

De même, avant chaque transport, tous les éléments de l'enceinte de confinement ayant été ouverts depuis leur dernier contrôle d'étanchéité doivent faire l'objet d'un nouveau contrôle d'étanchéité.

Le bon état et la propreté des joints et portées de joints doivent être contrôlés lors du montage des éléments.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 13/25

6.2 INSTRUCTIONS DE MAINTENANCE

L'emballage, conformément aux prescriptions réglementaires, doit faire l'objet d'opérations d'entretien et de maintenance périodiques afin d'assurer sa conformité et donc de garantir la sûreté des transports réalisés.

Tous les 20 cycles de transport ou a minima tous les 4 ans (à la première des 2 échéances atteinte), les inspections et opérations d'entretien décrites ci-après sont à réaliser.

Un contrôle visuel de l'état général de l'emballage et de ses aménagements internes (AI) est à effectuer lors de cette maintenance périodique :

- état général : absence de chocs, de points de corrosion,
- état des capots amortisseurs,
- état des surfaces externes de l'emballage,
- état des soudures des collerettes de fixation des capots,
- état des soudures des AI (paniers et rehausses),
- état des bouchons principaux et secondaires de l'emballage,
- présence et état des bouchons fusibles des capots et de la virole externe,
- présence du bouchon de contrôle des soudures,
- état des chapes et de leurs soudures,
- état des tôles d'arrimage et de leurs soudures,
- état et lisibilité du marquage de l'emballage,
- état et lisibilité des marquages des pièces.

Les éléments de l'emballage doivent être démontés et inspectés visuellement :

- capots amortisseurs (inférieur et supérieur / notamment : vérification de l'état des tiges filetées de fixations, de leurs écrous et de leurs goupilles),
- couvercle de l'emballage,
- tapes de protection,
- bouchons d'étanchéité (et leurs joints),
- vanne et ses joints,
- raccords.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 14/25

En particulier :

- tous les éléments vissés doivent être inspectés, puis nettoyés et graissés, ou remplacés si nécessaire.
- tous les joints doivent être remplacés.
- les bouchons d'obturation des accès aux orifices de contrôle du couvercle et des tapes doivent être remplacés.
- toutes les gorges de joints et portées de joints de ces éléments doivent être inspectées et nettoyées.
- l'ensemble de la cavité interne doit être inspecté (absence de chocs, de points de corrosion, etc.).

En complément, les inspections suivantes doivent être réalisées sur les chapes de manutention, les tôles d'arrimage et le capot inférieur soudé de l'emballage :

- inspecter visuellement l'état général des tôles d'arrimage, des chapes de manutention, de l'enveloppe inox du capot inférieur soudé ainsi que de leurs soudures respectives (fissures, déformations, usure, corrosion).
- contrôler les soudures :
 - des chapes de manutention sur le corps de l'emballage,
 - des tôles d'arrimage sur le corps de l'emballage,
 - de l'enveloppe externe en inox du capot inférieur soudé sur le fond du corps de l'emballage.

Par ailleurs, tous les 80 cycles de transport ou a minima tous les 8 ans (à la première des 2 échéances atteinte), les inspections, essais et contrôles suivants sont à effectuer en complément de ceux cités au paragraphe précédent :

- essais en charge des chapes de manutention (essais statiques à 2 fois la charge),
- contrôles des chapes et de leurs soudures sur le corps de l'emballage après les essais en charge,
- contrôles des soudures des organes de manutention et d'arrimage.

7. SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE

Les réglementations de transport en vigueur font obligation d'appliquer des exigences de management de la qualité pour :

- la conception ;
- la fabrication et la qualification ;
- l'exploitation (chargement, transport, déchargement, entreposage en transit) ;
- la maintenance et la réparation.

Ces activités sont réalisées par différents acteurs (concepteur, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, constructeurs, utilisateurs, expéditeurs, transporteurs, sociétés de maintenance) qui doivent tous mettre en place des systèmes de management de la qualité adaptés, répondant aux exigences de l'un ou l'autre des documents en référence, et produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.



Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE

Référence du document :
DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008

DSS

Indice : A

Plan de classement : DTEL-SGPE-O4

Page 15/25

8. ILLUSTRATION DU COLIS

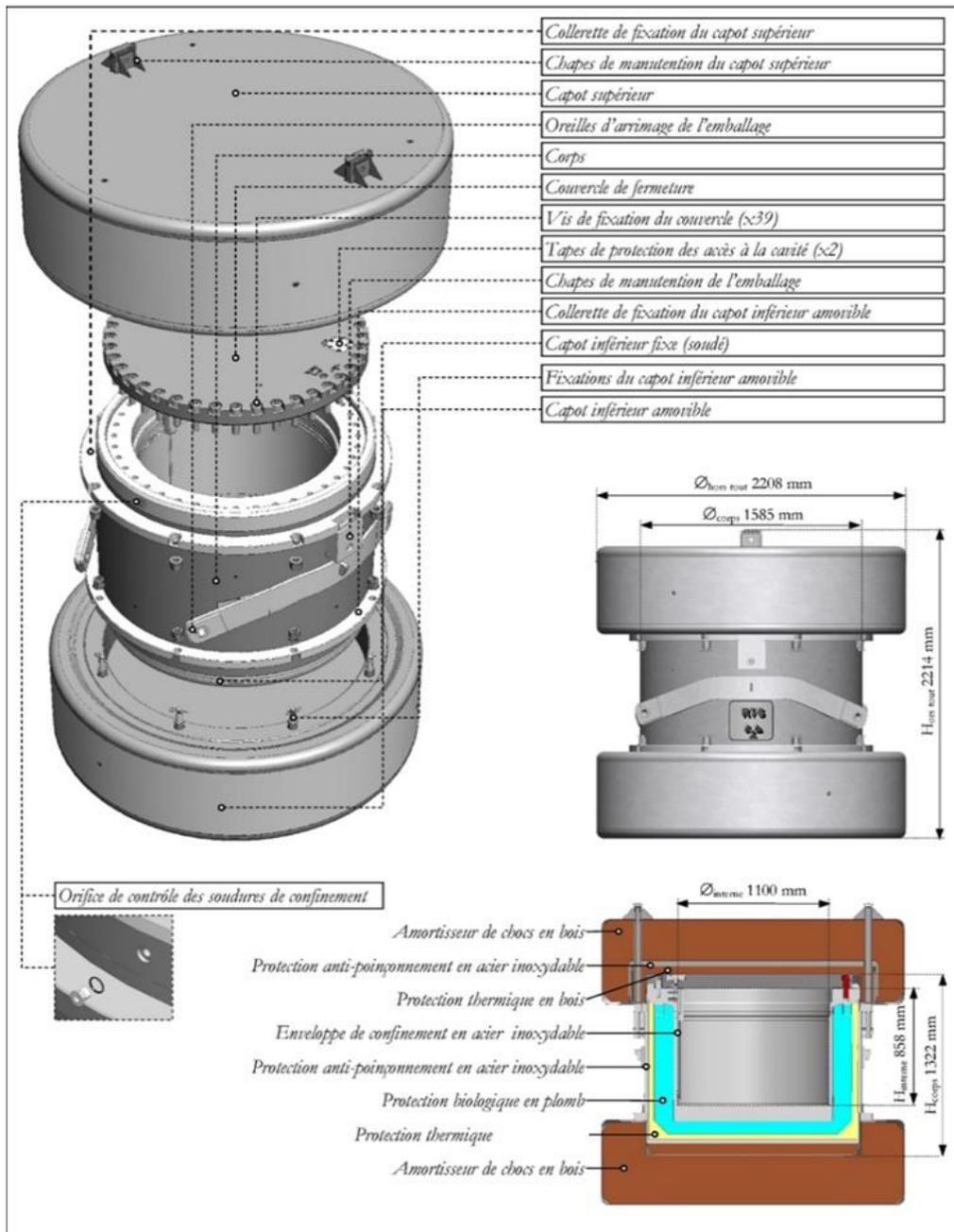


Figure 1 : Image de l'emballage TIRADE

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 16/25

9. ANALYSE DE LA RESISTANCE STRUCTURELLE

9.1 OBJECTIFS

Cette partie analyse le comportement mécanique du modèle de colis dans le cadre des épreuves réglementaires représentatives des Conditions de Transport de Routine (CTR), des Conditions Normales de Transport (CNT) et des Conditions Accidentelles de Transport (CAT), applicables aux colis de type B contenant des matières fissiles.

La démonstration de la tenue mécanique du colis aux épreuves mécaniques représentatives des CNT et des CAT et aux contraintes de son environnement s'appuie sur des essais de chutes ainsi que sur des simulations numériques. Elle est basée sur une masse de colis de 20 140 kg.

La conformité du modèle de colis est notamment examinée vis-à-vis des épreuves spécifiées par la réglementation [1], qui sont les suivantes :

- en Conditions de Transport de Routine (CTR) et habituelles de manutention :
 - la résistance des organes d'arrimage et de manutention,
 - la résistance à une pression interne dans l'enceinte de confinement ;
- en Conditions Normales de Transport (CNT) :
 - l'épreuve d'aspersion d'eau ;
 - l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 0,3 m ;
 - l'épreuve de gerbage ;
 - l'épreuve de pénétration ;
- en Conditions Accidentelles de Transport (CAT) :
 - l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 9 m sur cible indéformable,
 - l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 1 m sur poinçon.

9.2 CONDITIONS DE TRANSPORT DE ROUTINE

La conformité du modèle de colis en CTR au travers de :

- la résistance des organes d'arrimage et de manutention ;
- la résistance à une pression interne dans l'enceinte de confinement.

Arrimage et manutention

La résistance mécanique des organes d'arrimage est vérifiée en combinant les accélérations réglementaires verticales, longitudinales et transversales en transport routier.

