

EVALUATION PROBABILISTE DU RISQUE ASSOCIE AU TRANSPORT AERIEN DU PLUTONIUM

Ph.HUBERT*, J. LOMBARD*, P. PAGES**, F; RANCILLAC**

*CEA/IPSN - BP n°6, 92265 Fontenay-aux-Roses cedex, France

**CEPN - BP n°48, 92263 Fontenay-aux-Roses cedex, France

PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT OF PLUTONIUM AIR TRANSPORT

SUMMARY

A probabilistic risk assessment has been carried out in France for the air transport of plutonium oxide as a contribution to the continuous review of the IAEA Regulations. Based on accident data from IACO, the accident probability for a 6 000 km journey is $3.7 \cdot 10^{-6}$. The package failure rate for present packages resisting impacts at 80 or 90 ms^{-1} lies between 2 and $3 \cdot 10^{-7}$. This figure does not improve significantly with the use of reinforced packagings (meeting the 130ms^{-1} impact test). This work among others from US and UK led the IAEA to envisage more stringent requirements for air transport of radioactive materials packages and to propose a 85 ms^{-1} impact test.

RESUME

Dans le contexte de la révision périodique de la réglementation, l'AIEA a décidé d'examiner l'opportunité d'une réglementation spécifique pour le transport aérien. La France a contribué aux travaux préparatoires en réalisant une évaluation probabiliste du risque sur le transport aérien du plutonium. Sur la base des données internationales d'accident, la probabilité d'accident pour un trajet de 6 000 km est de $3,7 \cdot 10^{-6}$. L'emploi de colis résistant à des impacts de l'ordre de 80 à 90 ms^{-1} conduit à une probabilité d'ouverture de 2 à $3 \cdot 10^{-7}$ par trajet. Au delà de ces valeurs, l'amélioration des colis (résistant par exemple à des impacts de 130 ms^{-1}) n'améliore pas sensiblement ce résultat. Cette étude, parmi d'autres, a conduit l'AIEA à envisager des critères plus stricts pour le transport aérien de matières radioactives et à proposer un test d'impact à 85 ms^{-1} .

INTRODUCTION

Pour toute matière radioactive, la réglementation AIEA actuelle est satisfaite par l'utilisation de colis B qui doivent subir des tests de résistance à l'impact (chute de 9 m sur surface rigide soit une vitesse d'impact de 13,4 ms^{-1}) et à l'incendie (feu de 30 minutes à 800°C). Ces tests sont insuffisants pour représenter le type d'environnement accidentel propre au transport aérien. Une première évaluation probabiliste du risque a été faite aux Etats Unis en 1977 [1]. Plus récemment, dans un travail pour les Communautés [2], Brown et al se sont posé le problème des critères d'essai pour les colis destinés au transport aérien. L'étude présente [3][4] vise à la fois l'estimation du niveau de risque correspondant à la conception du colis aujourd'hui utilisé en France pour le transport de l'oxyde de plutonium issu du retraitement, et l'examen de la pertinence d'un renforcement de l'emballage destiné au transport aérien. Les résultats des différentes étapes de l'étude sont

brièvement présentés ci-dessous.

ACCIDENTOLOGIE AERIENNE

Le but de cette étape est de définir, de façon probabiliste, l'environnement accidentel - c'est à dire les contraintes susceptibles de s'appliquer à un colis de transport de plutonium. En principe cette partie de l'étude n'est pas spécifique d'un colis, toutefois l'analyse faite concerne essentiellement le cas de colis de l'ordre de quelques tonnes. Sur la base des accidents aériens tels qu'ils sont recensés par l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile (OACI), l'arbre des évènements d'un accident a pu être quantifié (figure 1).

