

## EVALUATION DES PROBABILITES D'ACCIDENT LORS DU TRANSPORT ROUTIER DE MATIERES RADIOACTIVES

J. DRAULANS, I. LAFONTAINE

Transnubel,  
Dessel, Belgique

P. GILLES, G. CHEVALIER

Commissariat à l'énergie atomique,  
Fontenay-aux-Roses, France

### Abstract-Résumé

#### EVALUATION OF ACCIDENT PROBABILITIES DURING THE ROAD TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIALS.

The number of packages containing radioactive materials transported by road in Belgium during the reference year (1977) was 65 181, of which 14 686 were Type B and 50 495 were industrial Type A packages. These packages were conveyed in 9380 journeys representing 0.35 million vehicle kilometres. The ratio of the transport of radioactive materials to that of freight conveyors (lorries) and general traffic is of the order of  $1.2 \times 10^{-4}$  and  $1.2 \times 10^{-5}$ , respectively. These figures show that the transport of radioactive materials accounts for a minimally small proportion of the general traffic, even though it makes a significant contribution in the field of medicine, research and industry. Surveys of accidents which have occurred during the transport of hazardous materials, especially radioactive materials, have been carried out in different European countries and the United States of America and it has emerged that the number of accidents involving radioactive materials is extremely small. Conclusions have been drawn from these statistics regarding the configuration of accidents, the obstacle encountered, the energy absorption capacity of the vehicle and the speed of impact. One of these conclusions is that the average probability of an accident occurring in Europe is of the order of 50-63% for accidents with head-on impact and 9-41% for accidents with lateral impact. An average severe accident rate per kilometre for Europe has been determined for light vehicles (total permissible laden weight  $\leq 3.5$  t) and heavy vehicles (total permissible laden weight  $\geq 3.5$  t), which is  $8 \times 10^{-7}$  and  $4 \times 10^{-8}$ , respectively.

#### EVALUATION DES PROBABILITES D'ACCIDENT LORS DU TRANSPORT ROUTIER DE MATIERES RADIOACTIVES.

Le nombre de colis contenant des matières radioactives transportés par la route en Belgique pendant l'année de référence (1977), a été de 65 181 dont 14 686 de type B et 50 495 de types industriel et A. Ces colis ont été acheminés en 9380 transports représentant 0,35 million de véhicules-kilomètres. Le rapport du transport de matières radioactives avec celui du trafic «fret» (camions) et du trafic général est de l'ordre, respectivement, de  $1,2 \times 10^{-4}$  et  $1,2 \times 10^{-5}$ . Ces valeurs montrent que le transport de matières radioactives participe pour une part minime au trafic général tout en faisant partie d'une activité médicale, de recherche et industrielle non négligeable. D'autre part, des relevés d'accidents survenus lors du transport de marchandises dangereuses et, notamment, de matières radioactives ont été effectués pour divers pays

européens et les Etats-Unis. Il est apparu que le nombre d'accidents pour lesquels des matières radioactives sont concernées est excessivement faible. De ces statistiques, des considérations ont été déduites en ce qui concerne la configuration des accidents, l'obstacle rencontré, la capacité d'absorption d'énergie du véhicule et de la vitesse d'impact. Il en résulte notamment que la probabilité d'occurrence moyenne européenne est de l'ordre de 50 à 63% pour des accidents avec choc frontal et de 9 à 41% pour des accidents avec choc latéral. Un taux moyen européen d'accidents graves par kilomètre a été déterminé pour les véhicules légers (PTAC  $\leq 3,5$  t) et les poids lourds (PTAC  $\geq 3,5$  t) et qui est respectivement de  $8 \times 10^{-7}$  et  $4 \times 10^{-8}$ .

## 1. LE TRANSPORT ROUTIER DE MATIERES RADIOACTIVES PAR RAPPORT AU TRAFIC GENERAL

Une évaluation de l'importance du transport de matières radioactives par rapport au trafic général a été réalisée en 1980 [1]. Un extrait de cette étude est repris ci-après dans le cadre du transport routier.

