

Le transport des matières radioactives en colis des types A, Exempté et FAS

par M. White

Il ressort des enquêtes faites sur les expéditions de matières radioactives et d'autres études que la plupart des envois se font en colis des types A, Exempté et FAS, tels qu'ils sont définis dans le Règlement de transport de l'AIEA* [1] et [2]. Ainsi par exemple, d'après des chiffres recueillis aux Etats-Unis en 1975 [3], sur un total d'environ 2 500 000 colis expédiés cette même année, 1 200 000 (48%) étaient du type A, 700 000 (28%) du type Exempté et 310 000 (12%) du type FAS (faible activité spécifique). Cette répartition s'explique par les emplois que trouvent les matières radioactives dans l'industrie, la recherche, la médecine, la production des biens de consommation et d'électricité. Le tableau 1 énumère quelques radionucléides d'usage courant; la plupart des matières de faible activité spécifique sont des concentrés physiques et chimiques d'uranium naturel tels que le "gâteau jaune" (qui est un diuranate), l'hexafluorure d'uranium et le nouveau combustible de réacteur, et les déchets radioactifs de faible activité (objets et matières contaminés par de petites quantités de divers radionucléides). De nombreux autres nucléides servent également aux emplois indiqués au tableau 1 ainsi qu'à d'autres fins [4].

Le tableau 2 donne les quantités maximales de ces nucléides admissibles dans les colis des types A et Exempté. Dans les cas fréquents où les radionucléides doivent être employés directement, comme par exemple pour les composés pharmaceutiques et les traceurs, les matières sont expédiées en vrac (par exemple les générateurs de technétium 99 m) et l'on prélève ensuite sur l'arrivage les doses voulues au fur et à mesure des besoins.

COLIS DU TYPE A

Le colis du type A permet de transporter des matières radioactives en quantités moyennes (les colis de la catégorie Exemptée conviennent pour les petites quantités et ceux du type B pour les grandes) à peu de frais mais dans de très bonnes conditions de sécurité. Les caractéristiques de cette classe ainsi que les prescriptions qui la réglementent découlent des pratiques et des règles de la fin des années 1940 et des années 1950, qui ont toutefois beaucoup évolué depuis, en théorie comme en pratique [5]. Les photos 1 et 2 donnent des exemples d'emballages d'usage courant, qui comprennent un système de confinement (récipients et absorbant), un écran protecteur, des éléments de séparation et un récipient extérieur. Les références [6, 7, 8 et 9] décrivent d'autres formes usuelles.

* Désigné ci-après sous l'appellation de "le Règlement".

Tableau 1. Quelques radionucléides d'usage courant

Radionucléide*	Emploi/destination	Quantités employées
Américium 241	Détecteurs de fumée	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à 5 μCi dans les modèles domestiques • 15+ μCi dans les installations commerciales & industrielles
(avec le béryllium)	<ul style="list-style-type: none"> { Jauges d'humidité et de densité { Diagraphie des puits de pétrole et de gaz 	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre de 50 mCi • jusqu'à 15 Ci
Or 198**	Recherche/traceur	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre des Ci selon qu'il s'agit de travaux en laboratoire ou sur le terrain
Carbone 14**	Recherche/traceur	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre du μCi
Cobalt 57, 58, 60**	Médecine/diagnostic	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre de 1 μCi par dose
Chrome 51**	Médecine/diagnostic	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre de 50 μCi par dose
Caesium 137	<ul style="list-style-type: none"> { Jauges d'humidité et de densité { Médecine/thérapeutique { Diagraphie des puits de pétrole et de gaz 	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à des dizaines de mCi • jusqu'à environ 200 mCi par traitement • jusqu'à 1 à 2 Ci
Gallium 67**	Jauges de densité et de niveau	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à 5 Ci
Tritium	Médecine/diagnostic	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre de 1,5 mCi par dose
	Appareils luminescents	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à 200 mCi pour les montres • jusqu'à 25 Ci dans les panneaux indicateurs de "Sortie" etc.
Tritium**	<ul style="list-style-type: none"> { Recherche/traceur { Puits de pétrole et de gaz; études par traçage 	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre du μCi • jusqu'à plusieurs dizaines de Ci
Iode 125**	Médecine/essais <i>in vitro</i>	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre du μCi
	Recherche/traceur	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre du μCi
Iode 131**	Médecine/diagnostic	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à 50 μCi environ par dose
	Médecine/thérapeutique	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à 100 mCi par dose
Iridium 192**	Diagraphie des puits de pétrole et de gaz	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre du μCi
Krypton 85	Jauges d'épaisseur	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à 1 Ci
Neodymium 147**	Recherche/traceur	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à plusieurs Ci, selon qu'il s'agit de travaux en laboratoire ou sur le terrain
Polonium 210	Antistatiques	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à environ 100 mCi dans les installations industrielles
Scandium 46**	Recherche/traceur	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à plusieurs Ci selon qu'il s'agit de travaux en laboratoire ou sur le terrain
Strontium 90	Jauges d'épaisseur	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à 25 mCi
Technétium ^{99m} **	Médecine/diagnostic	<ul style="list-style-type: none"> • jusqu'à 20 mCi par dose
Thallium 201	Médecine/diagnostic	<ul style="list-style-type: none"> • de l'ordre de 1,5 mCi par dose

