

EVALUATION DES EXPOSITIONS REÇUES PAR LES TRAVAILLEURS ET LE PUBLIC AU COURS DU TRANSPORT DES MATIÈRES RADIOACTIVES

J. HAMARD, C. RINGOT, C. DEVILLERS

CEA, Institut de protection et de sûreté
nucléaire (IPSN),
Fontenay-aux-Roses

M. FRADIN

Compagnie générale des matières
nucléaires (Cogéma),
Vélizy-Villacoublay

M. FIGNON

Agence nationale pour la gestion
des déchets radioactifs (Andra),
Paris

France

Abstract—Résumé

EVALUATION OF THE DOSES RECEIVED BY WORKERS AND THE GENERAL PUBLIC DURING RADIOACTIVE MATERIAL TRANSPORT.

This work is the continuation of a study begun in 1982 to find out more about the doses received in France by workers involved in the transport of radioactive materials and doses received by the general public. It summarizes the doses received between 1983 and 1985 during the transport of radiopharmaceutical products, spent fuel, various radioactive materials and wastes. The doses received during the transport of radiopharmaceutical products are the best documented. Progress has been made in the investigation of the doses received during the transport of spent fuel and wastes, but the results are still incomplete. Little is known about the doses received during the transport of gammagraphic equipment. The increase in the doses resulting from the transport of radioactive radiopharmaceutical products is linked to the increase in the number of packages sent. Doses resulting from the transport of spent fuel, wastes and other materials remain relatively low. Transport accounts for less than 1% of the exposure arising from the nuclear fuel cycle.

EVALUATION DES EXPOSITIONS REÇUES PAR LES TRAVAILLEURS ET LE PUBLIC AU COURS DU TRANSPORT DES MATIÈRES RADIOACTIVES.

Ce travail est la suite d'une étude commencée en 1982 en vue d'une meilleure connaissance des expositions reçues en France par les travailleurs impliqués dans le transport des matières radioactives et des expositions reçues par le public. Elle fait l'inventaire des doses reçues entre 1983 et 1985 lors du transport des produits radiopharmaceutiques, des

combustibles irradiés, des déchets et des matières radioactives diverses. Les doses reçues lors du transport de produits radiopharmaceutiques sont les mieux connues. Des progrès ont été effectués pour la connaissance des doses reçues lors du transport des combustibles irradiés et des déchets, mais les résultats sont encore incomplets. On connaît peu de choses sur les doses reçues lors du transport des gammagraphes. L'augmentation des doses du transport des produits radiopharmaceutiques est liée à l'augmentation du nombre de colis expédiés. Les doses dues au transport des combustibles irradiés, des déchets et autres matières demeurent relativement faibles. Les transports ne contribuent que pour moins de 1% à l'exposition due au cycle du combustible nucléaire.

INTRODUCTION

L'application des règles contenues dans les normes fondamentales de radioprotection de l'AIEA relatives à la protection des travailleurs et, en particulier, à l'optimisation des expositions nécessite une bonne connaissance des doses reçues.

La réglementation des transports de l'AIEA ne fait pas obligation d'effectuer une dosimétrie individuelle pour le personnel affecté au transport des matières radioactives. La décision d'effectuer une dosimétrie individuelle ou une dosimétrie de zone est donc laissée à l'appréciation des employeurs en fonction du degré de risque plus ou moins évident attaché au transport et à la manipulation des matières transportées.

Le transport des matières radioactives utilise un grand nombre d'itinéraires et des moyens de transport variés. Les transports font souvent intervenir un grand nombre de participants appartenant à des entreprises diverses et qu'il est parfois difficile d'identifier. Enfin, il est rare qu'une dosimétrie individuelle soit effectuée tout au long du parcours des matières transportées.

Une estimation globale de l'impact radiologique des transports des matières radioactives en France est donc difficile à obtenir et on doit se contenter d'une évaluation partielle relative à un certain nombre de transports types qui sont les transports des produits radiopharmaceutiques, les combustibles irradiés, les déchets, le transport des matières diverses, l'uranium enrichi et le plutonium.

L'étude présentée ici concerne uniquement les transports routiers.

1. LE TRANSPORT DES PRODUITS RADIOPHARMACEUTIQUES

Une étude globale du transport des produits radiopharmaceutiques en France a été effectuée par Brenot et al. [1]. Les données précises concernant la commercialisation et le transport des produits radiopharmaceutiques en France ont été fournies par l'Office des rayonnements ionisants (ORIS), situé à Saclay, qui fabrique et expédie des produits radiopharmaceutiques en France et à l'étranger. Le nombre des colis expédiés par l'entreprise est passé de 56 000 en

TABLEAU I. DOSE ANNUELLE CORRESPONDANT A LA PREPARATION DES EMBALLAGES DE PRODUITS RADIOPHARMACEUTIQUES A L'ORIS

Année	1980	1983	1984
Nombre d'agents	8	9	9
Equivalent de dose moyen (mSv)	15	11	9
Equivalent de dose maximum (mSv)	22	19	15
Equivalent de dose collectif (homme · mSv)	123	100	81

1980 à 106 000 en 1985. L'activité commercialisée est constituée à 80% par des générateurs ^{99}Tc - ^{99}Mo (près de 40 000 colis annuels).