Rappelons qu'en Belgique l'exécution de transports de substances radioactives, quel que soit le moyen de transport utilisé, y compris les véhicules personnels, ne peut être effectuée que moyennant l'autorisation préalable du ministère de la santé publique. Aussi les détenteurs d'autorisations de transport ont-ils l'obligation d'adresser à l'autorité compétente un relevé mensuel des transports effectués.

Sur la base des relevés mensuels reçus par le ministère de la santé publique au cours de l'année 1977 prise comme référence, il résulte que:

- 78 252 colis de matières radioactives ont été officiellement transportés suivant les divers modes de transport (ferroviaire, aérien et routier); toutefois, certains des colis, ayant été acheminés vers leurs destinataires par deux ou trois modes de transport différents, ont été comptabilisés deux ou trois fois;
- l'activité totale des expéditions a été de 60 millions de curies; cette activité est due principalement aux transports de combustibles irradiés.

Le tableau I donne, à titre d'information, la répartition du nombre de colis acheminés par les trois modes principaux de transport. Il permet de situer le transport routier de ces matières par rapport aux autres modes de transport.

Pour chaque mode de transport, l'activité totale du colis est reprise par type d'emballage, d'une part en types industriel et A groupés, et d'autre part en type B.

Le nombre de transports routiers ou le nombre de tonnes-kilomètres ont été calculés également par type d'emballage.

L'évaluation du trafic routier des matières radioactives par rapport à celui de toutes les marchandises est exposée au tableau II. Celui-ci met en évidence que le transport des matières radioactives, calculé en véhicules-kilomètres, prend une part minime du trafic général et, de ce fait, ne représente pas un élément perturbateur de ce dernier tout en faisant partie d'une activité médicale, de recherche ou industrielle importante en Belgique.

TABLEAU I. TRANSPORTS DE MATIERES RADIOACTIVES (ANNEE 1977)

Type de transport	Ferroviaire		Aérien		Routier		Totaux	
Type de colis	A + I	B	A + I	B	A + I	B	A + I	B
Nombre de colis	9 526	158	3 197	190	50 495	14 686	63 218	15 034
Activité (Ci) <sup>1</sup>	1 643	7 294	390	54 761	3 788	60 X 10 <sup>6</sup>	5 821	60 X 10 <sup>6</sup>
Nombre de transports routiers					7 932	1 448		
Nombre de tonnes-km	14 300	1 900	6 000	3 525				
Nombre de véhicules-km					34 X 10 <sup>4</sup>	1 X 10 <sup>4</sup>		

<sup>1</sup> 1 Ci = 3.70 X 10<sup>10</sup> Bq.

TABLEAU II. EVALUATION DE L'IMPORTANCE DU TRANSPORT DE MATIERES RADIOACTIVES PAR RAPPORT AUX TRAFICS FRET ET ROUTIER

	Trafic routier (véhicules-kilomètres)
Transport de matières radioactives	$3,5 \times 10^5$
Trafic routier «fret» (1973)	$2,8 \times 10^9$
Trafic routier «général» (1973)	$2,8 \times 10^{10}$
Rapport du transport de matières radioactives par rapport:	
– au trafic «fret»	$1,2 \times 10^{-4}$
– au trafic «général»	$1,2 \times 10^{-5}$

TABLEAU III. DISTRIBUTION DES ACCIDENTS EN FONCTION DE LA DIRECTION DE L'IMPACT (%)

Pays	Direction						
	Etats-Unis	Suède	Grande-Bretagne	France	Moyenne		
Frontale	46	38,54	50	53	63	57,9	51,4
Latérale	5	17,07	41	15	9	27,2	19,0
Arrière	12	34,77	9	24	28	7,9	19,3
Retournement	34	7,68	–	–	–	7,0	–
Autres	–	–	–	8	–	–	–
Référence	[4]	[5]	[6]	[7, 8]	[9]		

## 2. STATISTIQUES D'ACCIDENTS

### 2.1. Critères d'accidents

Sur la base des statistiques relevées pour divers pays européens ainsi qu'aux Etats-Unis, les conditions accidentelles ont été groupées en fonction des quatre critères précisés ci-après.

