

Aspects pratiques de la surveillance de l'exposition professionnelle dans le domaine médical et les laboratoires de recherche*

B. AUBERT**

(Manuscrit reçu le 24 août 1991)

RÉSUMÉ

Les aspects pratiques de la surveillance de l'exposition professionnelle en milieu hospitalier et dans les laboratoires de recherche sont étroitement liés au type de sources et aux méthodes mises en œuvre dans les différents services dans un but thérapeutique ou diagnostique. Les sources sont très diverses, émettant dans le cas le plus général des photons X et gamma, des électrons de haute énergie ou des particules bêta. On les rencontre sous forme scellée ou de générateurs électriques, dans les services de radiothérapie en vue d'irradiation externe, de curiethérapie pour des irradiations interstitielles et intracavitaires, et de radiodiagnostic. Dans les services de médecine nucléaire, avec administration généralement par injection, et dans les laboratoires, à des fins de dosage ou de recherche, on utilise principalement des sources sous forme non scellée. Ainsi, le personnel selon son activité sera soumis au risque d'exposition externe ou aux risques d'exposition externe et interne.

Dans le domaine des sources scellées et des générateurs électriques, les situations qui nécessitent une attention particulière, c'est-à-dire une surveillance complémentaire à la surveillance réglementaire, se rencontrent en radiodiagnostic et singulièrement lors d'activités pour lesquelles les rayons X sont indispensables pour le suivi de l'intervention (orthopédie, radiologie vasculaire et interventionnelle, ...) et en curiethérapie où la manipulation des sources impose une surveillance des mains.

Dans le domaine des sources non scellées, certains postes de médecine nucléaire (préparation et injection des produits radioactifs) nécessitent une surveillance complémentaire des mains. Mais, dans ce type de service, comme dans les laboratoires, le risque premier est celui d'exposition interne suite à une contamination pour laquelle la réglementation prévoit un examen radiotoxicologique et/ou anthropogammamétrique selon une périodicité à définir. En pratique, celle-ci est de 6 mois, ce qui n'est pas toujours adapté aux caractéristiques des radionucléides manipulés. En effet, l'utilisation de radionucléides de période effective courte ou la manipulation intermittente des radionucléides, ce qui est souvent le cas dans les laboratoires de recherche, nécessiterait une fréquence plus élevée.

ABSTRACT

The practical aspects of personal exposure monitoring in hospitals and research laboratories are closely linked to the type of radiation source and methods used for diagnosis or therapy. Various sources emit X-rays, γ -photons, high energy electrons or beta particles. In external radiation therapy, sources are either sealed or electrically generated ; in brachytherapy, they are sealed to be used in

* Communication présentée lors de la réunion SFRP "Surveillance de l'exposition individuelle", Paris, 18 octobre 1990.

** Service de Physique, Institut Gustave-Roussy, 94805 Villejuif Cedex.

interstitial and intracavitary irradiation. A radiodiagnostic department applies X-rays in a variety of ways. In nuclear medicine and in research laboratories unsealed sources are to be used for intravenous injection and radioactive labelling. The personnel is thus exposed, according to their activity, to the risk of external exposure or both external and internal exposure.

As far as sealed and electrically-generated sources are concerned, additional survey procedures are needed in the following instances : 1) radiodiagnosis especially in the disciplines where X-rays are necessary for the follow-up of the intervention (orthopedics, vascular and interventional radiology) ; 2) brachytherapy where the handling of sources requires the monitoring of radiation exposure to the hands ; 3) nuclear medicine where employees handling unsealed sources require additional survey of the hands as well. However, in this department as well as in laboratories, the highest risk is that of internal exposure following contamination. For this situation the legislation calls for a periodic radiotoxicological and/or whole-body counting. In practice, such monitoring carried out every 6 months is not always adapted to the circumstances. In fact, when radionuclides with a short half life are used or when they are used intermittently, which happens frequently in a research laboratory, personnel monitoring should be scheduled more often.

