

Le transport des matières radioactives

par G.E. Swindell

On transporte dans le monde entier une quantité croissante de matières radioactives très diverses, qui vont des produits radiopharmaceutiques et des composés isotopiques servant au diagnostic en médecine nucléaire aux combustibles épuisés et aux déchets de très haute activité issus des centrales nucléaires et des usines de retraitement.

Le transport terrestre, maritime et aérien de toutes ces matières est assujéti à des réglementations qui, partout, reposent aujourd'hui sur le Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA [1]. Ces réglementations sont faites pour assurer la protection du personnel de transport, du public et de l'environnement contre les risques de rayonnement externe, la diffusion de la contamination radioactive et, dans le cas des matières fissiles, la criticité.

Les emballages dans lesquels les matières sont transportées comportent eux-mêmes, dans la mesure du possible, les éléments de sûreté nécessaires. Dans la grande majorité des cas, le transporteur peut traiter les colis comme s'il s'agissait d'autres produits dangereux. Le personnel de transport, qui n'a généralement pas reçu de formation spécialisée, doit observer quelques règles relativement simples portant sur l'empilage des colis et la nécessité de les tenir à l'écart des personnes et des pellicules photographiques vierges.

CONCEPTION ET ESSAI DES EMBALLAGES

Lorsqu'elles sont en très faibles quantités, les matières radioactives, soit telles quelles soit incorporées à d'autres objets, peuvent être transportées dans des emballages d'un modèle ne comportant aucun dispositif spécial.

En quantités plus fortes, comme par exemple dans le cas des produits servant au diagnostic en médecine nucléaire et à la recherche, on les transporte dans des emballages du type A, capables de résister à des conditions de transport normales, qui peuvent bien entendu comporter des manipulations assez brutales. En cas d'accident grave, il arrive qu'un emballage du type A soit rompu et qu'une partie de son contenu se répande à l'extérieur. C'est pourquoi les règlements fixent l'activité maximale de chacun des radionucléides ainsi transportés. Pour obtenir le classement dans la catégorie du type A, des modèles de l'emballage doivent subir une série d'épreuves qui reproduisent la détérioration susceptible d'être causée par de petits accidents dans des circonstances de transport normales.

En quantités plus grandes encore, les matières radioactives — qu'il s'agisse de sources radioactives scellées destinées à l'usage médical ou industriel, de combustible nucléaire épuisé, de déchets de haute activité ou de produits très radiotoxiques — doivent être transportées dans des emballages du type B conçus pour résister à des accidents très graves dans tous les modes de transport sans que le confinement ou la fonction-écran soit compromis. Les emballages du type B doivent subir une série supplémentaire d'épreuves qui reproduisent les dégâts susceptibles d'être causés par des accidents comportant des chocs très graves, par le feu ou par l'immersion dans l'eau. Le modèle d'un emballage du type B doit être approuvé

M. Swindell dirige la Section de la sécurité radiologique de la Division de la sûreté nucléaire et de la protection de l'environnement à l'AIEA.

