

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	<u>Chrono diffusion (code barre) :</u>  <b><u>DES/DDSD/DTEL/SGPE 2020-335</u></b>
	<b>CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET</b>	Page 1/26

Direction des Énergies  
Direction des projets de Démantèlement,  
de Service nucléaire et de gestion des Déchets  
Département Transports, Emballages et Logistiques  
Service de Gestion du Parc d'Emballages  
Groupe Autorisations Externes Transport

## DEMONSTRATION DE SURETE DE L'EMBALLAGE TIRADE

CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01



<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 2/26
	<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
	<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020 <u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE		

NIVEAU DE CONFIDENTIALITE				
DO	DR	CCEA	CD	SD
X				

	NOM	FONCTION	VISA
<b>REDACTEUR</b>	██████████	██████████	██████████
<b>VERIFICATEURS</b>	██████████	██████████	██████████
	██████████	██████████	██████████
	██████████	██████████	██████████
<b>APPROBATEUR EMETTEUR</b>	██████████	██████████	██████████

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 3/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

SUIVI DES VERSIONS			
INDICE	DATE	NATURE DE L'EVOLUTION	PAGES, CHAPITRES
01	24/11/20	Edition originale	26

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 4/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

#### MOTS CLEFS

TIRADE, fûts, déchets MI/II

Clt : 7.4.4.3

#### RESUME / CONCLUSIONS de même niveau de confidentialité que le document

Ce document présente l'analyse de sûreté de l'emballage TIRADE, utilisé pour le transport par route de fûts chargés de déchets MI/II, issus de l'exploitation ou du démantèlement.

Les éléments présentés démontrent que le modèle de colis respecte la réglementation.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 5/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

## SOMMAIRE

<b>1. OBJET .....</b>	<b>7</b>
<b>2. DOCUMENTS DE REFERENCE .....</b>	<b>7</b>
<b>3. DEFINITION DE L'EMBALLAGE .....</b>	<b>7</b>
3.1 Description générale.....	7
3.2 Corps de l'emballage.....	8
3.3 Couvercle de fermeture.....	9
3.4 Capots amortisseurs.....	10
<b>4. DEFINITION DES CONTENUS .....</b>	<b>11</b>
4.1 Description des contenus .....	11
4.2 Description des aménagements internes.....	12
4.2.1 Al n°1.....	12
4.2.2 Al n°2.....	12
4.2.3 Al n°3.....	12
4.2.4 Al n°4.....	12
<b>5. CONSIGNES D'EXPLOITATION.....</b>	<b>13</b>
<b>6. CONSIGNES DE MAINTENANCE .....</b>	<b>14</b>
6.1 Entretien à chaque utilisation .....	14
6.2 Maintenance périodique tous les 20 cycles ou tous les 4 ans .....	14
6.2.1 Généralités .....	14
6.2.2 Inspections particulières.....	15
6.3 Maintenance périodique tous les 80 cycles ou tous les 8 ans .....	15
<b>7. SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE .....</b>	<b>16</b>
7.1 Conception et études de sûreté .....	16
7.2 Fabrication.....	17
7.3 Utilisation .....	17
7.4 Maintenance et inspection.....	17

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 6/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

<b>8. ANALYSE STRUCTURELLE .....</b>	<b>17</b>
8.1 Tenue aux sollicitations de service.....	17
8.2 Tenue aux épreuves de chutes (CNT et CAT).....	18
8.3 Tenue à l'explosion.....	19
<b>9. ANALYSE THERMIQUE.....</b>	<b>19</b>
9.1 Résultats en CTR/CNT.....	20
9.2 Résultats après l'épreuve d'incendie (CAT).....	20
<b>10. ANALYSE DU CONFINEMENT.....</b>	<b>20</b>
<b>11. ANALYSE DE LA RADIOPROTECTION .....</b>	<b>21</b>
11.1 Modélisation .....	22
11.2 Résultats.....	22
<b>12. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE.....</b>	<b>22</b>
12.1 Configurations de calcul .....	22
12.2 Résultats.....	23
<b>13. ANALYSE DE LA RADIOLYSE .....</b>	<b>23</b>
<b>14. CONCLUSION .....</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXE 1. SCHEMA D'ENSEMBLE DE L'EMBALLAGE TIRADE .....</b>	<b>26</b>

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 7/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

## 1. OBJET

La présente note a pour but de présenter l'emballage TIRADE, chargé de déchets MI/HI issus de l'exploitation ou du démantèlement, et de démontrer la sûreté de son transport, conformément aux réglementations applicables [1], [2] et [3].