La résistance mécanique des organes de manutention est étudiée dans les conditions d'utilisation cde l'emballage.

La résistance à la fatigue de l'emballage en conditions de manutention et de transport est évaluée.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 17/25

Les résultats démontrent la tenue des organes d'arrimage pour le transport routier et la tenue des organes de manutention de l'emballage.

Résistance à une pression interne

Les études justifient la résistance des composants de l'emballage pour une pression interne de 80 bar.

9.3 CONDITIONS NORMALES DE TRANSPORT

La conformité du modèle de colis en CNT est examinée vis-à-vis des épreuves réglementaires suivantes :

- l'épreuve d'aspersion d'eau ;
- l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 0,3 m ;
- l'épreuve de gerbage ;
- l'épreuve de pénétration.

Aspersion d'eau

La présence d'un système de joints permet d'assurer l'herméticité de l'emballage à la pénétration de l'eau. Aucun des matériaux susceptibles d'être mouillés (acier, joints) ne peut être dégradé par l'eau. Aucune dégradation de l'emballage ne peut résulter d'une telle épreuve.

Chutes libres d'une hauteur de 0,3 m

Les campagnes d'essais de chute montrent que l'emballage et ses aménagements internes résistent à cette épreuve sans altération de ses fonctions de sûreté.

Compression – gerbage

La face supérieure du capot amortisseur possédant deux chapes de manutention et n'étant donc pas plane, le colis ne se prête pas au gerbage. Toutefois les résultats des études démontrent que le modèle de colis résiste à l'épreuve de gerbage.

Pénétration

La tenue à la chute de l'emballage d'une hauteur de 1 m sur poinçon, chute plus pénalisante que l'épreuve de pénétration d'une barre de 6 kg chutant de 1 mètre sur l'emballage, permet de démontrer la tenue du modèle de colis à la pénétration.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 18/25

9.4 CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT

La conformité du modèle de colis en CAT est examinée vis-à-vis des épreuves réglementaires suivantes :

- l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 9 m ;
- l'épreuve de chute libre d'une hauteur de 1 m sur poinçon.