INTRODUCTION

L'exposition professionnelle en milieu hospitalier est étroitement liée au type de source de rayonnements ionisants utilisée et aux méthodes mises en œuvre dans les différents services, dans un but thérapeutique ou diagnostique. Les sources, très diverses, émettent d'une façon générale des photons X et gamma, des électrons de haute énergie ou des particules bêta ; aussi, avant de présenter les aspects pratiques de la surveillance individuelle liés aux différents types d'applications, il est utile de dresser, pour chacune de ces applications, un bilan aussi complet que possible des moyens et des méthodes de radioprotection ainsi que des situations les plus critiques vis-à-vis de l'exposition professionnelle.

Cinq domaines principaux d'applications peuvent être identifiés : radiothérapie externe, curiethérapie, radiodiagnostic, médecine nucléaire et les laboratoires. Les trois premiers présentent le risque d'exposition externe et pour les deux autres domaines il convient d'y ajouter le risque d'exposition interne.

ORIGINE DE L'EXPOSITION

1. Radiothérapie externe

Ce domaine recouvre l'utilisation de sources telles que celles de la contactthérapie (appareils produisant des rayons X de faible énergie, inférieure à 50 kV), de la cobalthérapie (sources de cobalt 60 de plusieurs térabecquerels) et de la thérapie par électrons de haute énergie (jusqu'à 40 MeV). Pour les appareils de haute énergie, les débits de dose sont d'environ $2 \text{ Sv} \cdot \text{min}^{-1}$ à 1 m de la source. Dans le cas de la radiothérapie

externe (sauf en contactthérapie), les niveaux d'irradiation dans la salle pendant le traitement ne permettent pas au personnel d'y rester et la radioprotection consiste essentiellement à étudier les locaux de manière à offrir des conditions de protection acceptables à l'extérieur.

1.1. Contactthérapie

Dans cette technique, un cône localisateur de diamètre adapté à la zone à irradier (quelques cm² sous une très faible épaisseur, ce qui implique l'utilisation de très faibles énergies) est placé à la sortie du tube à rayons X, l'autre extrémité du cône étant au contact de la peau. L'opérateur, généralement un médecin, maintient avec ses mains, protégées par des gants au plomb, le cône contre la peau. Dans cette disposition, le risque essentiel d'irradiation de l'opérateur réside dans le rayonnement diffusé par le volume irradié.

L'amélioration de la radioprotection du personnel est obtenue, d'une part, en faisant recouvrir le milieu diffusant par une gaine de 0,1 mm de plomb percée d'un orifice pour le passage du rayonnement utile et d'autre part, en faisant porter un tablier de protection.

1.2. Cobalthérapie

Les appareils de télécobalthérapie ont une tête conçue pour que le débit de dose à l'extérieur de celle-ci respecte les normes lorsque la source est en position de repos. Il s'agit en pratique d'obtenir un débit de dose ne dépassant pas 0,02 mSv.h⁻¹ à 1 m de la source. Lorsque la source est en position d'irradiation, seul le malade est présent dans la pièce et il convient de préserver dans les locaux adjacents, où se situe en particulier le pupitre de commande, le personnel de l'irradiation par le faisceau primaire mais aussi par le rayonnement diffusé. Ce résultat est obtenu en équipant le local de parois suffisamment épaisses (de l'ordre de 1 m de béton) et en concevant l'entrée de la salle sous la forme d'une chicane pour éviter de devoir installer une porte trop lourde. Une sécurité supplémentaire est obtenue par le fait que toute ouverture de la porte d'accès de la salle de traitement pendant une irradiation se traduit par le retour automatique de la source en position de repos.

Toutes ces dispositions garantissent en général au personnel un niveau d'exposition inférieur aux normes admises pour le public (5 mSv.an⁻¹). Malgré tout, deux situations peuvent entraîner, une irradiation plus importante ; une fuite au niveau de la tête de l'appareil lorsque la source est en position de repos (mais ce problème ne peut conduire qu'à un équivalent de dose de l'ordre de 1 à 2 mSv.an⁻¹ pour des conditions de travail habituelles) ou un blocage de la source lors de son retour en position de repos. Une intervention rapide et simple permet de commander manuellement la rentrée de la source. Cette intervention, effectuée par du personnel informé et bien entraîné, ne conduit habituellement pas à une irradiation décelable par un dosimètre individuel classique (< 0,2 mSv).