Une partie des colis est enlevée sur place par les utilisateurs. Le reste est transporté par route, par le personnel de l'installation:

- directement chez les usagers (hôpitaux) à Paris,
- aux gares ferroviaires de Paris,
- aux aéroports (Orly, Roissy).

1.1. Doses reçues lors de la préparation du colis pour expédition (tableau I)

On peut considérer que le travail de la préparation du colis pour expédition et les expositions résultantes font partie du transport. Ces opérations sont effectuées par une équipe de 8 à 9 personnes dont l'exposition moyenne est de l'ordre de 10 mSv par an. On constate que les équivalents de dose moyens maxima et collectifs ont diminué entre 1980 et 1986, et ceci malgré un doublement du nombre de colis expédiés.

1.2. Doses reçues au cours du transport par route des colis (tableau II)

Le transport routier est assuré par une équipe de 9 personnes depuis l'installation jusqu'aux utilisateurs, gares ou aéroports. Les chauffeurs assurent en même temps la manutention des colis. Les doses reçues par les chauffeurs se répartissent de façon égale entre l'opération de transport proprement dite et les manutentions.

1.3. Doses reçues dans des manipulations en transit dans les gares et aéroports et pour le transport des colis jusqu'à l'utilisateur

Si on tient compte que 70% des livraisons sont effectuées hors de la région parisienne, il y a lieu d'ajouter les doses reçues dans les manipulations en transit dans les gares et aéroports et pour le transport des colis à l'arrivée jusqu'à l'utilisateur.

TABLEAU II. DOSE ANNUELLE CORRESPONDANT AU TRANSPORT ROUTIER DES PRODUITS RADIOPHARMACEUTIQUES DE L'ORIS

Année	1980	1983	1984
Nombre d'agents	9	9	9
Equivalent de dose moyen (mSv)	11	14,6	12,9
Equivalent de dose maximum (mSv)	17	20,7	18,8
Equivalent de dose collectif (homme·mSv)	98	131	116

N'ayant pas d'information sur ces opérations, une évaluation a été effectuée à partir des données obtenues pour ces opérations menées par les agents de l'ORIS. Cette évaluation conduit à une dose collective égale à 81 hommes-millisieverts.

1.4. Dose totale

La dose totale due au transport de produits radiopharmaceutiques en France pour l'année de référence 1984 s'établit à 300 hommes-millisieverts. Cette dose inclut celle qui résulte de la préparation du colis qu'il nous paraît logique de prendre en considération dans l'opération de transport. On remarque que la dose collective est pratiquement restée constante depuis 10 ans alors que le nombre de colis a été multiplié par 6 et que le temps prévu pour certains parcours a été considérablement allongé (transfert de Orly à Roissy pour les aéroports).

Ces résultats ont pu être obtenus grâce à l'adoption d'un certain nombre de dispositions, notamment l'automatisation du conditionnement des colis en deux chaînes (chaîne des générateurs de technétium, chaîne des autres colis A) et l'automatisation du stockage des colis.

L'exposition a pu être ainsi réduite au minimum, ce qui s'est traduit par un gain substantiel sur la dose individuelle maximale qui a diminué d'un facteur 2 en 10 ans (passant de 30 mSv à 19 mSv).

On doit également signaler, parmi les dispositions favorables, l'adoption, pour les générateurs de technétium, de mesures permettant de diminuer le niveau de dose: fût métallique avec poignée pour la manutention, évitant ainsi le contact avec la poitrine, et minimisation de toute fuite de rayonnement vers le haut. Les générateurs de technétium constituent, en effet, une des sources les plus importantes de dose. La nécessité d'avoir un encombrement et un poids permettant une manipulation manuelle aisée conduit à limiter la protection de plomb avec, pour conséquence, des niveaux de rayonnement superficiel et des indices de transport élevés.

TABLEAU III. DOSE ANNUELLE POUR LE TRANSPORT ROUTIER DES ELEMENTS COMBUSTIBLES IRRADIES

Année	1983	1984	1985
Equivalent de dose moyen (mSv)	1,1	0,6	1
Equivalent de dose maximum (mSv)	4,2	5,8	7,2
Equivalent de dose collectif (homme·mSv)	26	15	23

Enfin, on a recherché une protection plus poussée des cabines des chauffeurs ainsi qu'une meilleure organisation du travail pour le remplissage des véhicules et les attentes avant transport.