Les différentes campagnes d'essais de chute, réalisées à température ambiante, et confortées par des simulations numériques réalisées à -40°C et à $+70^{\circ}\text{C}$, montrent que le modèle de colis résiste aux épreuves mécaniques réglementaires (chute de 9 mètres et chute de 1 mètre sur poinçon). En particulier, le niveau d'étanchéité est maintenu et la géométrie de l'enceinte de confinement et des aménagements internes est conservée.

9.5 CONCLUSION

La résistance structurelle de l'emballage et de ses aménagements internes satisfont aux prescriptions réglementaires pour un modèle de colis de type B contenant des matières fissiles dans toutes les conditions de transport.

10. ANALYSE THERMIQUE

10.1 OBJECTIFS

Ce paragraphe présente l'analyse du comportement thermique du modèle de colis, en conformité avec la réglementation [1] pour les colis de type B.

Dans les études, il est tenu compte :

- de la puissance maximale susceptible d'être dégagée par le contenu ;
- des conditions normales et accidentelles de transport définies par la réglementation.

Les prescriptions réglementaires et leurs critères d'acceptation associés, pour les CNT et les CAT sont résumés ci-dessous :

- en CTR, sans ensoleillement et à la température ambiante de 38°C , la température des surfaces accessibles du colis doit rester inférieure à 50°C (85°C en transport sous utilisation exclusive),
- en CNT, avec l'ensoleillement réglementaire défini dans [1] et à la température ambiante de 38°C .
- les températures maximales atteintes par les constituants du colis doivent rester dans les domaines d'utilisation de leur matériau constitutif et permettre le maintien des performances d'étanchéité du modèle de colis.
- en CAT, suite à l'épreuve de l'incendie (période d'exposition de 30 minutes à un feu de température moyenne de flamme d'au moins 800°C), suivie d'une phase de refroidissement, définie par l'exposition du colis à température ambiante de 38°C et sous ensoleillement réglementaire [1], les performances de sûreté doivent être maintenues.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 19/25

10.2 HYPOTHESES DE CALCUL

Le transport se déroule par voie routière.

Les études ont été menées avec trois types de chargements thermiques internes :

- le premier est composé d'un chargement à la puissance maximale de 150 W,
- le deuxième est composé d'un chargement à la puissance de 20 W ,
- le troisième est composé d'un chargement à la puissance de 5 W.

Les échanges thermiques se font :

- par convection naturelle et rayonnement entre les surfaces externes de l'emballage et l'air ambiant,
- par rayonnement de la surface externe de l'emballage avec le milieu extérieur,
- par conduction dans les matériaux.

En CTR et en CNT, l'emballage est modélisé intègre.

En CAT, la géométrie de l'emballage est modifiée pour tenir compte des conséquences des épreuves de mécaniques représentatives des CAT. De manière pénalisante, le colis est modélisé avec seulement le compartiment de bois du capot supérieur protégé par la tôle anti-poinçonnement, qui est supposé avoir disparu et le capot inférieur n'est pas pris en compte. Durant la phase de refroidissement, le colis peut se positionner suite aux chutes de manière verticale ou horizontale.

10.3 RESULTATS

Conditions de transport de routine

En condition de transport de routine, les températures calculées sur les surfaces accessibles du modèle de colis sont légèrement supérieures à 50°C et inférieures à 85°C pour une puissance thermique de 5 W, 20 W et 150 W, ce qui impose un transport sous utilisation exclusive.

Conditions normales et accidentelles de transport

Les températures des différents constituants de l'emballage atteintes en conditions normales de transport restent dans les plages d'utilisation des matériaux.