## 2. DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (arrêté TMD)
- [2] ADR en vigueur au 1er janvier 2019 – Accord européen relatif au transport des marchandises dangereuses par route
- [3] Règlement de transport des matières radioactives de l'Agence internationale de l'énergie atomique, Collection Normes de sûreté, N° SSR-6, édition 2012 .

## 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.

Un schéma d'ensemble de l'emballage TIRADE est donné en Annexe 1.

L'emballage, afin de conditionner les contenus qu'il doit transporter, peut être chargé de différents types d'aménagements internes décrits dans le paragraphe 4. Ces aménagements internes 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 (rugosité  $\leq Ra3.2$ ) et ne présentent pas de zone de rétention.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 8/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

Les principales dimensions du colis TIRADE sont présentées ci-après :

- Hauteur hors tout du colis : 2 214 mm ± 15 mm
- Diamètre hors tout du colis : 2 208 mm ± 5 mm
- Hauteur du corps (avec couvercle) : 1 322 mm ± 10 mm
- Diamètre du corps : 1 585 mm ± 3 mm
- Diamètre de la cavité intérieure : 1 100 mm ± 3 mm
- Hauteur de la cavité intérieure\* : 858 mm ± 3 mm
- Masse de l'emballage : 16 965 kg
- Masse des capots :
  - Capot supérieur : 2 075 kg
  - Capot inférieur : 1 065 kg

\* : Hauteur sans les bouchons blindés des AI dans l'emballage : une fois ces bouchons mis en place, la hauteur utile de chargement de la cavité est réduite à 655 mm ± 3 mm.

### 3.2 CORPS DE L'EMBALLAGE

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

- Une enveloppe intérieure en acier inoxydable composée :
  - D'une virole d'épaisseur 30 mm, Ø intérieur 1 100 mm (soudure longitudinale radiographiée),
  - D'un fond plat d'épaisseur 120 mm soudé sur la virole en pleine pénétration (soudure circulaire radiographiée),
  - D'une bride supérieure de forte épaisseur soudée sur la virole en pleine pénétration (soudure circulaire radiographiée),
- Une protection radiologique en plomb autour de l'enveloppe intérieure d'épaisseur :
  - 144 mm radialement,
  - 92 mm axialement dans le fond,
- Une protection thermique d'épaisseur :
  - 38,5 mm radialement autour du plomb,
  - 38 mm axialement dans le fond,
- Une enveloppe extérieure en acier inoxydable composée :
  - D'une virole d'épaisseur 30 mm, Ø extérieur 1 585 mm, soudée en pleine pénétration sur la bride supérieure,
  - D'une plaque de fond d'épaisseur 30 mm soudée en pleine pénétration sur la virole extérieure.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 9/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

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 80 mm de bois gainé de manière étanche par une tôle en acier inoxydable (épaisseur 4 mm), permet, conjointement avec le capot de protection amovible inférieur, d'absorber les chocs vis-à-vis des épreuves de chutes réglementaires.

Nota : 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 de surcroît dans sa partie supérieure un caisson inox (en tôles mécano-soudées : deux viroles et une couronne épaisseur 5 mm) 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.

L'emballage intègre enfin 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 M20 muni de son joint d'étanchéité (ce ne sont pas des éléments de confinement).

### 3.3 COUVERCLE DE FERMETURE

Le couvercle, en acier inoxydable d'épaisseur 100 mm, assure la fermeture de la cavité interne et donc de l'enceinte de confinement. Il est muni :

- D'un système triple-joint composé de trois joints toriques en FPM (Fluorocarbène Polymère Monomère), le joint central assurant le confinement et les joints externe et interne permettant de contrôler l'étanchéité du joint central,
- D'une vanne munie de 2 joints toriques en FPM 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 quant à lui un joint de contrôle),

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 10/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

- D'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,
- De deux tapes d'accès aux raccords de connexion à la cavité interne de l'emballage (montées vissées par 6 vis CHc-M12 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 par 39 vis M36 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 M20 permettant sa manutention (à l'aide d'anneaux vissés et d'élingues par exemple).

