



LA RADIOPROTECTION, DE LA CONCEPTION À L'EXPLOITATION DES EMBALLAGES DE TRANSPORT DE MATIÈRES RADIOACTIVES



- ▶ **Contexte - Aspects réglementaires**
- ▶ **Principes de conception des emballages de transport/entreposage de matières radioactives**
- ▶ **Méthodologie et moyens de calculs**
- ▶ **Qualification du schéma de calcul en radioprotection**
- ▶ **L'outil TRANSPORTABILITE pour combustibles usés**
- ▶ **Exemples d'emballages de transport /entreposage et les types de contenus associés**
- ▶ **Conclusion**

Contexte - Aspects réglementaires

- ▶ **Transport des matières radioactives : secteur sensible de l'industrie nucléaire**
- ▶ **Matières radioactives hors des INB**
- ▶ **Moyens de prévention au cours des transports de matières radioactives:**
 - ◆ **Maîtrise des risques par l'organisation des transports**
 - ◆ **L'emballage assure lui-même la protection de la majorité des risques par des systèmes passifs**
- ▶ **Réglementation transport (AIEA) spécifique contraignante**
 - ◆ **Critère de sous-criticité (calculs)**
 - ◆ **Limites des doses efficaces autour de l'emballages (mesures + calculs)**
 - ◆ **Critères sur la température en surface externe de l'emballage et sur contenu (calculs + épreuve de feu 800°C pendant une 1/2 heure)**
 - ◆ **Critères sur la tenue mécanique (calculs + épreuves de chute à échelle réduite)**

Contexte - Aspects réglementaires

► L'agrément des colis

Réglementation AIEA impose une série d'épreuves aux colis pour l'obtention d'un agrément



« **Conditions normales** »
colis peu endommagé

« **Conditions accidentelles** »
colis endommagé

Principes de conception des emballages de transport/entreposage de matières radioactives

► Compromis entre quatre principaux métiers : mécanique, thermique, radioprotection et criticité

- ◆ Compromis masse / capacité → Encombrement
- ◆ Épreuves de chutes et d'incendie → {
 - Intégrité du contenu
 - Étanchéité
 - Critères de température
- ◆ Critères de radioprotection autour de l'emballage
- ◆ Critères de sous-criticité
- ◆ Fabrication - Maintenance – Décontamination – Eco-conception

La radioprotection est en relation directe avec la limitation de la masse des emballages : critère déterminant lors de la conception

Principes de conception des emballages de transport/entreposage de matières radioactives

- ▶ Les emballages de TN International sont conçus pour un chargement maximum en terme de doses autorisées par la réglementation
 - ◆ Minimiser le nombre des transports et les risques d'un accident
 - ◆ Augmenter la capacité des emballages de stockage

*Principe qui ne va forcément pas à l'encontre du principe d'ALARA
(dose x temps)*
- ▶ Calculs systématiques avec des codes de calcul de plus en plus performants en terme de temps de calcul
 - ◆ **Modélisation fine** de la géométrie en 3D et utilisation de codes Monte-Carlo
 - ◆ **Qualification des codes** – Benchmarks (Comparaisons Calculs/Mesures)
- ▶ Plans de chargements grâce à des outils performants
 - ◆ **Transportabilité** (Combustibles irradiés)
 - ◆ **DED verres** (Déchets vitrifiés)

Méthodologie et moyens de calcul

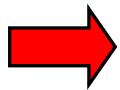


▶ Méthodologie : deux étapes

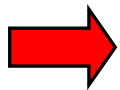
1. *Evaluation des termes sources radioactives*
2. *Calcul de transport de particules à travers la protection radiologique et évaluation des débits d'équivalent de dose*

▶ Moyens de calcul pour évaluer les termes sources

- ◆ ORIGEN 2 : combustibles irradiés REP, REB, RNR, poudres et combustibles frais