10.4 CONCLUSION

Les performances de l'emballage (intégrité des barrières de confinement et des protections radiologiques) ne sont pas altérées en CNT.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 20/25

En CAT, les performances de l'emballage (intégrité des barrières de confinement et des protections radiologiques) ne sont pas diminuées par une montée des températures due à la situation d'incendie pendant 30 minutes et un refroidissement après l'incendie.

11. ANALYSE DU CONFINEMENT

11.1 OBJECTIFS

L'objet de ce paragraphe est de démontrer que le modèle de colis satisfait aux exigences et critères réglementaires, issus de la réglementation applicable du présent dossier de sûreté, relatifs aux taux admissibles de relâchement de radioactivité.

L'objectif est de démontrer la tenue à la pression interne de l'enveloppe de confinement, le bon dimensionnement des joints sur toute la plage de température et le respect des critères de relâchement d'activité.

Selon les exigences issues de la réglementation applicable [1], les valeurs maximales admissibles de taux de relâchement d'activité d'un colis de type B sont :

- en CNT : 10^{-6} A2/h ;
- en CAT : 1 A2/semaine.

11.2 HYPOTHESES DE CALCUL

Le relâchement d'activité est estimé pour chaque orifice (couvercle et tapes) et l'activité totale relâchée est comparée aux critères réglementaires énoncés ci-dessus.

La démonstration prend en compte une activité spécifique maximale des aérosols et une quantité de gaz radioactifs.

Le taux minimal de compression des joints du couvercle et des tapes est déterminé en considérant les tolérances maximales pour les joints et minimales pour les gorges et la température maximale obtenue sur chacun des joints.

Le bon dimensionnement des joints est étudié sur la plage de température allant de -20°C (température minimale d'utilisation) à la température maximale des joints évaluée dans l'analyse thermique pendant l'épreuve réglementaire de feu. La pression maximale dans la cavité tient compte de l'augmentation de température en CNT et CAT, des gaz produits par radiolyse et thermolyse.

11.3 CONCLUSION

L'étanchéité de l'enveloppe de confinement de l'emballage est assurée par les joints toriques sur toute la plage de température, en conditions normales comme en conditions accidentelles de transport.

La pression reste inférieure à la pression de dimensionnement de l'emballage (80 bar).

	Démonstration de sûreté de l’emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 21/25

le modèle de colis considéré dans les conditions de températures déterminées par l’analyse thermique et chargé des contenus décrits au paragraphe 4 du présent document, respecte les critères réglementaires de relâchement d’activité en conditions normales et accidentelles de transport.

12. ANALYSE DE LA RADIOPROTECTION

12.1 OBJECTIFS

L’objet de ce paragraphe est d’évaluer l’efficacité de la protection radiologique de l’emballage dans les conditions de transport réglementaires, chargé des contenus décrits dans le paragraphe 4 du présent document.

Les limites réglementaires concernant le débit de dose dans le cadre d’un transport de matières radioactives sont :

- en conditions de transport de routine (CTR) :
 - 2 mSv.h⁻¹ au contact des parois du colis ;
 - 0,1 mSv.h⁻¹ à 1 mètre des parois du colis ;
- en conditions de transport de routine (CTR), pour un transport réalisé sous utilisation exclusive :
 - 10 mSv.h⁻¹ au contact des parois du colis ;
 - 2 mSv.h⁻¹ au contact du moyen de transport ;
 - 0,1 mSv.h⁻¹ à 2 mètres du moyen de transport ;
- en conditions normales de transport (CNT), une augmentation du débit de dose au contact du colis inférieure à 20 % sur toute surface externe du colis par rapport aux CTR ;
- en conditions accidentelles de transport (CAT) :
 - 10 mSv.h⁻¹ à 1 mètre des parois du colis.

12.2 HYPOTHESES DE CALCUL

Le contenu autorisé dans le modèle de colis est considéré.

En conditions de transport de routine et en conditions normales de transport, le modèle de colis est considéré intègre.