2. LE TRANSPORT DES COMBUSTIBLES IRRADIES

Le transport des combustibles irradiés se fait en France essentiellement par chemin de fer. Dans la plupart des cas, la route n'est utilisée qu'entre les centrales dites «non embranchées» et la gare la plus proche et entre la gare terminale et le site de retraitement.

Six entreprises emploient 23 chauffeurs dont quelques-uns seulement participent à la manutention; tous sont classés comme directement affectés à des travaux sous rayonnement (catégorie A) et sont donc soumis à une dosimétrie individuelle mensuelle. Les quantités annuelles transportées sont de l'ordre de 1500 tonnes.

Les résultats dosimétriques relatifs aux années 1983, 1984 et 1985 sont résumés dans le tableau III.

Le détail des résultats fait ressortir que les personnes qui reçoivent les doses les plus élevées sont celles affectées à la manutention ou les chauffeurs qui parfois participent à la manutention.

Le transport par chemin de fer des combustibles irradiés sur la majorité du parcours explique que les doses reçues par les transporteurs routiers soient faibles. Par contre, les doses reçues lors des manipulations effectuées au départ et à l'arrivée dans les usines ne sont pas comptabilisées ici.

3. LE TRANSPORT DES DECHETS RADIOACTIFS

Le transport des déchets radioactifs entre les entreprises productrices et le centre de stockage superficiel de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) situé sur le site de La Hague utilise des circuits qui peuvent

TABLEAU IV. DOSE ANNUELLE POUR LE TRANSPORT ROUTIER DES DECHETS

Année	1983	1984	1985
Equivalent de dose moyen (mSv)	1,79	1,74	2,6
Equivalent de dose maximum (mSv)	5,55	6,8	7,55
Equivalent de dose collectif (homme · mSv)	41,1	40,1	47,4

être soit entièrement routiers, soit partiellement routiers et partiellement ferroviaires, comme c'est le cas pour les combustibles irradiés. Ces circuits ont été définis par l'Andra en concertation avec les producteurs de déchets.

Les transports sont effectués par plusieurs entreprises «agrées» d'importance inégale.

Une société emploie environ 18 chauffeurs dont la majorité est employée fréquemment et un petit nombre occasionnellement au transport des déchets radioactifs. Tous sont considérés comme directement affectés à des travaux sous rayonnement (catégorie A) et font l'objet d'une dosimétrie individuelle mensuelle.

Une seconde entreprise emploie cinq personnes pour le transport des déchets. Ces personnes ne sont pas directement affectées à des travaux sous rayonnement (catégorie B) mais subissent cependant une surveillance individuelle par film dosimètre.

Le bilan dosimétrique pour les années 1983, 1984 et 1985 est résumé dans le tableau IV.

Comme pour les combustibles irradiés, le transport des déchets se fait en grande partie par chemin de fer, ce qui peut expliquer les doses relativement faibles reçues par les transporteurs routiers.

La comparaison avec les résultats donnés en 1982 montre une réduction sensible de l'équivalent de dose moyen et une relative stabilité de l'équivalent de dose collectif.

Cependant, nous estimons que le transport des déchets nécessite une attention particulière, étant donné notamment la diversité des déchets et de leurs modes de conditionnement et l'accroissement prévu au cours des prochaines années du transport de ces matières.

4. LES MATIERES RADIOACTIVES DIVERSES

Les matières radioactives diverses désignent dans ce mémoire les matières autres que les produits radiopharmaceutiques, les combustibles irradiés, les déchets et les sources de gammagraphie. Elles englobent donc l'UF₄, l'UF₆ naturel,

TABLEAU V. DOSE ANNUELLE POUR LE TRANSPORT ROUTIER DES AUTRES MATIERES RADIOACTIVES

Année	1983	1984	1985
Equivalent de dose moyen (mSv)	0,6	0,4	Pas de résultat
Equivalent de dose maximum (mSv)	2,6	2,7	
Equivalent de dose collectif (homme · mSv)	7,4	9,3	

TABLEAU VI. DOSE ANNUELLE POUR LE TRANSPORT ROUTIER DE L'URANIUM ENRICHI ET DU PLUTONIUM

Année	1983	1984	1985
Equivalent de dose moyen (mSv)	0,16	0,07	0,18
Equivalent de dose maximum (mSv)	1,3	0,3	1,5
Equivalent de dose collectif (homme · mSv)	1,6	0,7	1,8

l'UO₂, des combustibles neufs, quelques assemblages combustibles provenant des réacteurs de recherche, des effluents en citerne et des sources radioactives diverses.