Remplacement d'ORIGEN 2 par ORIGEN ARP réalisé en 2009

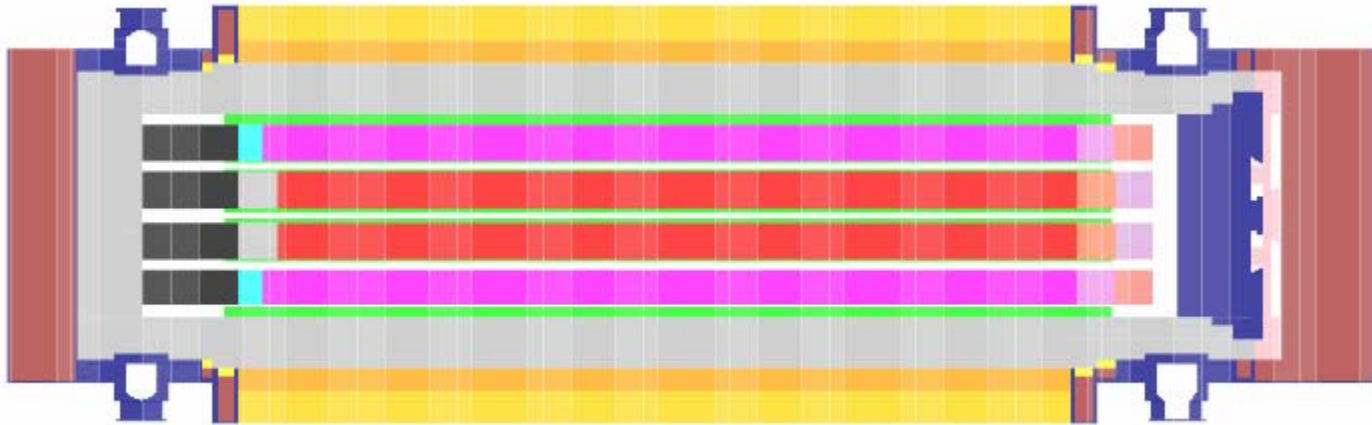


Utilisation possible de DARWIN et ORIGEN-S pour l'évaluation des termes sources

- ◆ APOLLO 2 : produits d'activation (^{60}Co)

Méthodologie et moyens de calcul

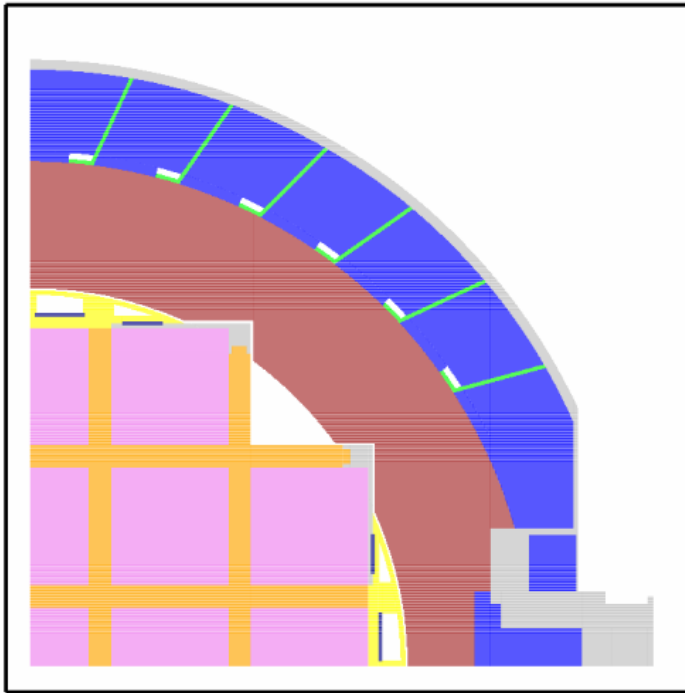
- ▶ Moyens de calcul pour évaluer les débits de dose efficace : code TRIPOLI (3D)