* Les sources non marquées** sont scellées.

Comme le montrent ces exemples qui correspondent à la généralité des cas, les colis du type A sont faits de composants essentiellement légers et peu résistants. Ils risquent donc d'être endommagés par des accidents. On a tenu compte de cette éventualité pour l'élaboration des règlements, et on a en conséquence assigné des limites aux contenus des colis, en admettant que dans un accident "moyen" [10]:

- i) l'écran du colis est totalement perdu;
- ii) la proportion des matières radioactives qui risquent de s'échapper du système de confinement peut atteindre un millième (10^{-3});
(On admet que des fuites plus importantes peuvent se produire mais elles seraient dues à des accidents plus graves que l'accident "moyen" envisagé ici; on a toutefois considéré que la probabilité de tels accidents était si faible qu'il n'y avait pas lieu d'en tenir compte. L'expérience a jusqu'à présent justifié ce point de vue.)
- iii) la dose de rayonnement extérieur reçue par une personne à la suite de la perte de l'écran ne dépassera pas trois rem, en admettant que cette personne reste jusqu'à trois heures à une distance de trois mètres de la source;
(En d'autres termes, pour un radionucléide émetteur gamma l'intensité maximale de rayonnement admissible à un mètre de la source nue est de neuf rem par heure. Les critères analogues sont quelque peu différents pour les émetteurs de rayons alpha, bêta, de neutrons et de rayons X, ainsi que pour les radionucléides qui émettent plusieurs sortes de rayonnements. [10])
- iv) la quantité de matière radioactive introduite dans le corps d'une personne en conséquence de la perte du confinement ne dépassera pas la moitié du maximum annuel admissible de l'absorption par les travailleurs exposés au rayonnement (ce qui équivaut à une dose maximale de trois rem lorsque l'organe intéressé est le corps entier, les gonades ou la moëlle osseuse rouge)*; on admet que cela représente, au maximum, un millième (10^{-3}) de la matière échappée.
(En d'autres termes, la proportion du contenu d'un colis qui peut pénétrer dans le corps d'une personne en conséquence de la perte de confinement, à la suite d'un accident 'moyen', d'une matière susceptible de s'échapper et de se disperser, c'est-à-dire d'une forme non spéciale, peut atteindre, mais non dépasser, un millionième (10^{-6})).