### 3.4 CAPOTS AMORTISSEURS

L'emballage est muni de deux capots amortisseurs placés à chacune des extrémités de son corps (inférieure et supérieure). Ils sont constitués :

- D'une enveloppe externe en acier inoxydable de 4 mm d'épaisseur (capotage),
- D'une couronne de fermeture de l'enveloppe externe de 10 mm d'épaisseur en acier inoxydable,
- De blocs de bois 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 (inférieur et supérieur) est fixé sur les collerettes du corps à l'aide de huit tiges filetées et de huit écrous M36 : aucun serrage au couple n'est effectué mais 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.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 11/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

## 4. DEFINITION DES CONTENUS

### 4.1 DESCRIPTION DES CONTENUS

Les contenus transportés dans l'emballage sont constitués de fûts métalliques cylindriques (étanches ou non ; de divers types en fonction de leur nature et de leur provenance) contenant des déchets MI/II issus de l'exploitation ou du démantèlement. Les fûts de déchets sont placés dans l'emballage par l'intermédiaire d'aménagements internes, adaptés selon les configurations, permettant leur calage dans la cavité interne de l'emballage.

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 (jusqu'à 210 g maximum selon le contenu considéré).

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),
- Verrerie de laboratoire,
- Plexiglas,
- Gravats,
- Etc.

En revanche les fûts ne contiennent pas :

- De liquides (pas d'eau notamment),
- De matières présentant des risques subsidiaires autres que ceux de la classe 7 (matières présentant des propriétés toxiques, pyrophoriques, réactives, oxydantes ou réductrices, etc.),
- De matières putrescibles,
- De matières pulvérulentes non bloquées ou non conditionnées de manière étanche (sac vinyle par exemple),
- De graphite ni de béryllium en quantités significatives (i.e. tolérés seulement sous forme de traces).

Les fûts de déchets sont au nombre de 1, 2, 4 ou 5.

L'emballage peut accueillir jusqu'à 400 kg de contenus (aménagements internes non inclus).

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 12/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

Les contenus peuvent être répartis dans trois groupes, en fonction de leur puissance :

- Les contenus, dits de faible puissance, dont la puissance thermique est inférieure à 5 W ;
- Les contenus, dits de forte puissance, dont la puissance thermique est inférieure à 20 W ;
- Les contenus non radiolysables dont la puissance thermique est inférieure à 150 W.

Enfin, l'activité maximale en <sup>60</sup>Co peut atteindre 77 TBq.

## 4.2 DESCRIPTION DES AMÉNAGEMENTS INTERNES

Il existe quatre types d'aménagements internes (AI), qui diffèrent selon le nombre de fûts de déchets transportés : l'AI n°1 pouvant accueillir 5 fûts, l'AI n°2 pouvant accueillir 4 fûts, l'AI n°3 pouvant accueillir 2 fûts et l'AI n°4 pouvant accueillir 1 seul fût.

### 4.2.1 AI n°1

Les aménagements internes n°1 sont composés des éléments suivants :

- Un bouchon principal en acier inoxydable, blindé (plomb), muni d'1 lot de 5 bouchons secondaires ;
- Un panier en acier inoxydable pouvant accueillir 5 fûts.

### 4.2.2 AI n°2

Les aménagements internes n°2 sont composés des éléments suivants :

- Un bouchon principal en acier inoxydable, blindé (plomb), muni d'1 lot de 4 bouchons secondaires ;
- Un panier en acier inoxydable pouvant accueillir 4 fûts ;
- De rehausses en acier inoxydable éventuelles pour le calage des fûts si nécessaire.

### 4.2.3 AI n°3

Les aménagements internes n°3 sont composés des éléments suivants :

- Un bouchon principal en acier inoxydable, blindé (plomb) ;
- Un panier en acier inoxydable pouvant accueillir 2 fûts.

### 4.2.4 AI n°4

Les aménagements internes n°4 sont composés des éléments suivants :

- Un bouchon principal en acier inoxydable, blindé (plomb), muni d'un bouchon secondaire,
- Un panier en acier inoxydable pouvant accueillir 1 fût.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 13/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

## 5. CONSIGNES D'EXPLOITATION

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). Par « temps de transport » on entend la durée entre la fermeture de l'emballage après son chargement de matières jusqu'à son ouverture à destination pour son déchargement.
- 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.