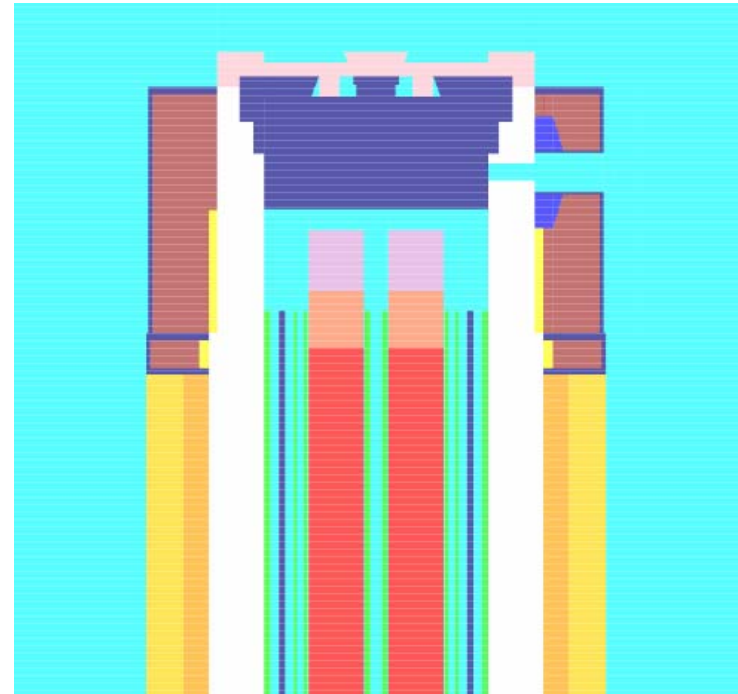
- ▶ Les calculs Monte-Carlo apportent :
 - ◆ Description exacte de la géométrie (zones fortes hétérogénéités – tourillons)
 - ◆ Description exacte des sources (plans de chargements)
 - ◆ Utilisation des sections efficaces ponctuelles

Méthodologie et moyens de calcul

► Modèle de calcul TRIPOLI (3D)



Modélisation au niveau de la zone tourillon



Modélisation axiale

Qualification du schéma de calcul

► Synthèse des comparaisons calcul/ mesure sur les débits de dose efficace autour des emballages

Zones en radial mi-hauteur à 2 m de la surface externe de l'emballage

Emballage	Nombre de mesures	Moyenne* (%)	Maximum (%)	Minimum (%)
TN 12/2 – transport combustible irradié	13	+9	+23	+3
TN 28 VT – transport verres vitrifiés	9	+12	+30	+1
FS 47 – transport poudre Pu	3	+11	+14	+8
FS 65 1300 – combustible MOX frais	1	+7	+7	+7
TN24 XLH – transport/stockage combustible irradié	2	+11	+15	+7
TN 24 DH – transport/stockage combustible irradié	1	+6	+6	+6
TN 52 L – transport/stockage irradié	1	+9	+9	+9
TN 81 – transport/stockage combustibles vitrifiés	2	+6	+11	+1
TOTAL	32	+10	+30	+1

* (calcul/mesure -1) x 100%

Qualification du schéma de calcul

► Synthèse des comparaisons calcul/ mesure sur les débits de dose efficace autour des emballages

Zone tourillon de manutention, contact de l'emballage

Emballage	Nombre de mesures	Moyenne* (%)	Maximum (%)	Minimum (%)
TN 12/2 – transport combustible irradié	13	+25	+46	+9
TN 28 VT – transport verres vitrifiés	9	+16	+38	+5
TN24 XLH – transport/stockage combustible irradié	2	+21	+28	+13
TN 24 DH – transport/stockage combustible irradié	1	+31	+31	+31
TN 52 L – transport/stockage combustible irradié	1	+25	+25	+25
TN 81 – transport/stockage verres vitrifiés	2	+25	+31	+19
TOTAL	28	+22	+46	+5

* (calcul/mesure -1) x 100%

L'outil TRANSPORTABILITE

- ▶ **Transportabilité est un logiciel de gestion des combustibles usés et de planification des transports pour les emballages**
- ▶ **Transportabilité est utilisé pour les transports vers l'usine de La Hague (EDF, CAORSO)**
- ▶ **Fonctionnalités**
 - ◆ **Inventaire des éléments combustibles par tranche (transporté / non transporté)**
 - ◆ **Création de plans de chargement (lot, position dans les alvéoles)**
 - ◆ **Détermination de la transportabilité à une date donnée**
 - ◆ **Détermination de la date de transportabilité au plus tôt**
- ▶ **Utilisation**
 - ◆ **Transportabilité est utilisé par les commissionnaires transports**
 - ◆ **Tous les transports sont validés avant expédition**

L'outil TRANSPORTABILITE

- ▶ **Qualification : recalage par des campagnes de mesure**
 - ◆ Réalisation de campagnes de mesure par TN International
 - ◆ Comparaison avec les dossiers de transport