En conditions accidentelles de transport :

- l’emballage est modélisé avec une perte locale d’épaisseur de plomb suite à l’épreuve de chute sur poinçon,
- un tassement axial du plomb sous la bride supérieure du corps est pris en compte en modélisant une perte locale d’épaisseur de plomb,
- la protection thermique en compound est considérée déshydratée suite à l’épreuve d’incendie,
- les capots amortisseurs ne sont pas modélisés.

Les calculs de DED sont effectués sur la base des spectres gamma et neutron du contenu à l’aide du code MCNP 6.1.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 22/25

L'activité maximale admissible du contenu est déterminée de façon à respecter les critères réglementaires.

12.3 CONCLUSION

Les débits de dose autour de l'emballage respectent les prescriptions réglementaires en vigueur, en CTR, ainsi qu'en conditions normales et accidentelles de transport, lorsqu'il est chargé du contenu tel que défini au § 4.

13. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE

13.1 OBJECTIFS

Ce paragraphe justifie la sous criticité de l'emballage chargé de matières fissiles dans les conditions normales et accidentelles de transport.

Trois configurations sont étudiées conformément à la réglementation :

- colis isolé résultant des épreuves simulant les conditions normales et les conditions accidentelles de transport. Dans ce cas le colis est réfléchi de toutes parts par 20 cm d'eau ;
- un réseau de 5N colis en CNT réfléchi par 20 cm d'eau ;
- un réseau de 2N colis en CAT réfléchi par 20 cm d'eau ; la modération par un matériau hydrogéné entre les colis et dans l'agencement doit entraîner une multiplication maximale des neutrons ;

N représentant le nombre maximal de colis admissible sur le moyen de transport.

Les configurations 5N colis en CNT et 2N colis en CAT sont couvertes par un réseau infini de colis dans l'état résultant des CNT et CAT.

Les critères de sous criticité retenus dans le cadre de cette étude sont :

- $k_{eff}+3\sigma < 0,95$ pour les configurations de colis isolé,
- $k_{eff}+3\sigma < 0,98$ pour un réseau de colis et dépendent précisément du milieu fissile de référence.

13.2 HYPOTHESES DE CALCUL

Le colis a été modélisé avec quelques simplifications :

- Les paniers accueillant des fûts ne sont pas pris en compte ;
- Les capots amortisseurs sont supposés avoir été détruits suite aux épreuves règlementaires des CAT (chutes et incendie).

Tous les interstices sont remplis d'eau.

Le milieu fissile de référence est un milieu constitué de plutonium métallique (100% ²³⁹Pu).

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A
		Page 23/25

Le milieu fissile est modélisé sous forme de sphère homogène, modéré par une quantité quelconque de CH₂.

La matière fissile peut se réorganiser et se déplacer librement au sein de la cavité interne. Les fûts ainsi que les aménagements internes ne sont pas modélisés.

13.3 CONCLUSION

Les éléments suivants constituent le système d'isolement à garantir :

- Pour l'emballage : les épaisseurs des viroles interne et externe en acier inoxydable, du blindage intermédiaire en plomb, du compound et du couvercle en acier inoxydable,
- Pour les aménagements internes : des épaisseurs des bouchons en acier inoxydable et en plomb,
- Pour le contenu : la limitation de la masse.

Le modèle de colis TIRADE respecte les critères de sûreté-criticité retenus.

L'indice de sûreté-criticité vaut : ISC = 0.

Pour les contenus identifiés au paragraphe 4, les calculs mettent en évidence le respect des critères d'admissibilité précisés au paragraphe 13.1.

14. ANALYSE DES RISQUES SUBSIDIAIRES

14.1 OBJECTIFS

L'objet de cette analyse est de déterminer les quantités de gaz produites dans le modèle de colis au cours de son transport afin d'en analyser les incidences sur la sûreté du colis et sa conformité vis-à-vis de la réglementation des transports de matières radioactives.