L'activité calculée à partir des hypothèses i) et iii) est appelée la limite A_1 . Ceci ne s'applique par définition qu'aux matières sous forme spéciale. Le chiffre obtenu à partir des hypothèses ii) et iv) pour les matières sous forme non spéciale est appelé la valeur A_3 . Pour la plupart des radionucléides, elle est supérieure à la limite A_1 . Les hypothèses i) et iii) sont toutefois considérées comme supérieures à ii) et iv) (parce que, de toute évidence, elles procurent un supplément de sécurité). En conséquence, l'activité la plus forte d'une matière sous forme non spéciale qu'on peut expédier dans un colis du type A, désignée sous le terme de limite A_2 , ne doit pas dépasser la plus basse des valeurs A_1 et A_3 . Les deux limites sont toutefois assujetties à un maximum arbitraire absolu de 1000 curies.

On ne compte pas que des colis de cette catégorie puissent survivre intacts à un accident, mais il faut qu'ils puissent résister, sans perte ni dispersion du contenu radioactif, et sans élévation du niveau maximal de rayonnement à leur surface extérieure, à ce qu'on appelle des "conditions normales de transport". Ces dernières comprennent les milieux environnants, les forces extérieures et les diverses mésaventures qu'un envoi peut subir, à savoir être exposé à la pluie, tomber, être heurté par un objet long et pointu ou supporter le poids d'autres colis empilés dessus. Pour que ces conditions soient remplies, le Règlement prescrit que, lors de la conception de l'emballage, il faut tenir compte des variations de température (de -40 à $+70^\circ\text{C}$), de pression (jusqu'à la valeur minimum nominale de 0,25 atmosphère), des efforts subis lors du levage (notamment le levage "à l'arraché"), et

* Les recommandations et notions du document ICRP-26 n'ont pas encore été incorporées au Règlement.

Tableau 2. Quantités maximales de certains radionucléides admissibles dans les colis du type A ou Exempté* (en curies)

Radionucléide	Colis du type A		Colis exemptés		Etat liquide
	FS	FNS	FS**	FNS**	
Américium 241	8	0,008	0,008	8×10^{-6}	8×10^{-7}
Or 198	40	40	0,04	0,04	0,004
Carbone 14	1000	100	1	0,1	0,01
Cobalt 57	90	90	0,09	0,09	0,009
Cobalt 58	20	20	0,02	0,02	0,002
Cobalt 60	7	7	0,007	0,007	7×10^{-4}
Chrome 51	600	600	0,6	0,6	0,06
Caesium 137	30	20	0,03	0,02	0,002
Gallium 67	100	100	0,1	0,1	0,01
Tritium #	1000/20	1000/20		voir note	
Iode 125	1000	70	1	0,07	0,007
Iode 131	40	10	0,04	0,01	0,001
Iridium 192	20	20	0,02	0,02	0,002
Krypton 85 +	20/0,6	20/0,6	$0,2/6 \times 10^{-4}$	$0,02/6 \times 10^{-4}$	—
Neodymium 147	100	100	0,1	0,1	0,01
Polonium 210	200	0,2	0,2	2×10^{-4}	2×10^{-5}
Scandium 46	8	8	0,008	0,008	8×10^{-4}
Strontium 90	10	0,4	0,01	4×10^{-4}	4×10^{-5}
Technétium ^{99m} § (Molybdène 99)	100(100)	100(100)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,01 (0,01)
Thallium 201	200	200	0,2	0,2	0,02

(FS désigne les matières "sous forme spéciale" selon la définition donnée par le Règlement [1];

FNS désigne les matières qui ne sont pas sous forme spéciale).

* Extrait du tableau VII du Règlement [1].

** Si la source se trouve dans un instrument, montre ou objet analogue, ces limites sont 10 fois plus élevées pour chaque article. Un colis peut contenir jusqu'à 100 de ces articles.

La limite supérieure s'applique au tritium en phase gazeuse (comprimé ou non), au tritium contenu dans la peinture lumineuse, à l'eau tritiée ou absorbée dans un support solide; la limite inférieure s'applique au tritium sous d'autres formes. Les colis exemptés peuvent contenir jusqu'à 20 Ci de tritium en phase gazeuse, dans la peinture lumineuse ou absorbé dans un support solide; pour l'eau tritiée jusqu'à 1000 Ci lorsque la concentration est inférieure à 0,1 Ci/l, jusqu'à 100 Ci pour les concentrations de 0,1 à 1,0 Ci/l et 1 Ci pour les concentrations supérieures à 1,0 Ci/l.