AREVA TRANSPORTABILITE

Consultation d'un plan de chargement

Plan de chargement
 Référence : **BUG2/07/04**
 Tranche : BUG2
 Lot : BUG2.83
 Créateur : Mélanie SAMSON
 Statut : Créé
 Date de création : 04/10/2007

▲ Constitution du chargement

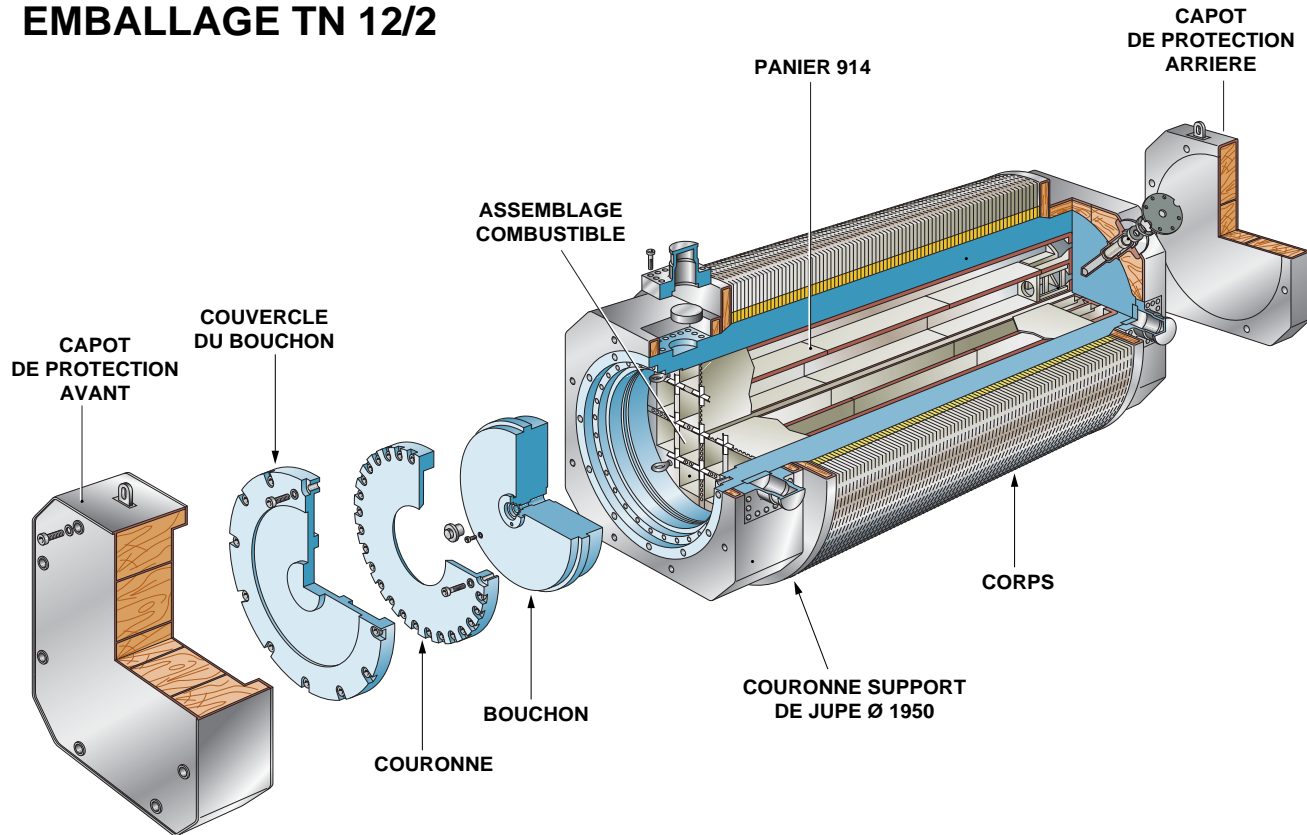
Activité	Puissance thermique	EC	04/10/2007	EC	Puissance thermique	Activité
	8,56 kW				10,49 kW	
5,75 PBq	0,48 kW	FFOF3MAX [UOX]		FFO1M3AX [UOX]	0,45 kW	5,13 PBq
28,23 PBq	3,07 kW	FX1TNA [UOX]		FX1TND [UOX]	5,00 kW	42,25 PBq
42,35 PBq	5,02 kW	FX1TNF [UOX]		FX1TNO [UOX]	5,05 kW	42,60 PBq
6,20 PBq	0,49 kW	FX0CAN [UOX]		FX0L6M [UOX]	0,55 kW	6,97 PBq
42,44 PBq	5,03 kW	FX1TN4 [UOX]		FX1TN2 [UOX]	5,02 kW	42,38 PBq
31,60 PBq	3,99 kW	FX19X1 [UOX]		FX1TN9 [UOX]	5,00 kW	42,24 PBq
	9,51 kW				10,57 kW	

Diagram showing a central circular arrangement of 12 numbered boxes (1-12) connected to the activity data table.