Les consignes d'exploitation font l'objet d'une notice d'utilisation. Les exploitants peuvent également établir des modes opératoires adaptés à leur installation et conformes à la notice d'utilisation.

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 doit être 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.**

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

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

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 14/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

De même, avant tout 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.

## 6. CONSIGNES 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 avec le présent dossier de sûreté et donc de garantir la sûreté des transports réalisés.

### 6.1 ENTRETIENS A CHAQUE UTILISATION

Lors de chaque utilisation de l'emballage, les contrôles et inspections avant chaque transport spécifiés dans les consignes d'exploitation sont à réaliser.

### 6.2 MAINTENANCE PERIODIQUE TOUS LES 20 CYCLES OU TOUS LES 4 ANS

Tous les 20 cycles de transports ou a minima tous les 4 ans (à la 1<sup>ère</sup> des 2 échéances atteinte), les inspections et opérations d'entretien décrites ci-après sont à réaliser.

#### 6.2.1 Généralités

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

- Etat général : absence de chocs, de points de corrosion,
- Etat des capots amortisseurs,
- Etat des surfaces externes de l'emballage,
- Etat des soudures des collerettes de fixation des capots,
- Etat des soudures des AI (paniers et rehausses),
- Etat 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,
- Etat des chapes et de leurs soudures,
- Etat des tôles d'arrimage et de leurs soudures,
- Etat et lisibilité du marquage de l'emballage,
- Etat et lisibilité des marquages des pièces.

	<p><b>DIFFUSION ORDINAIRE</b></p> <p><b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b></p>	DSS	Page 15/26
		<p><u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01</p>	
		<p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335</p>	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

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.

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.).

### 6.2.2 Inspections particulières

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 par ressuage (ou éventuellement US) 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.

Critères : zéro défaut

### 6.3 MAINTENANCE PERIODIQUE TOUS LES 80 CYCLES OU TOUS LES 8 ANS

Par ailleurs, tous les 80 cycles de transports ou a minima tous les 8 ans (à la 1<sup>ère</sup> 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),

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 16/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

- Contrôles par ressuage (ou éventuellement US) des chapes et de leurs soudures sur le corps de l'emballage après les essais en charge,
- Contrôles par ressuage des soudures des organes de manutention et d'arrimage.

Critère : zéro défaut.

## 7. SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE

Afin de garantir que les pièces de l'emballage TIRADE présentent un niveau de qualité suffisant vis-à-vis des exigences de sûreté, un programme d'assurance qualité est établi pour :

- La conception ;
- La fabrication ;
- Les épreuves et l'établissement des documents ;
- L'utilisation ;
- La maintenance ;
- Les opérations de transport.

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 adaptés de management de la qualité, produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.

### 7.1 CONCEPTION ET ETUDES DE SURETE

Les études de conception, ainsi que les études de sûreté, développées vis-à-vis du modèle de colis, ont été réalisées selon des organisations en accord avec la norme ISO 9001.

Les exigences de la norme ISO 9001 comprennent :

- Une gestion des documents émis dans le cadre de ce projet :
  - Maîtrise de la documentation et des enregistrements ;
  - Identification des documents ;
- Une vérification des documents par des personnes compétentes dans le ou les domaines concernés ;
- Les codes de calculs utilisés pour les démonstrations de sûreté ont fait l'objet de qualification au moyen de benchmarks cités dans les notes de calcul.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 17/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

## 7.2 FABRICATION

La fabrication de l'emballage donne lieu à la fourniture d'un dossier constructeur, où apparaissent notamment les certificats matière, les soudures et contrôles associés, les essais, les contrôles dimensionnels, les pesées, le traitement des non conformités et les certificats de conformité par équipement réalisé.

## 7.3 UTILISATION

Les responsabilités des différentes unités impliquées dans l'utilisation de l'emballage sont définies par écrit avec leurs interfaces respectives.

Une notice d'utilisation décrit de manière précise, afin que toutes les opérations liées au transport s'effectuent conformément aux exigences de sûreté, les règles à observer lors des principales opérations, telles que :

- Chargement et déchargement ;
- Contrôles réglementaires ;
- Arrimage ;
- Manutention ;
- Entreposage.