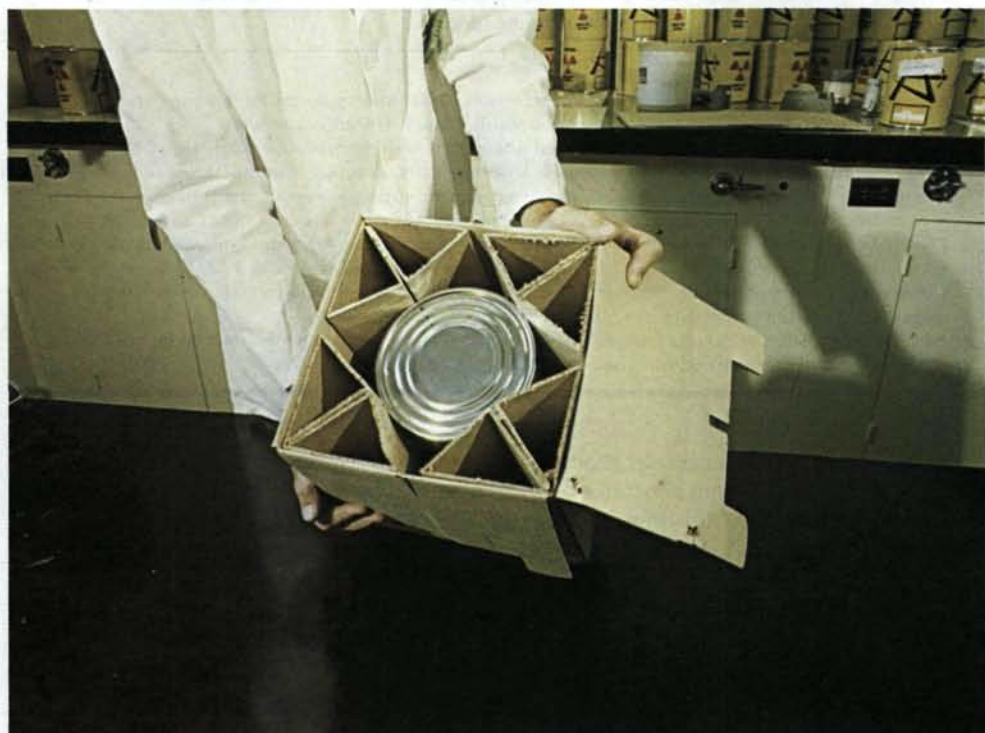
+ Les deux chiffres s'appliquent respectivement aux états non comprimé (pression atmosphérique) et comprimé (pression supérieure à la pression atmosphérique).

§ Le technétium 99m est expédié tel quel ainsi que sous la forme d'un générateur de technétium contenant principalement du molybdène 99, père nucléaire.

des effets des vibrations et accélérations. Les colis doivent également satisfaire à certaines normes, la conformité étant constatée au moyen de plusieurs épreuves: l'épreuve d'asper-sion d'eau; l'épreuve de chute libre (sur une cible dure et résistante); l'épreuve de pénétration (qui comporte la chute sur le colis d'une barre allongée et pesante) et une épreuve de compression (destinée à simuler l'empilage des colis). Lorsque les colis contiennent des matières liquides ou gazeuses, les hauteurs prescrites pour les épreuves de chute libre et de pénétration sont plus fortes que pour les solides, compte tenu des différences de propriétés rhéologiques, qui rendent probable la fuite d'une plus grande partie du contenu lorsqu'il s'agit d'un liquide. (L'effet général de ces augmentations est de réduire la probabilité de détérioration d'un colis au cours d'opérations de transport normales).



Photos 1a, 1b. Composants et montage d'un colis du type A.





Photos 2a, 2b. Composants et montage de divers modèles d'emballages du type A.