Exemples d'emballages de transport / entreposage et les types de contenus associés

❑ Emballage pour *transport d'assemblages usés*

EMBALLAGE TN 12/2



☞ **Chargement possible de 12 assemblages REP UOX ou 8 REP UOX + 4 REP MOX**

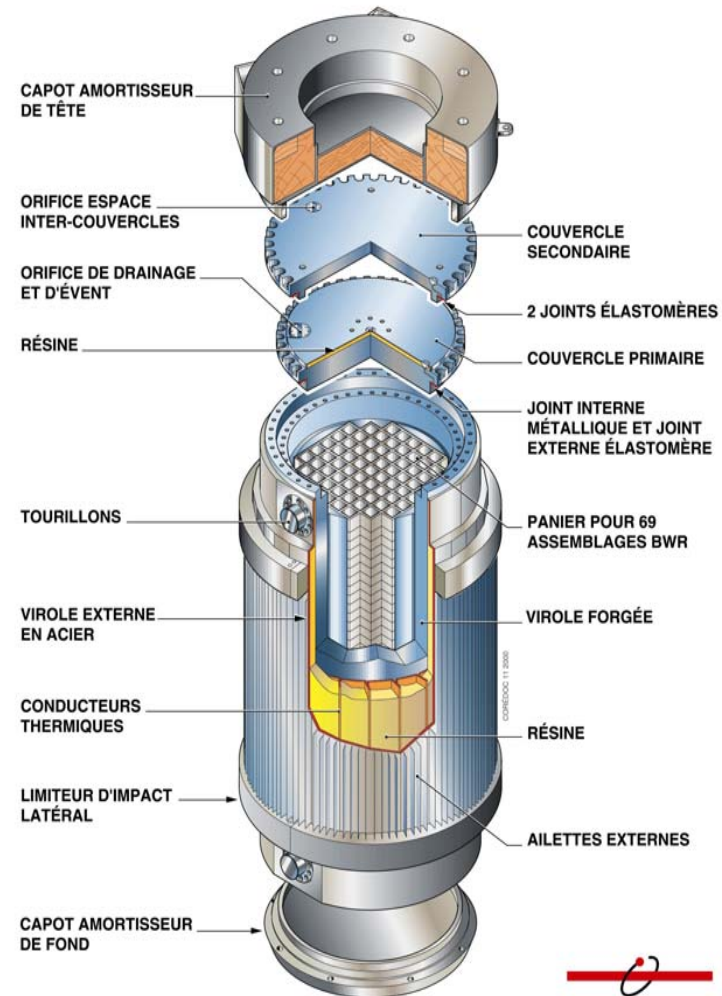
TN International

Exemples d'emballages de transport / entreposage et les types de contenus associés