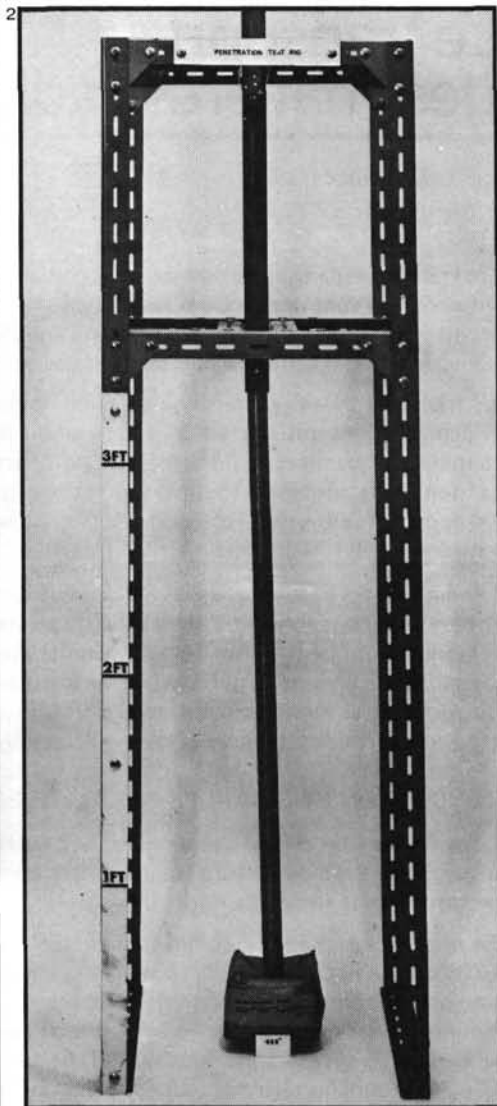
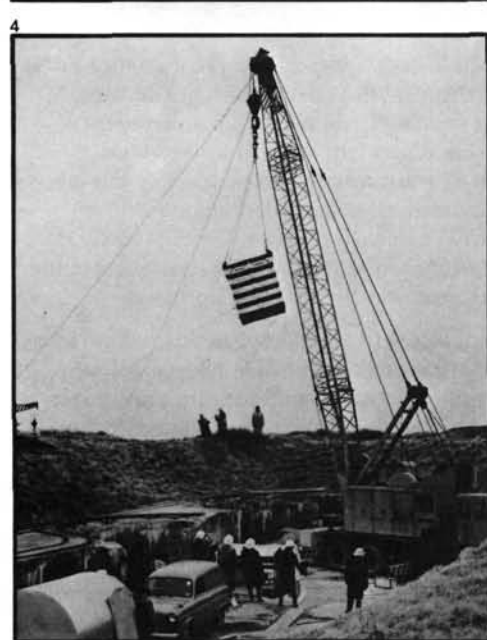
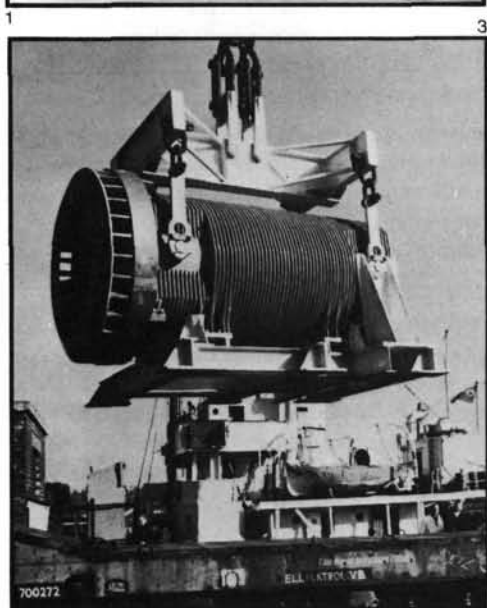
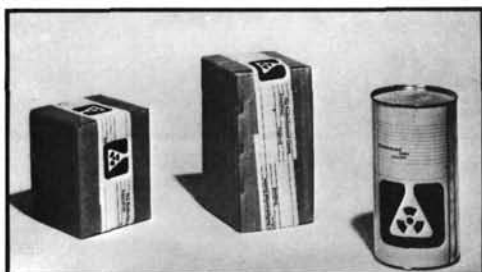


Figure 1. Le règlement prescrit deux types d'emballage: A et B. L'illustration représente des exemples caractéristiques du premier de ces types [2].

Figure 2. Matériel servant aux épreuves de pénétration des emballages du type A [3].

Figure 3. Pour le transport des matières de haute activité, tel le combustible épuisé, on se sert d'emballages du type B, dont le château Excellox représenté ici offre un exemple caractéristique [4].

Figure 4. L'emballage du type B subit, entre autres épreuves difficiles, celle de la chute, représentée ici [5].

en toute indépendance par une autorité nationale compétente sur le vu d'un rapport d'analyse de sûreté. La réglementation ne limite pas l'activité des radionucléides transportés en emballages du type B, mais le certificat d'homologation d'un emballage donné précise bien entendu une limite.

VOLUME DU TRAFIC ET ESTIMATIONS DES DOSES DE RAYONNEMENT

Plusieurs pays et notamment les Etats-Unis ont recueilli d'abondants renseignements sur le nombre annuel des expéditions de diverses matières radioactives ainsi que sur les doses collectives et sur les doses individuelles maximales reçues, dans des circonstances normales de transport, par le personnel de transport et par certains groupes du public.