Les colis du type A doivent également satisfaire à d'autres exigences en matière de taille minimum (afin qu'on ne puisse les empocher et les mettre ainsi au contact du corps); de qualité des joints soudés, brasés ou autres; de la sécurité de fermeture du système de confinement et de rétention de la matière radioactive à l'intérieur de l'écran de protection; de caractéristiques extérieures de l'emballage et, en ce qui concerne les dispositions du Règlement qui s'appliquent d'une façon générale aux niveaux de rayonnement externe, à la contamination non fixée et à l'étiquetage.

COLIS EXEMPTES

La catégorie Exemptée* permet d'expédier de petites quantités de matières radioactives à relativement peu de frais mais dans des conditions de sécurité comparables à celles du colis du type A, voire supérieures. Elle repose essentiellement sur l'une des hypothèses de base de la catégorie du type A, à savoir que lorsqu'une matière quelconque, sous forme non spéciale, s'échappe à la suite de la détérioration d'un envoi, il n'en pénètre au maximum qu'un millième dans le corps d'une personne. Cette notion est corroborée par l'expérience [5].

La caractéristique essentielle de cette catégorie est que l'emballage ne doit être conforme qu'à quelques exigences réglementaires de caractère général; les considérations de conception et les normes de résistance prescrites pour les colis du type A, que nous venons d'exposer, ne sont pas applicables (d'où l'appellation "Exemptés"). Outre cette exemption, on suppose qu'en cas d'accident moyen, la totalité et non pas seulement un millième s'échapperait du contenu du colis. En conséquence, vu l'hypothèse iv) exposée plus haut, l'activité maximale des matières sous forme non spéciale admissibles dans un colis exempté doit être limitée à un millième de A_2 . Cette limite s'applique aux contenus solides et gazeux; elle est encore réduite à un dix-millième de A_2 pour les liquides, en prévision du cas où plus d'un millième des matières ainsi répandues serait absorbé. Par voie de conséquence logique, l'activité d'une matière sous forme spéciale est limitée dans un colis à un millième de A_1 ce qui, en fait, donne une sécurité supérieure à celle d'un colis du type A contenant A_1 curies, car le rayonnement à trois mètres des deux sources après une perte totale de l'écran protecteur, qui est censée se produire dans un accident moyen, serait respectivement de 1 mrem/h et de 1 rem/h. Les quantités de tritium sous forme élémentaire ou composée admises dans les colis de la catégorie Exemptée ont été établies selon des modèles quelque peu différents [10].

Lorsque le conteneur du radionucléide constitue une partie d'un article manufacturé, telle qu'une jauge, une montre ou un appareil similaire, on tient compte de la résistance accrue offerte par la structure et les limites sont portées à un centième de A_1 ou A_2 curies par article, selon la forme de la matière, et A_1 ou A_2 curies par colis, ce qui signifie que l'on peut emballer ensemble 100 articles ou davantage.

Toutes les dispositions ci-dessus sont en tout état de cause impérativement assujetties à l'une des deux conditions suivantes ou au deux: le niveau du rayonnement ne doit dépasser 10 mrem/h en aucun point situé à 10 cm au-dessus de la surface de l'appareil non emballé ni 0,5 mrem/h à la surface du colis. En cas de non-observation de l'une ou l'autre de ces restrictions, il faut employer un colis du type A. Les colis de la catégorie Exemptée ne sont pas assujettis aux prescriptions du Règlement généralement applicables en matière d'étiquetage mais ils doivent comporter une étiquette intérieure avertissant que le contenu est radioactif. Ils doivent également respecter, quant à la surface extérieure, les limites assignées à la contamination radioactive non fixée.

* Egalement appelée catégorie des quantités limitées dans certains règlements.

Les documents publiés ne contenant pratiquement aucune information sur les colis de cette catégorie, il est impossible d'en décrire les formes caractéristiques.