- Emballage pour transport / entreposage d'assemblages usés

Emballage TN24 BH

➔ *Chargement possible de 69 assemblages REB UOX irradiés*

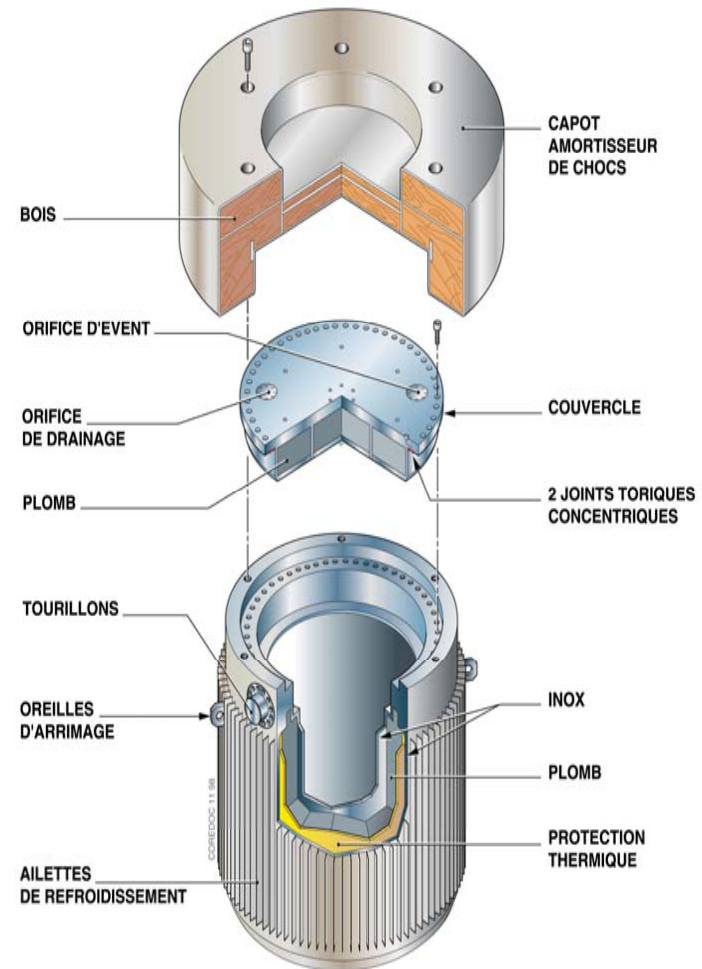


Exemples d'emballages de transport / entreposage et les types de contenus associés

- ❑ Emballage pour transport de combustibles usés issus des réacteurs de recherche

Emballage TN MTR

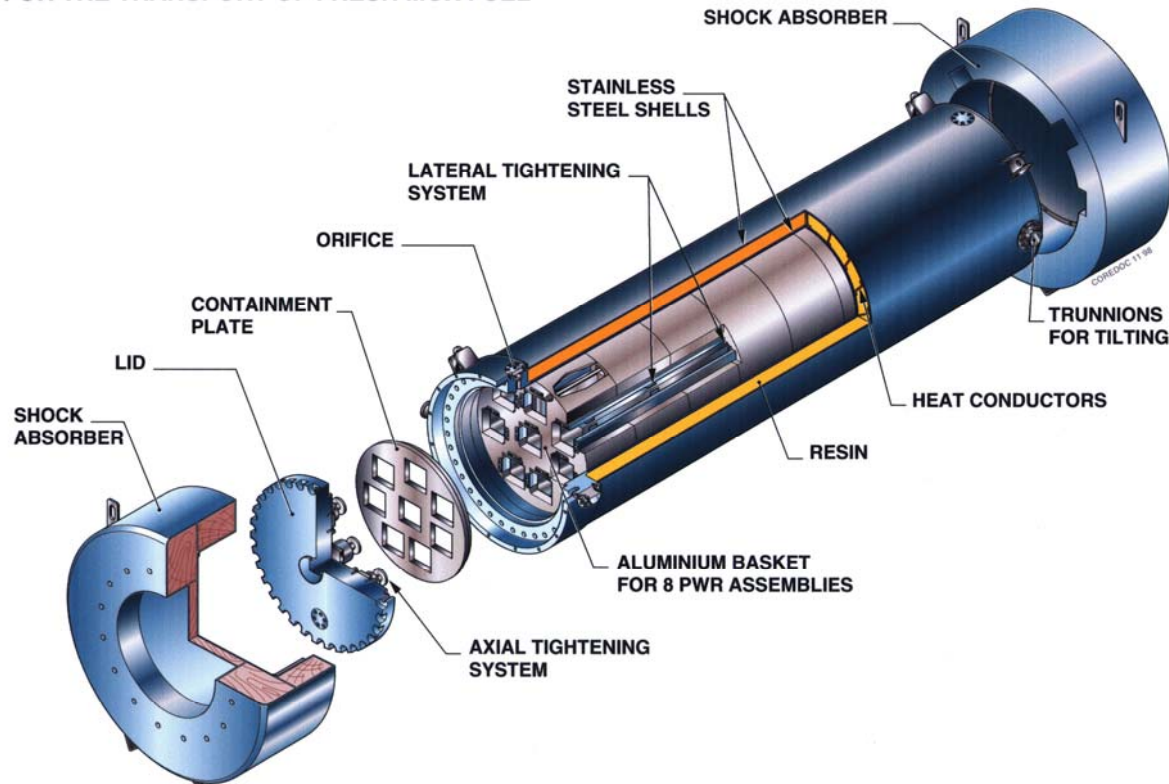
➡ *Chargement possible de 52 éléments combustibles de type plaques (U-Al, U₃Si₂-Al, RHF ..)*