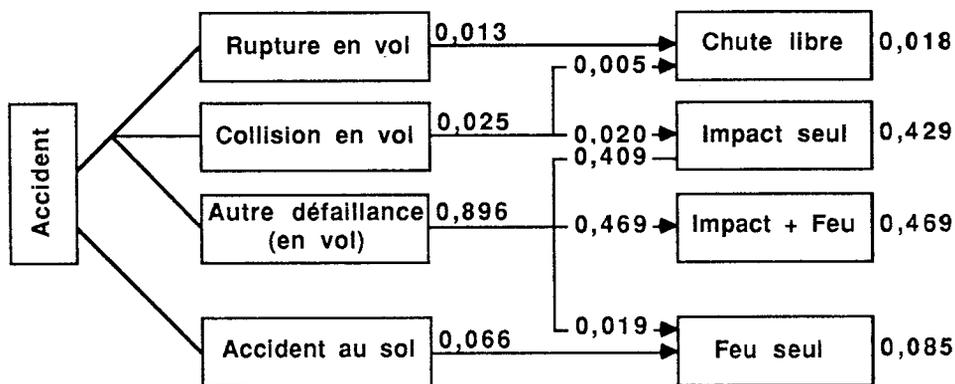


Figure 1: Arbre des évènements de l'accident aérien.

Les taux d'accidents utilisés sont tirés de [2]. Ils sont définis pour chaque phase de vol (décollage, montée, en route, approche, atterrissage) et varient en fonction de la longueur du trajet. Pour des trajets de 1000 ou 6000 km, les valeurs sont respectivement de 1,2 et 3,7 10⁻⁶ accident par vol (sans escale). La grande fréquence des feux est à noter, ainsi que leur gravité : Température et durée sont supérieures à celles des tests de l'AIEA pour les colis de transport (800°C, 30mn). Toutefois à cause de la grande dispersion des épaves et du bon comportement du colis, l'analyse a été centrée sur l'impact, dont la gravité a été exprimée en fonction de la vitesse réelle observée et de l'angle d'impact au sol. La rigidité du sol est traduite par un coefficient de réduction de la vitesse réelle.

ACCIDENTOLOGIE ROUTIERE

Les études classiques ont fait l'objet de développements spécifiques pour estimer quantitativement les scénarios très rares (par exemple coïncement entre deux camions en choc frontal) susceptibles de produire des contraintes très sévères [3].

LA REPONSE DU COLIS ET LES TAUX D'OUVERTURE

Le comportement du colis est lié au seuil de résistance aux contraintes exprimé ici comme une vitesse d'impact (vitesse équivalente à un impact sur surface rigide). Pour les colis utilisés aujourd'hui (FS 47) le seuil serait de l'ordre de 80 ms^{-1} (cf campagne d'essais COGEMA). Le tableau I présente les probabilités d'ouverture pour trois trajets.

Tableau I: Probabilité d'ouverture des colis de transport selon leur résistance pour un trajet type

	Vol de 6 000 km ($3,7 \cdot 10^{-6} \text{acc}$)	Vol de 1 000 km ($1,2 \cdot 10^{-6} \text{acc}$)	Route : 1 000 km ($2,5 \cdot 10^{-4} \text{acc}$)
Colis résistant à un impact à:			
80 ms^{-1}	$0,33 \cdot 10^{-6}$	$0,95 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$
90 ms^{-1}	$0,20 \cdot 10^{-6}$	$0,66 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$
130 ms^{-1}	$0,13 \cdot 10^{-6}$	$0,42 \cdot 10^{-7}$	$0,16 \cdot 10^{-7}$

LES CONSEQUENCES D'UN RELACHEMENT

Le calcul des conséquences nécessite la connaissance de la composition isotopique du mélange, de sa granulométrie et de la quantité relâchée. Pour le mélange étudié, la composition dérive du retraitement du combustible PWR irradié à 33000 MWjt^{-1} et refroidi 3 ans. Sa granulométrie correspond à un diamètre aérodynamique médian de 10 microns. Les essais destructifs réalisés par la Sandia ont montré que même un colis détruit ne relâchait pas tout son contenu. Le taux de relâchement a été fixé ici à 5% du contenu. Le facteur de dose calculé pour une granulométrie de 1 micron (estimation conservatrice) est de $1,8 \cdot 10^6 \text{ Sv}$ par gramme inhalé. Dans les conditions atmosphériques stables avec un vent de 1 ms^{-1} , un individu pourrait recevoir une dose de 1 Sv à 434 m pour un relâchement de 10 g. Sous l'hypothèse d'une densité démographique de 100 hab.km^{-2} (moyenne de la France), la dose collective est de l'ordre de $1,5 \text{ hSv}$ par gramme de mélange rejeté à l'atmosphère.