Les tableaux I, II et III en donnent quelques exemples:

TABLEAU I. [6]
Récapitulation des expéditions de matières radioactives aux Etats-Unis

Type d'expédition	1975		1985 (projection)	
	Colis par an	Curies par an	Colis par an	Curies par an
En quantités limitées	$7,03 \times 10^5$	$2,14 \times 10^3$	$1,83 \times 10^6$	$5,50 \times 10^3$
Produits à usage médical	$9,10 \times 10^5$	$5,78 \times 10^6$	$1,71 \times 10^6$	$1,50 \times 10^7$
Produits à usage industriel	$2,15 \times 10^5$	$9,39 \times 10^6$	$5,63 \times 10^5$	$2,47 \times 10^7$
Cycle du combustible	$2,04 \times 10^5$	$5,32 \times 10^8$	$8,36 \times 10^6$	$8,41 \times 10^9$
Déchets	$1,52 \times 10^5$	$2,68 \times 10^5$	$6,27 \times 10^5$	$1,11 \times 10^6$
Total	$2,19 \times 10^6$	$5,48 \times 10^8$	$5,57 \times 10^6$	$8,45 \times 10^9$

TABLEAU II [7]
Estimations de la dose collective annuelle totale et de la dose individuelle moyenne aux personnes du public aux Etats-Unis

	1975	1985
Dose annuelle totale à la population (en hommes-rem)	9 790	25 400
Dose individuelle moyenne en 1975	$= \frac{9\,790}{20 \times 10^6} = 0,5 \text{ mrem}$	

TABLEAU III. [8]**Récapitulation des doses individuelles maximales annuelles dues au transport des matières radioactives aux Etats-Unis**

Sous-groupe de la population	Dose max. (moyenne) probable pour 1975 (en mrem)	
Passagers des lignes aériennes	108	(0,34)
Personnel de cabine	13	(2,9)
Equipage (avions transportant des passagers)	2,5	(0,53)
Equipage (avions cargos)	61	(12)
Equipage (autres transports aériens)	5	
Conducteurs de camions ouverts	870	
Conducteurs de camions fermés	70	
Personnel de convoi ferroviaire	1,2	
Equipages de navires	3,7	
Manutentionnaires	500	
Autres personnes présentes (transport aérien de passagers)	85	
Autres personnes présentes (avions cargos)	106	
Autres personnes présentes (autres transports aériens)	60	
Autres personnes présentes (camions)	1,3	
Autres personnes présentes (transport ferroviaire)	1,65	
Hors itinéraire (camions)	0,009	
Hors itinéraire (chemin de fer)	0,017	
Sur itinéraire (camions)	1,9	
Magasiniers (chemin de fer)	25	

ACCIDENTS DE TRANSPORT

Des accidents se produisent dans tous les modes de transport, et il est inévitable que certains d'entre eux intéressent des colis de matières radioactives. Aux Etats-Unis, les règlements du Département des transports prescrivent la présentation de rapports sur les incidents qui se produisent avec des matières dangereuses. De 1971 à 1975, il en a été présenté environ 32 000. Sur ce nombre, 144 concernent des colis de matières radioactives, et dans 36 cas on a signalé une fuite du contenu. Aucun accident n'a entraîné de fuite du contenu d'emballages du type B [9], mais il y a eu des fuites dans quelques-uns d'entre eux par suite d'un mauvais montage. Le perfectionnement des programmes d'assurance de la qualité permettra d'éviter de tels incidents à l'avenir.

Ces résultats indiquent que les normes actuelles des emballages correspondent aux besoins. Il faudrait néanmoins réunir des renseignements statistiques sur les accidents dans le monde entier. L'Agence a élaboré un projet de collecte de renseignements sur le nombre d'accidents par rapport au volume total du trafic des matières radioactives.

Bien que la sûreté paraisse avoir été assurée jusqu'à présent de façon satisfaisante, un certain nombre de pays ont entrepris des études sur les risques que pourra comporter à l'avenir le transport des matières nucléaires.

Le tableau IV donne, pour les régions des Etats-Unis à forte densité de population, une évaluation de la probabilité d'accident grave et l'engagement de dose collective qui en résulterait. Le tableau V compare les risques de mort prématurée due à des accidents de transport avec ceux qui résultent d'autres accidents.