COLIS FAS

La catégorie FAS permet l'expédition de substances de faible activité spécifique: l'uranium et le thorium sous forme de minerais, de concentrés physiques ou chimiques, ou à l'état métallique (à condition que la matière n'ait été ni enrichie ni irradiée), l'eau contenant jusqu'à 10 Ci par litre de tritium et les matières et objets à faible contamination radioactive (sous certaines réserves). Ces colis ne présentent qu'un risque insignifiant lorsque leur contenu se répand accidentellement, car la quantité qu'il faudrait absorber pour subir un rayonnement tant soit peu important serait énorme par rapport aux autres matières radioactives (de l'ordre du milligramme et non du nanogramme [11]). On juge inconcevable qu'une telle absorption puisse être occasionnée en cours de transport, même dans le cas d'un accident grave. C'est pourquoi les prescriptions du Règlement en matière de confinement sont beaucoup moins rigoureuses. Les matières peuvent être expédiées en vrac, ce qui signifie que le confinement est uniquement assuré par la structure du véhicule (sauf dans les transports aériens), ou dans pratiquement n'importe quel genre de colis; aucune norme de résistance n'est prescrite.

On les loge toutefois d'ordinaire dans deux sortes de conteneurs: des fûts en acier d'une capacité de 210 litres (55 gallons des Etats-Unis) et des cylindres en acier de diverses capacités allant jusqu'à 4 mètres cubes environ. Les fûts sont le plus souvent en tôle d'acier à basse teneur en carbone, d'une épaisseur de 1,2 mm. Ceux qui sont destinés au transport de matières solides telles que gâteau jaune, oxyde d'uranium en poudre et déchets radioactifs de faible activité sont munis de couvercles amovibles; ceux qui sont destinés au transport de l'eau tritiée ou d'autres liquides sont hermétiques. Les cylindres servent d'ordinaire au transport de l'hexafluorure d'uranium à l'état solide; ce sont le plus souvent des récipients à pression conformes aux prescriptions du pays d'origine relatives à ce genre d'emballage, par exemple celles de l'ASME (American Society of Mechanical Engineers), chap. VIII. Le modèle le plus grand, et probablement le plus communément employé, porte la désignation 48Y et a les dimensions nominales de 1,22 m de diamètre par 3,81 m de long, l'épaisseur de la paroi étant 15,8 mm, et peut transporter 12 500 kg d'hexafluorure d'uranium [12]. Il est représenté sur la photo 3. Les sables monazités, minéral contenant de 6 à 7 pour cent d'oxyde de thorium, sont transportés en sacs de jute doublés de plastique ou de papier, pesant environ 45 kg à plein [13].

Les colis FAS expédiés en "chargement complet", c'est-à-dire lorsque toutes les opérations de chargement, de déchargement et de manutention sont contrôlées par l'expéditeur, le destinataire ou leur agent, sont exemptés des prescriptions réglementaires d'application générale relatives à l'étiquetage et à la contamination non fixée. Dans d'autres circonstances, lorsque le colis est expédié conformément aux pratiques habituelles, ces prescriptions doivent être observées.

Références

- [1] Agence internationale de l'énergie atomique, Règlement de transport des matières radioactives (Edition révisée de 1973), Collection Sécurité N° 6, AIEA, Vienne (1973).
- [2] Agence internationale de l'énergie atomique, Règlement de transport des matières radioactives (Edition de 1967), Collection Sécurité N° 6, AIEA, Vienne (1967).
- [3] Nuclear Regulatory Commission: NUREG-0073, Transport of Radioactive Material in the US. (A Detailed Summary of "Survey of Radioactive Material Shipments in the United States", BNWL - 1972), Washington D.C. (mai 1976).