Exemples d'emballages de transport / entreposage et les types de contenus associés

❑ Emballage pour *transport d'assemblages MOx frais*

MX8 PACKAGING FOR THE TRANSPORT OF FRESH MOX FUEL



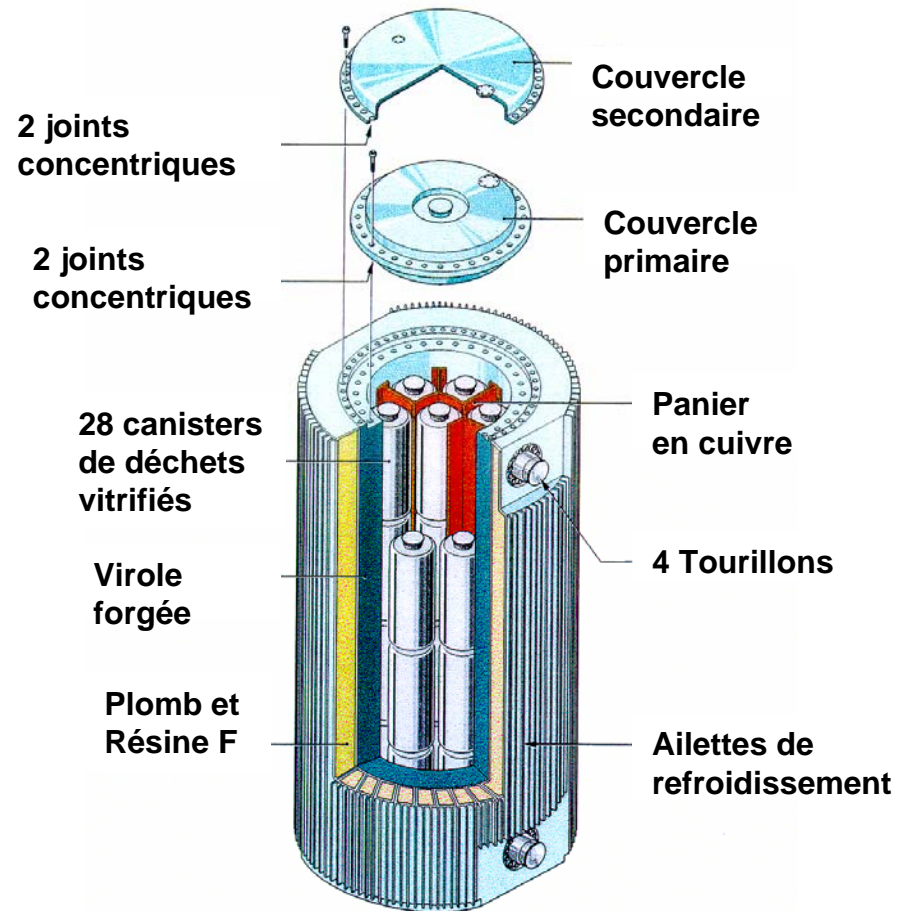
Chargement possible de 8 assemblages REP MOX frais

Exemples d'emballages de transport / entreposage et les types de contenus associés

- ❑ Emballage pour transport de **transport et entreposage de déchets vitrifiés ou compactés**

Emballage 81

➡ **Chargement possible de 28 canisters de déchets vitrifiés (CSD-V ou CSD-C)**



Conclusion

- ▶ Utilisation massive des codes de calcul de type Monte-Carlo
- ▶ Qualification des données nucléaires et des schémas de calculs
- ▶ Développement des outils d'optimisation des chargements
- ▶ Résultats
 - ◆ Chargement jusqu'à 80% du critère de radioprotection (50% dans le passé)
 - ◆ Absorber l'augmentation de l'intensité des sources
 - ◆ Augmenter la performance des emballages
 - ◆ Améliorer la sûreté globale des transports de matières radioactives

Notes