TABLEAU IV [10]

Estimations de la probabilité d'accident grave (classe VIII) dans les régions des Etats-Unis à forte densité de population et engagement de dose collective qui en résulte

Matière transportée	Probabilité d'accident grave		Engagement de dose collective (en hommes-rem)	Organes intéressés
	1975	1985		
Co-60 315 000 Ci	$1,02 \times 10^{-10}$	$2,55 \times 10^{-10}$	284	Organisme entier
Pu $1,23 \times 10^6$ Ci	$1,06 \times 10^{-11}$	$1,06 \times 10^{-11}$	$3,15 \times 10^6$ $1,11 \times 10^7$	Poumon Os
Combustible épuisé (château de transport, chemin de fer)	$1,8 \times 10^{-10}$	$6,91 \times 10^{-9}$	1400 $2,85 \times 10^4$	organisme entier poumon
Combustible épuisé (château de transport, camion)	$2,99 \times 10^{-9}$	$1,8 \times 10^{-8}$	215 4450	organisme entier poumon

TRANSPORT AERIEN DU PLUTONIUM

Certaines inquiétudes se sont manifestées dans plusieurs pays au sujet de la sûreté du transport aérien du plutonium. Aux Etats-Unis, la loi 94-79, passée en août 1975, impose à la Nuclear Regulatory Commission les restrictions suivantes:

"La Nuclear Regulatory Commission n'autorisera aucun transport par air de plutonium, sous quelque forme que ce soit, qu'il s'agisse d'exportations, d'importations ou de transports intérieurs. Le plutonium, sous quelque forme que ce soit, contenu dans un appareil

médical destiné aux soins individuels à l'homme, est toutefois exempté de cette interdiction. Cette interdiction restera en vigueur jusqu'à ce que la Nuclear Regulatory Commission ait certifié à la Commission commune de l'énergie atomique du Congrès qu'on a créé et mis à l'épreuve un récipient résistant à la rupture lorsqu'il est soumis à un essai d'écrasement ou d'éclatement équivalent à l'écrasement au sol et à l'explosion d'un aéronef volant à haute altitude".

Les Sandia Laboratories viennent de mettre au point un emballage apte au transport aérien du plutonium, le modèle PAT-1, qui répond aux spécifications de la NRC [12]. Ces spécifications reprennent les limites relatives au dégagement de radioactivité, à la suite d'accidents, stipulées dans le Règlement de transport de l'AIEA. Le modèle d'emballage sur lequel un rapport d'analyse de sûreté vient d'être publié [13] a été homologué et reconnu apte à résister à de graves accidents aériens.

TABLEAU V. [11]
Risque individuel de mort prématurée due à des causes diverses (UNSRC-WASH-1400)

Type d'accident	Nombre annuel	Risque individuel par an
Automobile	$5,5 \times 10^4$	1 sur 4 000
Chute	$1,8 \times 10^4$	1 sur 10 000
Incendie	$7,5 \times 10^3$	1 sur 25 000
Noyade	$6,2 \times 10^3$	1 sur 30 000
Voyage aérien	$1,8 \times 10^3$	1 sur 100 000
Chute d'objets	$1,3 \times 10^3$	1 sur 160 000
Electrocution	$1,1 \times 10^3$	1 sur 160 000
Foudre	160	1 sur 2 000 000
Tornade	91	1 sur 2 500 000
Ouragan	93	1 sur 2 500 000
100 réacteurs nucléaires	3×10^{-3} *	1 sur 5 000 000 000
Transport des matières radioactives (décès dû à la radioactivité)	$3,5 \times 10^{-4}$ **	1 sur 200 000 000 000***

* Estimation statistique.

** Estimation statistique pour 1975.

*** Dans l'hypothèse où le risque est couru par une population de 75 millions de personnes.

EXPERIENCE DU TRANSPORT DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE EPUISE

L'expérience considérable acquise dans le transport international du combustible nucléaire épuisé a été exposée à la Conférence internationale de l'énergie d'origine nucléaire et de son cycle du combustible tenue à Salzbourg en mai 1977. La communication de M. H.W. Curtis [14] présente un intérêt particulier car elle relate la constitution par la Transnuklear GmbH, la Transnucléaire S.A. et la British Nuclear Fuels Ltd. d'une société internationale intitulée Nuclear Transport Limited, dont l'objet est de fournir à United

Reprocessors un service de transport de combustible épuisé en provenance des réacteurs à eau légère européens. Quinze d'entre ces derniers ont déjà expédié un total de 400 tonnes de combustible à uranium épuisé. Un assortiment de châteaux banalisés permet de transporter le combustible par route, par fer ou par mer, le choix du mode de transport dépendant en grande partie de l'emplacement des réacteurs et des usines de retraitement. Ce service fonctionne de façon satisfaisante, et les difficultés qui se sont présentées ont été surmontées. Il y a eu entre autres l'accumulation dans le château d'un dépôt formé par écaillage des surfaces du combustible, ce qui aggrave la radioexposition du personnel; la contamination radioactive qui ressort des surfaces des châteaux après leur nettoyage; les difficultés d'accès au site du réacteur et aux piscines de stockage du combustible; enfin la nécessité d'assurer en temps utile l'entretien des véhicules de transport. La sûreté a été impeccable et aucun accident ne s'est produit en huit années de fonctionnement.