## 7.4 MAINTENANCE ET INSPECTION

Les modalités de maintenance et d'inspection du modèle d'emballage sont définies par une spécification technique de maintenance.

Cette spécification permet de s'assurer du bon déroulement des opérations de maintenance.

Ces opérations de maintenance sont décrites au paragraphe 6.

## 8. ANALYSE STRUCTURELLE

Le but de l'analyse structurelle est d'étudier la résistance structurelle du modèle d'emballage, en CTR, en CNT et en CAT, ainsi que d'évaluer le risque d'explosion.

### 8.1 TENUE AUX SOLLICITATIONS DE SERVICE

La tenue du modèle de colis aux sollicitations de service est vérifiée :

- Analyse de la tenue à la pression ;
- Analyse de la tenue au gerbage ;
- Analyse de la tenue à l'arrimage et aux sollicitations liées à la manutention de l'emballage ;

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 18/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

- Analyse de la tenue à l'épreuve de pénétration ;
- Analyse de la tenue à l'épreuve d'aspersion d'eau.

Ces analyses démontrent la résistance des éléments de l'emballage aux sollicitations mécaniques qu'ils peuvent subir au cours de la durée de vie du colis. Elles permettent également de dégager des marges de sécurité.

## 8.2 TENUE AUX EPREUVES DE CHUTES (CNT ET CAT)

Les justifications présentées dans cette étude s'appuient sur plusieurs données :

- L'analyse du comportement mécanique du modèle de colis TIRADE, soumis aux épreuves de chutes réglementaires prescrites par l'ADR (cf. [2]) en Conditions Normales de Transport (CNT) et en Conditions Accidentelles de Transport (CAT),
- Le retour d'expérience des essais de chutes réalisés sur la maquette du modèle de colis ■■■■,
- L'analyse de la représentativité de la maquette du modèle de colis ■■■■ par rapport au modèle de colis TIRADE du point de vue de ses caractéristiques et comportements mécaniques lors des chutes.

L'ensemble de ces données, considérées conjointement, permettent de démontrer la tenue mécanique du modèle de colis TIRADE vis-à-vis des épreuves de chutes réglementaires.

Compte tenu des conclusions :

- Des simulations numériques réalisées sur le modèle de colis TIRADE portant sur son comportement mécanique lors des épreuves de chutes libres et des chutes sur poinçon,
- Du complément des calculs lors des épreuves de chute libre,
- Du retour d'expérience issu des essais de chutes réalisés sur la maquette du modèle de colis ■■■■ dont le design et la conception sont représentatifs de ceux du modèle de colis TIRADE quoique présentant des performances mécaniques moindres,
- Des calculs et analyses mécaniques complémentaires menées spécifiquement sur le modèle de colis TIRADE,

le modèle de colis TIRADE présente donc un bon comportement mécanique vis-à-vis du cumul des épreuves de chutes réglementaires qui lui sont applicables :

- Chute libre en CNT de 0,3 m,
- Chute libre en CAT de 9,0 m,
- Chute sur poinçon en CAT de 1,0 m.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 19/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

Les endommagements subis par le modèle de colis à l'issue de ces épreuves ne sont pas de nature à altérer ses capacités à assurer ses fonctions de sûreté. Les différentes analyses du dossier de sûreté (thermique et radioprotection en particulier) les prennent en compte et démontrent que dans tous les cas, les performances du modèle de colis sont conformes aux exigences de sûreté réglementaires, même après les épreuves réglementaires de conditions accidentelles.

### 8.3 TENUE A L'EXPLOSION

L'objet de ce paragraphe est d'analyser les risques d'occurrence d'explosion dans l'emballage pendant son transport et, le cas échéant, les incidences que cela pourrait avoir sur le maintien des fonctions de sûreté du colis.

La sûreté du modèle de colis ainsi que le maintien de l'efficacité de ses fonctions de sûreté est garantie quelles que soient les configurations et événements de transport pouvant survenir.

Cette analyse prend en compte les éventuels risques liés à la présence potentielle de gaz inflammables dans l'emballage qui pourraient être produits par décompositions radiolytiques et thermolytiques des matières transportées. Le modèle de colis assure le respect de l'ensemble des critères réglementaires applicables, tant en CTR/CNT qu'en CAT, même en cas d'une combustion des gaz inflammables potentiellement présents :

- Son système de fermeture présente une résistance suffisante au regard des sollicitations potentiellement subies,
- L'étanchéité de son enceinte de confinement n'est pas altérée.