Deux entreprises effectuent ce genre de transport et emploient au total de 20 à 25 personnes. Les quantités transportées sont de l'ordre de 20 000 tonnes par an. Ces personnels sont directement affectés à des travaux sous rayonnement (catégorie A). Les résultats dosimétriques pour 1983, 1984 et 1985 sont résumés dans le tableau V.

5. PLUTONIUM ET URANIUM ENRICHI

Une entreprise emploie des chauffeurs affectés au transport du plutonium et de l'uranium enrichi. Ces personnes, bien que non directement employées à des travaux sous rayonnement (catégorie B), font néanmoins l'objet d'une dosimétrie individuelle par film.

Les résultats pour les années 1983, 1984, 1985 sont résumés dans le tableau VI.

6. LE TRANSPORT DES GAMMAGRAPHES EN EMBALLAGES DE TYPE B

Il existe en France environ 400 entreprises effectuant des travaux de gammagraphie et on estime entre 1200 et 1400 le nombre des gammagraphes en service en France.

Les gammagraphes renferment des sources d'émetteurs γ d'activité parfois très importante dans des emballages de type B (U). On distingue à ce propos deux types d'appareils: les appareils dits «fixes», moins nombreux, qui renferment les activités les plus élevées, et les appareils dits «portables». En France, pour les appareils portables, qui constituent la majorité des appareils transportés, l'activité est limitée à 100 Ci (3,7 TBq) et le débit de dose à la surface de l'appareil est limité à 100 mrem \cdot h⁻¹ (1 mSv \cdot h⁻¹). Ces appareils sont couramment transportés dans des véhicules de service de l'entreprise propriétaire sur les lieux de leur utilisation et on estime à 150 à 200 par jour le nombre de ces mouvements.

Les techniciens affectés à l'utilisation, au transport et à l'entretien des appareils sont obligatoirement titulaires d'une certification et ont suivi un stage de formation. La plupart sont directement affectés à des travaux sous rayonnement (catégorie A). Leur nombre, qui est difficile à évaluer exactement, est de l'ordre de 4 à 5000. Ils sont dispersés entre de nombreuses sociétés privées ou publiques (de 400 à 500).

Nous n'avons pas pu obtenir de résultats relatifs au nombre de transports annuels des appareils de gammagraphie, et au nombre de personnes qui participent à ces transports, ni aux doses effectivement reçues par ce groupe de personnes. Notons cependant que Gelder et Hugues [2], au Royaume-Uni, estiment la dose collective due au transport des gammagraphes à 0,2 homme-sievert en 1983. Ce chiffre devrait être le même en France, les deux pays ayant un développement industriel similaire.

7. ESTIMATION DES DOSES REÇUES PAR LE PUBLIC

A partir des données précédentes, il est excessivement difficile de faire une estimation de la dose collective reçue par le public. Celle-ci nécessiterait l'application de modèles d'exposition ou, dans le cas des transports par avion, l'utilisation de dosimètres placés à l'emplacement des passagers dans les avions transportant des matières radioactives. L'estimation faite par Brenot et al. [1] pour le transport des produits radiopharmaceutiques, se situe entre 0,01 et 0,1 homme-sievert par an.

Sur cette base, si l'on tient compte de l'ensemble des transports radioactifs, la dose collective annuelle reçue par le public pourrait être du même ordre de grandeur que celle reçue par les professionnels.

TABLEAU VII. RESUME DES RESULTATS

Matières	Equivalent de dose moyen (mSv)	Equivalent de dose collectif (homme · mSv)
Produits radiopharmaceutiques	0,011	300
Combustibles irradiés	0,001	15
Déchets	0,002	40
Autres	0,0004	9
Uranium enrichi et plutonium	0,0001	0,7
Gammagraphes	?	200
Total		565

8. BILAN DOSIMETRIQUE ET CONCLUSION

Les résultats de cette étude sont résumés dans le tableau VII pour l'année de référence 1984.

Le transport des produits radiopharmaceutiques constitue la principale contribution à la dose collective reçue par les travailleurs. Des efforts entrepris ces dernières années ont permis d'en maintenir constant le niveau et cela malgré un accroissement considérable du trafic de ces matières. Des études plus poussées, permettant notamment une meilleure appréciation des doses, nous paraissent nécessaires pour les déchets et les autres matières radioactives. On peut cependant conclure que l'exposition résultant du transport de l'ensemble des matières radioactives ne représente qu'une fraction très faible (moins de 1%) des expositions liées au cycle du combustible nucléaire.

REFERENCES

- [1] BRENOT, J., et al., «Le système de transport des produits radiopharmaceutiques en France» (IAEA-SM-286/185), dans ce volume.
- [2] GELDER, R., HUGUES, J.S., Radiation exposures resulting from normal transport of radioactive materials within the United Kingdom, NRPB R-155 (1984).