A l'avenir on utilisera probablement des château plus grands, pesant de 75 à 100 tonnes et pouvant contenir de 1,2 à 5 tonnes de combustible à l'uranium. Ces châteaux lourds exigent le transport par rail ou par mer. On tiendra aussi à normaliser les modèles de châteaux et à affecter les conteneurs, qui porteront alors des marques spéciales, à des pays particuliers, voire par la suite à des usines de retraitement et à des réacteurs particuliers.

PROTECTION PHYSIQUE DU COMBUSTIBLE EPUISE EN COURS DE TRANSPORT

C'est pendant le transport que le combustible épuisé est probablement le plus exposé à l'agression ou au vol. Il y a donc lieu de prendre des mesures particulières pour sa protection. Ces mesures s'ajoutent en général à celles qu'exige la protection des personnes et de l'environnement contre les dégâts susceptibles d'être causés par le contenu radioactif des colis. L'Agence a pris l'initiative de faire élaborer par la communauté internationale des recommandations pour la protection physique en cours de transport [15]. Il y est entre autres recommandé:

- de réduire au minimum la durée totale du transit des matières nucléaires;
- de réduire au minimum la durée et le nombre de ruptures de charge en cours de transit;
- d'éviter d'appliquer des horaires de transport réguliers;
- de s'assurer au préalable que toutes les personnes participant au transport sont dignes de confiance;
- d'informer à l'avance le destinataire;
- de limiter l'emploi de marques spéciales sur les véhicules et l'appel à des moyens de transmission accessibles au public pour la communication des renseignements concernant les envois;
- de sélectionner les méthodes de transport et les itinéraires;
- de fournir, dans certains cas, des escortes ou des gardiens chargés de donner l'alarme en cas de besoin, d'accélérer les manutentions et d'éviter les erreurs d'itinéraire.

Références

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Règlement de transport des matières radioactives, édition révisée de 1973, Collection Sécurité N° 6. AIEA, Vienne (1973).
- [2] DIXON, F.E., COHEN, L.R., "Testing Type A Packagings", (C.R., Séminaire sur les prescriptions concernant les essais des emballages pour le transport des matières radioactives, Vienne 1971), AIEA, Vienne (1971) 94.
- [3] Ibid., p. 101.

- [4] WILLIAMSON, S., "Application of Import Testing to Irradiated Fuel Flasks", *ibid.*, p. 565.
- [5] DIXON, F.E., DAVIES, A.J., COHEN, L.R., "Furnace and Drop Testing of Type B Packagings", *ibid.*, p. 179.
- [6] D'après les tableaux 1-2, US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, "Final Environmental Statement on the Transportation of Radioactive Material by Air and other Modes", NUREG-0170, Docket N° PR-71, 73 (40FR23768), (décembre 1977).
- [7] D'après les tableaux 4-20, *ibid.*
- [8] Tableaux 4-19, *ibid.*
- [9] PLATT, A.M. et coll., "L'expérience du transport des matières radioactives aux Etats-Unis", (C.R., Conférence internationale sur l'énergie d'origine nucléaire et son cycle du combustible, Salzbourg, 2-13 mai 1977), 4, AIEA, Vienne (1977) 781.
- [10] D'après les tableaux 5-12, US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, "Final Environmental Statement on the Transportation of Radioactive Material by Air and Other Modes", NUREG-0170, USNRC, Docket N° PR-71,73 (40FR23768), (décembre 1977).
- [11] Tableaux 5-16, *ibid.*
- [12] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, "Qualification Criteria to Certify a Package for Air Transport of Plutonium", NUREG-0360 (janvier 1978).
- [13] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, "Plutonium Air Transportable Package Model PAT-1", NUREG-0361 (juin 1978).
- [14] CURTIS, H.W., "Expérience de transport de combustible irradié en Europe - Les quatre cents premières tonnes", (C.R., Conférence internationale sur l'énergie d'origine nucléaire et son cycle du combustible, Salzbourg, 2-13 mai 1977) 4, AIEA, Vienne (1977) 767.
- [15] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, La protection physique des matières nucléaires, INFCIRC/225/Rev.1, AIEA, Vienne (1977).