TABLEAU IV. DISTRIBUTION DES ACCIDENTS EN FONCTION DE LEUR NATURE

Nature	CITMD (%)			CEPN (%)	Italie (%)	Etats-Unis (%)	
	1	2	3				
Obstacles fixes	11,5	8,75	8,50	15,3 à 15,4	6	11	17,70
Obstacles mobiles	42,0	40,00	33,25	40,9 à 50,8	72	65	72,62
Renversement	39,0	42,50	51,00	28,1 à 36,6	22	24	7,68
Divers (+ feu)	7,5	8,75	7,25	5,7 à 7,2			2,00
Référence	[10]			[3]	[4]	[4]	[5]

TABLEAU V. DISTRIBUTION DES ACCIDENTS EN FONCTION DE LA VITESSE (%)

Vitesse (km/h)	Pays				
	Belgique	France	République fédérale d'Allemagne	Suède	Etats-Unis
50	54,4	45,5	61,2	40,0	39,0
50- 80	45,4	52,0	37,4	53,0	30,0
80-100 (110)	-	2,5	1,4	7,0	28,0
110	-	-	-		3,0
Référence	[11]	[3]	[12]	[6]	[5]

a) La configuration d'accident: la distribution des accidents en fonction de la direction de l'impact est donnée au tableau III. Comme le montre également ce tableau, il apparaît que le choc frontal représente la configuration d'accidents la plus fréquente et la plus sévère.

b) L'obstacle rencontré: la distribution des accidents en fonction de leur nature est consignée au tableau IV. Si les statistiques française et américaine sont cohérentes en ce qui concerne les accidents contre un obstacle fixe, celles relatives

aux accidents contre un obstacle mobile ou résultant d'un renversement sont divergentes. Cette incohérence est difficile à expliquer. Elle pourrait résulter de modes de conduite différents entre les deux continents.

- c) Capacité d'absorption d'énergie du véhicule: la sévérité d'un choc dépend également de la capacité d'absorption d'énergie de l'obstacle. Contre un obstacle rigide, l'énergie cinétique du véhicule au moment de l'impact doit être absorbée en totalité par le véhicule; l'effet du choc sur le véhicule sera donc le plus grand.
- d) Distribution des accidents en fonction des types de véhicules: Les études du Centre d'étude pour la protection nucléaire permettent de dégager les statistiques suivantes sur le plan du transport français de matières dangereuses [2, 3]:

Camions à 2 ou 3 essieux:	28,1%
Semi-remorques à 3, 4 ou 5 essieux:	68,8%
Camions + remorques:	3,0%

## 2.2. Evaluation des vitesses de véhicules avant et pendant les accidents

### 2.2.1. Vitesse du ou des véhicules avant l'accident

La distribution des accidents (en %) en fonction de la vitesse est donnée au tableau V pour la Belgique, la France, la République fédérale d'Allemagne, la Suède et les Etats-Unis. En ce qui concerne ce dernier pays, la conversion des miles/h en km/h a été adaptée aux vitesses européennes. Par exemple 30 miles/h correspondent à environ 50 km/h.

Deux remarques générales sont à formuler au sujet de la distribution des vitesses. En premier lieu, la vitesse au moment du choc est généralement inférieure à la vitesse à laquelle roulait le véhicule avant l'accident. Ceci est en particulier dû au freinage plus ou moins important qui précède le choc dans la plupart des cas. Deuxièmement, la plupart des véhicules dont il est question ont leur vitesse limitée à 60 km/h en toutes circonstances.

Le tableau V met en évidence qu'une zone de 93 à 99,8% des accidents, dans les pays européens, est couverte en prenant 80 km/h comme limite supérieure pour la vitesse du ou des véhicules avant l'accident.

### 2.2.2. La vitesse au moment de l'impact

Il est admis que la vitesse au moment de l'impact sera inférieure à celle juste avant le moment de l'impact par suite de l'action de freinage de la part du chauffeur. Suivant les informations obtenues auprès de l'UTAC (France), les vitesses à considérer au moment de l'impact et juste avant ce dernier sont respectivement de 50 km/h et de l'ordre de 80 km/h. L'action de freinage contribue donc à une réduction de la vitesse de croisière d'environ 31%.