## 9. ANALYSE THERMIQUE

Ce paragraphe est consacré à l'analyse de la conformité du modèle de colis aux prescriptions réglementaires relatives aux différentes conditions de températures ambiantes, normales et accidentelles.

D'une manière générale, une puissance interne enveloppe de 150 W est considérée (dissipation de la puissance thermique maximale dégagée quels que soient les contenus chargés). De plus, l'analyse considère un comportement adiabatique des capots amortisseurs en CTR/CNT (pas de dissipation de la chaleur interne par les capots), ce qui maximise l'échauffement des parois radiales du corps de l'emballage.

Les analyses permettent de mettre en évidence :

- Pour les conditions de routine et normales (CTR/CNT) : les températures maximales atteintes lors de la dissipation de la puissance interne avec ou sans insolation,
- Pour les conditions accidentelles (CAT) : les températures atteintes pendant et après l'épreuve thermique.

	<p><b>DIFFUSION ORDINAIRE</b></p> <p><b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b></p>	DSS	Page 20/26
		<p><u>Réf.</u> :</p> <p>CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01</p> <p><u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335</p>	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

## 9.1 RESULTATS EN CTR/CNT

- Sans ensoleillement et bâché, la température maximale de la surface du corps de l'emballage (avec une puissance interne maximale de 150 W) est de 57,4°C.
- Avec ensoleillement et selon la puissance totale transportée, la température interne dans l'emballage (le transport étant confiné ou non) est comprise entre :
  - 47,0 et 57,8°C pour une puissance totale transportée  $\leq 5$  W
  - 49,5 et 58,8°C pour une puissance totale transportée  $\leq 20$  W
  - 60,2 et 73,2°C pour une puissance totale transportée  $\leq 150$  W

Ces températures sont compatibles avec les conditions normales d'utilisation des matériaux et restent inférieures à la limite de température sous-utilisation exclusive de 85°C.

## 9.2 RESULTATS APRES L'EPREUVE D'INCENDIE (CAT)

- La température du plomb ne dépasse pas 125°C, même lors de l'épreuve d'incendie, ce qui laisse une marge très importante par rapport à sa température de début de fusion ( $\geq 327^\circ\text{C}$ ).
- La température des joints de l'emballage ne dépasse pas 130°C pour une température maximale d'utilisation de 200°C (et 250°C en pointe), ce qui laisse une marge importante et garantit le maintien de leur efficacité même après l'épreuve d'incendie. Par ailleurs, cette marge très importante couvre les éventuels effets d'une auto-combustion du bois des capots.
- Les dommages induits par l'épreuve de poinçonnement sur le corps de l'emballage sont des dommages locaux qui ne modifient pas de manière significative le comportement thermique du colis et ne mettent donc pas en cause l'efficacité de ses fonctions de sûreté.
- Un emballage qui se retrouverait en position horizontale après une chute, ne verrait pas ses températures augmenter.

Le modèle de colis est donc conforme aux exigences de sûreté réglementaires vis-à-vis de son comportement thermique, tant en CTR ou CNT qu'en CAT.

## 10. ANALYSE DU CONFINEMENT

L'objet de cette analyse est d'évaluer, pour le modèle de colis, le respect des exigences réglementaires applicables en termes de relâchement de matières radioactives en conditions de transport de routine, normales et accidentelles.

Elle étudie le risque d'extrusion des joints de confinement de l'emballage ainsi que les variations de leur taux de compression par dilatation différentielle des joints et de leur gorge.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 21/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

Les critères réglementaires de relâchement d'activité du colis (au sens de la réglementation du transport de matières radioactives [1] et [2]) sont rappelés ci-après :

- En Conditions Normales de Transport : relâchement  $\leq 10^{-6} A_2$  par heure,
- En Conditions Accidentelles de Transport : relâchement  $\leq 1 A_2$  par semaine.

Dans les conditions décrites ci-dessous :

- Compte tenu des propriétés spécifiques des différents contenus du modèle de colis ;
- Compte tenu des niveaux d'étanchéité garantis pour l'enceinte de confinement du modèle de colis ;
- Compte tenu des conditions extrêmes de pression/température pouvant être atteintes dans l'enceinte du modèle de colis, tant en CNT qu'en CAT ;
- Compte tenu enfin des données et hypothèses considérées ;

les niveaux de relâchement d'activité hors de l'enceinte de confinement du modèle de colis respectent les critères réglementaires applicables, tant en CNT qu'en CAT et ce, quelles que soient les configurations autorisées pour le transport du colis.