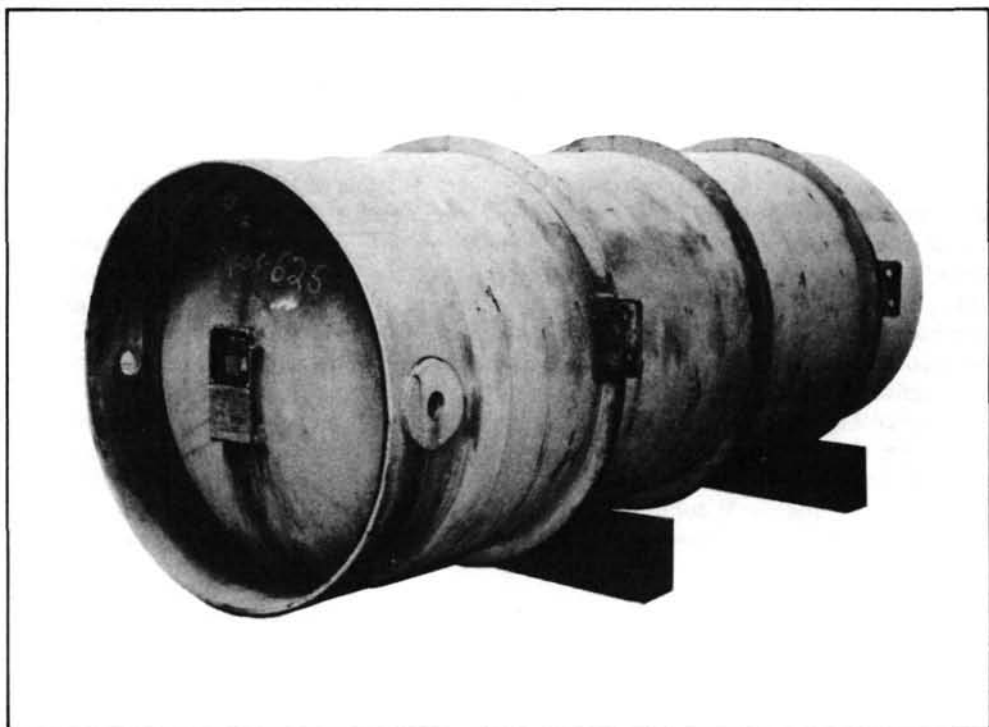


Photo 3. Cylindre de modèle 48Y pour le transport de l'hexafluorure d'uranium (UF₆).

- [4] Amiel, S., "Production and Utilization of Radioisotopes: Some General Aspects", Radioisotope Production and Quality Control, Technical Reports Series No. 128, AIEA, Vienne (1971) 7.
- [5] Fairbairn, A., "The Development of the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials", Atomic Energy Review, II (1973) 873.
- [6] Domanus, J.C., "Analysis of design and test requirements and procedures for Type A packaging" (IAEA-SM-147/35, Proc. Symp., Vienne 1971), AIEA, Vienne (1971) 65.
- [7] Prasad, A.N., et autres, "Experience with packaging for the transport of radioactive materials" (IAEA-SM-147/36, Proc. Symp., Vienne 1971), AIEA, Vienne, (1971) 129.
- [8] Edling, D.A., "Analyse des systèmes d'emballage du Type A, fondée sur plus de 400 essais individuels", (IAEA-SR-10/2, Compte rendu d'un séminaire international, Vienne, 1976) AIEA, Vienne (1976) 113.
- [9] Taylor, C.B.G., "L'emballage et le transport des radioisotopes", (IAEA-SR-10/45, Compte rendu d'un séminaire international, Vienne, 1976) AIEA, Vienne (1976) 71.
- [10] Agence internationale de l'énergie atomique, Directives pour l'application du Règlement de transport de l'AIEA; Collection Sécurité N° 37, AIEA, Vienne (1973).
- [11] International Atomic Energy Agency, "A Basic Toxicity Classification of Radionuclides", Technical Reports Series N° 15, AIEA, Vienne (1963).
- [12] United States Energy, Research and Development Administration, "Uranium Hexafluoride Handling Procedures and Container Criteria", ORO-651, Rev. 4, Oak Ridge Operations Office, Oak Ridge, Tennessee, (avril 1977).
- [13] Gibson, R., Ed., "The Safe Transport of Radioactive Materials", Pergamon Press, Londres (1966).