1.3. Radiothérapie à haute énergie (accélérateur linéaire)

Avec ces appareils, seule la commande de l'irradiation provoque l'émission de rayonnement. La conception des locaux est identique à celle des appareils de cobalthérapie : notons, cependant, l'épaisseur plus importante des parois et de la porte. Toutes ces précautions garantissent une bonne protection du personnel ; en particulier, il ne subsiste pas de source active en dehors des irradiation commandées.

La production de neutrons et l'activation de certains composants des accélérateurs de très haute énergie ainsi que de la salle ou du patient est cependant à noter. Il faut ramener ce risque à son niveau réel, c'est-à-dire peu élevé [6]. Le National council on radiation protection (NCRP) cite des expositions de personnel dues à ces effets entre 1 et 2 mSv.an⁻¹ auprès d'accélérateurs de 18 MeV mais rien pour les appareils de 4 et 6 MeV [7]. Au près d'un patient ayant reçu 2,1 Sv par un faisceau de RX de 45 MV, on a pu mesurer un débit de l'ordre de 0,12 mSv.h⁻¹ juste après le traitement et de 0,02 mSv.h⁻¹, 10 min plus tard. Ces valeurs, bien que très inférieures aux normes, sont intéressantes à relever car elles concernent un phénomène préoccupant pour certains utilisateurs.

Toutes ces activités en radiothérapie externe entraînent pour le personnel un risque d'exposition externe de l'organisme.

2. Curiethérapie

A l'heure actuelle, les principales sources utilisées sont l'iridium 192 et le césium 137. Ces sources, portées par le patient pendant tout le temps de l'application, ont des activités de l'ordre de quelques centaines à quelques milliers de mégabecquerels et produisent des débits de dose de l'ordre de quelques centaines de $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ à 1 m. Les particularités de cette technique résident dans la proximité de l'opérateur vis-à-vis des sources, soit lors de leur préparation, soit lors de leur mise en place sur le malade ou pendant les soins prodigués lors de l'hospitalisation ainsi que dans les problèmes liés au fait que les sources ne peuvent pas faire l'objet d'une protection de principe comme en radiothérapie externe. La radioprotection n'est alors plus assurée de façon systématique par la conception de l'appareil et du local mais est garantie surtout par le respect et l'application des consignes de travail fondées sur les trois règles de base : temps, distance, écran.

La préparation des sources s'effectue sur un banc de travail protégé par des briques de plomb et derrière un épais hublot en verre au plomb. Ces sources, sous forme de fil et dont l'activité est de quelques MBq.cm⁻¹, sont manipulées à l'aide de pinces d'environ 30 cm de long. Pendant l'hospitalisation, le malade se trouve dans une chambre aux parois renforcées (\approx 30 cm de béton plein) afin d'assurer, en particulier, la protection du couloir.

Parmi les incidents pouvant conduire à un risque d'exposition, citons la rupture ou la détérioration d'un porte-source de césium 137, l'oubli de mise en place d'une gaine de liaison ou encore la chute et, parfois même, la perte d'un fil d'iridium 192.

Le personnel est ainsi soumis au risque d'exposition externe pour l'organisme et les mains.

3. Radiodiagnostic

Les faisceaux de rayons X sont le plus généralement produits à une tension comprise entre 25 et 150 kV, avec des quantités de rayonnement beaucoup plus faibles que celles utilisées en radiothérapie. Aussi, dans la majorité des cas, l'opérateur peut rester dans la même salle que l'appareil, derrière un paravent de protection. Cependant, certains examens très spécialisés peuvent imposer la présence d'un opérateur près du malade pendant la radioscopie ou la prise de clichés. Grâce à la protection assurée par l'appareil lui-même, l'irradiation ne se produit que dans la direction souhaitée grâce à la gaine et à la collimation (niveau de fuites faisant l'objet de normes). Pour l'opérateur, le risque majeur provient du rayonnement diffusé par le patient et éventuellement par des accessoires ou des parois. Les murs de la salle doivent protéger le personnel à l'extérieur et sont réalisés à l'aide d'une épaisseur de béton de l'ordre de 20 cm ou de quelques millimètres de plomb.