Le modèle colis est donc conforme à la réglementation applicable vis-à-vis du confinement des matières radioactives transportées et des critères de relâchement limite autorisé, tant en CNT qu'en CAT.

Quelles que soient les conditions (prise en compte des conditions de montage, des tolérances géométriques des joints et de leur gorge, d'une variation de température de -25°C à la température maximale atteinte en CAT pour les joints du couvercle et des tapes, ou à 170°C pour les joints des vannes et d'une compression rémanente des joints), la conception des gorges des joints de confinement du modèle de colis assure :

- Un taux de compression des joints suffisant,
- La non extrusion des joints hors de leur gorge (rapport des volumes :  $V_{\text{joint}}/V_{\text{gorge}} \leq 1$ ).

## 11. ANALYSE DE LA RADIOPROTECTION

L'objet de cette analyse est d'étudier le respect des critères réglementaires du modèle de colis chargé des contenus décrits au paragraphe 4.

Les critères réglementaires de débit d'équivalent de dose (DeD) pour le transport sont rappelés ci-après ([1] et [2]) :

- En CTR/CNT en utilisation exclusive :
  - 10 mSv/h au contact du colis ;
  - 2 mSv/h au contact du moyen de transport (parois latérales du véhicule) ;
  - 0,1 mSv/h à 2 mètres du moyen de transport ;
- En CAT en utilisation exclusive :
  - 10 mSv/h à 1 mètre de la surface externe du colis.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 22/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

Afin de rester conforme aux études de radioprotection de dimensionnement, il a été considéré le critère pénalisant de 2 mSv/h au contact du colis en CTR.

## 11.1 MODELISATION

La modélisation a été réalisée avec le code MCNP5, en simplifiant la géométrie de l'emballage, tout en restant pénalisant sur les épaisseurs.

Le contenu radioactif est placé dans chaque alvéole du panier considéré. Différentes géométries de sources ont été simulées, du moins pénalisant au plus pénalisant : source volumique, source ponctuelle centrée et source ponctuelle désaxée.

## 11.2 RESULTATS

Suite aux épreuves réglementaires représentatives des conditions normales de transport, l'emballage ne subit pas de déformation significative à même d'altérer la protection radiologique. Il est donc garanti que le débit de dose en CNT n'augmentera pas de plus de 20%. Suite aux épreuves représentatives des conditions accidentelles, la protection biologique est très peu altérée et les DeD sont toujours inférieurs aux critères réglementaires.

## 12. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE

Ce paragraphe synthétise les principales données, hypothèses et conclusions de l'analyse de la sûreté-criticité relative au modèle de colis.

L'analyse de sûreté-criticité a permis de déterminer la réactivité des déchets, pouvant contenir jusqu'à 210 g de matières fissiles, en présence de différents réflecteurs.

La présence éventuelle d'alumine et/ou de magnésie à l'intérieur des contenus fissiles est prise en compte.

### 12.1 CONFIGURATIONS DE CALCUL

Selon les prescriptions réglementaires [1] et [2], le maintien de la sous-criticité doit être démontré pour les configurations suivantes :

- Un colis isolé pris en conditions de transport de routine (CTR), dans l'état résultant des épreuves représentatives des conditions normales de transport (CNT), et des conditions accidentelles de transport (CAT) entouré d'une couche d'eau d'épaisseur minimale de 20 cm,
- Un réseau de 5N colis, chaque colis étant dans l'état résultant des conditions normales de transport (CNT), avec une réflexion par une couche d'eau d'épaisseur minimale de 20 cm autour du réseau de colis, rien entre les colis et dans l'agencement entraînant une multiplication maximale des neutrons,

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 23/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

- Un réseau de 2N colis, chaque colis étant dans l'état résultant du cumul des conditions normales (CNT) et accidentelles de transport (CAT) avec une réflexion par une couche d'eau d'épaisseur minimale de 20 cm autour du réseau de colis, une modération par un matériau hydrogéné entre les colis et dans l'agencement entraînant une multiplication maximale des neutrons.