TABLEAU VI. TAUX MOYEN D'ACCIDENTS PAR KILOMETRE

Pays	Année	Taux d'accidents par km	Référence
Etats-Unis	1966	$1,5 \times 10^{-6}$	[4]
	1967	$1,5 \times 10^{-6}$	
	1968	$1,56 \times 10^{-6}$	
	1969	$1,5 \times 10^{-6}$	
	1970	$1,69 \times 10^{-6}$	
France	1976	1,2 à $1,8 \times 10^{-6}$	[3]
		0,78 à $1,7 \times 10^{-6}$	
Rép. féd. d'Allemagne	—	$1,65 \times 10^{-6}$	[13]

TABLEAU VII. TAUX D'ACCIDENTS GRAVES/KM DANS DIFFERENTS PAYS EUROPEENS

	Type de camion	
	Véhicules légers	Poids lourds
Sur la base de statistiques belges	$8,19 \times 10^{-7}$	$8,45 \times 10^{-8}$
Sur la base de statistiques françaises	$7,6 \times 10^{-7}$	$3,4 \times 10^{-8}$
Sur la base de statistiques de la République fédérale d'Allemagne	—	$4,1 \times 10^{-8}$

### 2.2.3. Probabilités d'accident

Des probabilités d'accident ont été définies aux Etats-Unis, en France, et en Allemagne:

- un taux moyen d'accidents par kilomètre de  $1,52 \times 10^{-6}$  peut être considéré comme conservatif (voir tableau VI);
- un taux moyen d'accidents graves par kilomètre a été également défini pour divers pays européens (voir tableau VII). Il est de  $8 \times 10^{-7}$  pour les véhicules légers et de  $4 \times 10^{-8}$  pour les poids lourds.

## REFERENCES

- [1] LAFONTAINE, I., Trafic général et transport de matières radioactives, Ann. Assoc. Belg. Radioprotection 5 2 (1980).
- [2] DRAULANS, J., LAFONTAINE, I., Stowing of packages containing radioactive materials on conveyances - Phase 1, Commission of the European Communities, Nuclear Service and Technology, Report EUR-8057.
- [3] CENTRE D'ETUDE SUR L'EVALUATION DE LA PROTECTION DANS LE DOMAINE NUCLEAIRE, Document de travail, CEPN, Fontenay-aux-Roses (1978).
- [4] FRANCINI, E., Truck Crash Testing, SAE Paper 700411, Fiat Research Laboratories, Turin.
- [5] CLARKE, H.K., Severity of Transportation Accidents (Vol. 3: Motor Carriers), Sandia Labs., Albuquerque (July 1976).
- [6] A.B. VOLVO, Accident Investigation: Heavy Trucks & Cars, Truck Division, Traffic Safety Department, Stockholm (December 1974).
- [7] JONES, I.S., «Accidents involving injury to occupants of commercial vehicles», (C.R. 14<sup>e</sup> Congrès FISITA, Londres 1972).
- [8] RILEY, B.S., BATES, H.J., Fatal accidents in Great-Britain in 1976 involving heavy good vehicles, Supplementary report 586, Transport and Road Research Lab., Crowthorne, Royaume-Uni.
- [9] COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, Document de travail, CEA, Département de sûreté nucléaire (août 1974).
- [10] MINISTERE DES TRANSPORTS, Commission interministérielle pour le transport des matières dangereuses: statistiques 1977, Paris.
- [11] LOBET, M., The Belgian experience in the survey of accidents and incidents during the road transport of dangerous materials and associated operations, Institut du transport routier, Bruxelles.
- [12] MEYER, E., Typische Unfallursachen im Deutschen Strassenverkehr, Kuratorium «Wir und die Strasse», Bad Godesberg (1960).
- [13] Quetschbeanspruchung von Transportbehältern für radioaktive Materialien, Literaturstudie TN-8106, TN-Projekt 08/3825 (Feb. 1981).