Ces productions de gaz peuvent être induites par des phénomènes de radiolyse et/ou de thermolyse des matériaux organiques éventuellement présents dans les contenus transportés dans l'emballage.

De ce point de vue, les différents contenus admissibles du modèle de colis peuvent être regroupés en 3 catégories :

- I – Contenus non radiolysables :
Les contenus exempts de matières radiolysables ou thermolysables (et donc ne faisant pas partie du périmètre technique de ce paragraphe) ;
- II – Contenus radiolysables dits « faible puissance » :
Les contenus contenant des matières radiolysables ou thermolysables et dont la puissance thermique est faible. L'objectif est de démontrer, que dans ce cas, la quantité d'hydrogène produite et accumulée ne conduit pas à un dépassement de la limite inférieure d'inflammabilité (LII) pendant toute la durée de son transport en conditions normales ou de routine (CTR/CNT + aléas) ;

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	Indice : A Page 24/25

- III – Contenus radiolysables dits « forte puissance » :
Les contenus contenant des matières radiolysables ou thermolysables dont la puissance thermique est élevée mais suffisamment faible pour ne pas engendrer une production et une accumulation d'hydrogène dans la cavité de l'emballage conduisant à un risque de détonation dans l'emballage TIRADE. L'objectif est de démontrer qu'en aucun cas, la pression maximale de gaz inflammable (H₂) atteinte dans l'emballage ne dépasse la valeur issue de l'analyse de la résistance structurelle pendant toute la durée de son transport (CTR/CNT + CAT + aléas).

Compte tenu des caractéristiques des contenus définis ci-avant, en termes notamment :

- de géométries, de volumes et de taux de remplissage des fûts ;
- de quantité maximale de matières thermolysables par fût ;
- de pression absolue maximale dans un fût étanche au chargement ;
- de pression absolue maximale dans un fût non étanche au chargement ;

ainsi que des conditions de transport du modèle de colis comme :

- le temps de transport (en CTR/CNT : 5 jours + 7 jours d'aléas ; et en CAT : 7 jours d'aléas supplémentaires) ;
- la température ambiante réglementaire en CTR (38°C) ;
- les conditions réglementaires d'ensoleillement en CTR et après CAT ;
- les conditions réglementaires d'incendie en CAT.

14.2 CONCLUSION

Cette analyse a démontré que :

- pour les contenus du groupe II dits « faible puissance » :
 - la concentration maximale de gaz inflammables dans l'emballage pendant son transport en CTR/CNT est toujours inférieure à la LII.
- pour les contenus du groupe III dits « forte puissance » :
 - la pression partielle maximale de gaz inflammables dans l'emballage pendant son transport est toujours inférieure la valeur issue de l'analyse de la résistance structurelle.

Le risque hydrogène est donc maîtrisé pour chacun des contenus radiolysables et/ou thermolysables.

	Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE	
	Référence du document : DES-DDSD-DTEL-SGPE-DSS-008	DSS
	Plan de classement : DTEL-SGPE-O4	<u>Indice</u> : A
		Page 25/25

15. CONCLUSION

Les éléments présentés dans cette analyse démontrent que le modèle de colis constitué par l'emballage TIRADE chargé de son contenu est conforme à la réglementation applicable aux colis de type B contenant des matières fissiles :

- les essais de chute et simulations numériques garantissent la tenue mécanique de l'emballage et du système de confinement ;
- la température de surface externe est inférieure à 85°C en CTR ;
- le confinement de la matière radioactive est garantie aux pressions et températures atteintes en CNT et en CAT ;
- le modèle de colis respecte les critères réglementaires de relâchement d'activité en CNT et en CAT ;
- les débits de dose calculés en CTR, en CNT et en CAT respectent les critères réglementaires ;
- le modèle de colis respecte les critères de sûreté-criticité ;
- les risques liés à la radiolyse/thermolyse des matières transportées sont maîtrisés ;
- les instructions d'utilisation et de maintenance sont définies de manière à conserver les performances du modèle de colis.