Dans cette étude, les deux dernières configurations sont couvertes par un réseau infini de colis dans l'état résultant des conditions normales (CNT) et accidentelles de transport (CAT).

## 12.2 RESULTATS

Les résultats des deux analyses de sûreté-criticité montrent que les maximums de réactivité obtenus, toutes configurations confondues, sont de :

Présence d'alumine et/ou de magnésie	Masse totale maximale de matière fissile	« Colis isolé »	« Réseau infini de colis »
Non	210 g	$k_{\text{eff}} + 3 \sigma = 0,945 \leq 0,95$	$k_{\text{eff}} + 3 \sigma = 0,961 \leq 0,98$
Oui	170 g	$k_{\text{eff}} + 3 \sigma = 0,948 \leq 0,95$	$k_{\text{eff}} + 3 \sigma = 0,946 \leq 0,98$

**Tableau 1 : Valeurs de  $k_{\text{eff}}$  selon les différentes configurations**

Le modèle de colis, chargé des contenus décrits au paragraphe 4, garantit le maintien de la sous criticité quelles que soient les conditions de transport.

## 13. ANALYSE DE LA RADIOLYSE

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 suffisamment faible pour ne pas engendrer une production et une accumulation d'hydrogène dans la cavité de l'emballage conduisant 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) ;

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 24/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

- III – Contenus radiolysables dits « forte puissance » :

Les contenus contenant des matières radiolysables ou thermolysables et dont la puissance thermique est plus élevée que celle du groupe précédent mais suffisamment faible pour ne pas engendrer une production et une accumulation d'hydrogène dans la cavité de l'emballage conduisant à une pression partielle d'H<sub>2</sub> supérieure à 0,667 bar (pour une température normalisée à 15°C) 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 cas d'accident (incendie) : 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.

Il est 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 Limite Inférieure d'Inflammabilité.
- 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 à 0,67 bar (pour une température normée à 15°C).

Par ailleurs, compte tenu des limitations des différents contenus et de la puissance maximale transportable, les pressions totales maximales potentiellement atteintes dans l'emballage sont les suivantes :

- P<sub>totale</sub>(maximale) en CTR/CNT ≤ 2,52 bars ;
- P<sub>totale</sub>(maximale) pendant le transport (CTR, CNT ou CAT) ≤ 3,13 bars.

	<b>DIFFUSION ORDINAIRE</b>  <b>Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</b>	DSS	Page 25/26
		<u>Réf.</u> : CEA/DES/DDSD/DTEL/SGPE/GAET/ TIRADE/DSS 2020-000003 Ind.01	
		<u>Chrono</u> : SGPE/GAET 2020-335	
		<u>Date</u> : 24/11/2020	<u>Indice</u> : 01
Démonstration de sûreté de l'emballage TIRADE			

## 14. CONCLUSION

Le modèle de colis constitué par l'emballage TIRADE chargé de ses contenus est conforme à la réglementation applicable aux colis de type B transportés par voie routière :

- La tenue mécanique de l'emballage et du système de confinement est garantie quelles que soient les conditions considérées ;
- La température de surface externe est inférieure à 85°C en CNT. Le confinement de la matière radioactive est maintenu aux pressions et températures atteintes en conditions normales et accidentelles de transport ;
- Les productions de gaz par radiolyse et thermolyse induisent une concentration de gaz inflammables toujours acceptable ;
- L'emballage TIRADE respecte les critères réglementaires de relâchement d'activités en conditions normales ( $10^{-6}$  A<sub>2</sub>/h) et accidentelles de transport (1 A<sub>2</sub>/semaine) ;
- Les valeurs des débits équivalents de dose calculés au contact du colis, à 2 m en CNT et à 1 m en CAT sont inférieures aux limites réglementaires (2 mSv/h à la surface du colis, 0,1 mSv/h à 2 m du colis en CNT et 10 m Sv/h à un 1 m du colis en CAT) ;
- Le modèle de colis constitué de l'emballage TIRADE respecte les critères usuels de sûreté-criticité ;
- Les instructions d'utilisation sont détaillées ;
- L'emballage fait l'objet d'une petite et d'une grande maintenance.

**ANNEXE 1. SCHEMA D'ENSEMBLE DE L'EMBALLAGE TIRADE**