ESTIMATION DU RISQUE

En reprenant les hypothèses précédentes (granulométrie, composition du mélange, 100 hab.km^{-2} , 5% de rejet) on peut associer aux événements précédents (tableau I) l'espérance mathématique de la dose collective. Ce calcul a été effectué pour une cargaison de 150 kg, ce qui correspond à 10 colis et sensiblement au retraitement du combustible associé à l'exploitation d'un GWe pendant un an (cf tableau II). Il faut noter la relative faiblesse du risque mesuré par l'espérance de la dose collective (associée toutefois à des événements de probabilité faible : 10^{-7} par trajet). Le transport aérien présente un risque, par kilomètre parcouru, plutôt moindre que celui dû au transport routier, à cause de la plus faible occurrence des accidents. Remarquons que le transport aérien, par rapport à la route, est d'autant plus recommandé que le colis est moins résistant. En fait la sécurité repose là sur le vecteur de transport.

Tableau II: Espérance mathématique des doses pour un trajet type [hSv]

	Vol de 6 000 km	Vol de 1 000 km	Route : 1 000 km
Colis résistant à un impact à:			
80 ms ⁻¹	3,7 10 ⁻³	1,1 10 ⁻³	7,3 10 ⁻³
90 ms ⁻¹	2,2 10 ⁻³	0,74 10 ⁻³	3,7 10 ⁻³
130 ms ⁻¹	1,5 10 ⁻³	0,47 10 ⁻³	1,8 10 ⁻⁴

CONCLUSIONS

L'examen de la fréquence des accidents de gravité extrême et les résultats précédents montrent qu'il paraît peu intéressant d'envisager des colis résistant au delà de 90 ms⁻¹. En effet, une faible réduction des doses collectives nécessite un accroissement très grand de la résistance des colis. Cette amélioration des performances atteint assez vite la limite des possibilités techniques, et s'effectue dans un domaine où la croissance des coûts est extrêmement forte.

L'AIEA n'a pas jugé inquiétante la situation présente (cf résultats ci-dessus), mais elle a observé que ce niveau de sûreté reposait sur le fait que les concepteurs ont mis au point des emballages considérablement plus solides que ne l'exige la réglementation présente. En conséquence l'Agence a jugé nécessaire de consolider cet état de fait par une prescription réglementaire adaptée. La valeur de 85 ms⁻¹ a été finalement proposée [6] comme vitesse du test d'impact pour le transport aérien de matières radioactives.

REFERENCES

- [1] Mr. Sweeney T.I et al, An assessment of the risk of transporting plutonium dioxide by cargo aircraft, BNWL 2030, Batelle, 1977.
- [2] Brown M.L. et al, Specifications of the test criteria for containers to be used in the air transport of plutonium, Rapport EUR 6994, CCE, Bruxelles 1980.
- [3] Degrange J.P., Hubert P., Pagès P., The transport of plutonium oxide. A study of air and road accidents. Report 138, CEPN, 1989 (disponible en Français).
- [4] Lombard J., Hubert P., Pagès P., Analysis of events resulting from an accident involving an air transport of plutonium oxide, Report 135, CEPN, 1988, (disponible en Français).
- [5] Rancillac F. et al., Evaluation de la faisabilité des contremesures associées à un accident de transport aérien de plutonium, in IRPA'92, 17-22 Mai 1992, Montréal, Québec, Canada.
- [6] AIEA, The air transport of radioactive material, version provisoire de la proposition de recommandation, Mai 1991.