Pour des applications ne permettant pas de bénéficier de la protection du paravent (radios au lit du malade, de bébés ou d'enfants et certaines études à l'aide de produit de contraste), l'usage d'un cordon pour le déclenchement à distance de l'installation et/ou le port de gants et de tablier de protection permettent de limiter le niveau d'exposition du personnel à une valeur très faible. Dans le cas des radioscopies (radiologie interventionnelle,...), où le médecin est tout proche du patient, il est possible à l'aide de tabliers de protéger l'organisme, à l'exception des mains, (qui dans certaines situations peuvent se trouver dans le faisceau primaire) et des yeux, directement irradiés par le rayonnement diffusé (bien que le port de lunettes de protection soit recommandé) [6].

Le personnel est soumis principalement au risque d'exposition externe pour l'organisme, mais, dans certaines applications, les mains, le cristallin et la thyroïde de l'opérateur doivent également être protégés.

4. Médecine nucléaire et laboratoires

De même type qu'en curiethérapie, les sources sont préparées et manipulées manuellement et, après injection, le patient est porteur de la source. Cependant, en plus du risque d'exposition externe, existe celui d'exposition interne consécutive à une contamination externe et/ou interne. A l'heure actuelle, la grande majorité des examens à but dia-

agnostique sont à base de technétium 99m, avec des activités comprises entre 40 MBq et 1 GBq ; signalons aussi l'emploi de radionucléides tels que le chrome 51, le fer 59, le gallium 67, l'iode 123, l'iode 131... On retrouve l'iode 131 en utilisation thérapeutique, pour laquelle on peut employer jusqu'à 3,7 GBq dans les traitements des cancers thyroïdiens et, depuis l'apparition récente de la mIBG*, pour le traitement des phéochromocytomes et des neuroblastomes, jusqu'à 5,5 GBq en injection intraveineuse.

Les caractéristiques des sources utilisées en médecine nucléaire entraînent une radioprotection particulière : locaux conçus et équipés de façon à limiter tout risque de contamination et toute conséquence d'une contamination (hotte aspirante et parfois blindée équipée de filtre, port de gants jetables, utilisation de flacons ou verre au plomb et de protège-seringues).

Toutes ces considérations restent, pour l'essentiel, valables dans les laboratoires où sont pratiquées des études *in vitro*, le risque lié à l'irradiation externe se situant alors à un niveau plus faible, pratiquement nul, lors de la manipulation de radioéléments émetteurs bêta de faible énergie (^3H , ^{14}C , ^{35}S).

En médecine nucléaire, nous retiendrons plus particulièrement deux risques : l'irradiation des doigts en raison des très fortes activités manipulées [3] et la contamination interne par inhalation d'iode 131 et d'iode 125 en raison de leur caractère volatil et de leur radiotoxicité [4, 7]. L'exposition interne peut être réduite par diverses dispositions : hottes ventilées, capsules, pH de la solution...

Ainsi, en médecine nucléaire et dans les laboratoires, le personnel est soumis aux risques d'exposition externe et interne.

SURVEILLANCE RÉGLEMENTAIRE DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE

Comme le prévoit la réglementation, la surveillance réglementaire est effectuée selon les modalités suivantes :

- film dosimètre "poitrine" pour tout travailleur de catégorie A soumis à un risque d'exposition externe de l'organisme ;
- film dosimètre "poignet" pour tout travailleur de catégorie A soumis à un risque d'exposition externe des mains ;
(ces films dosimètres sont portés pendant un mois) ;
- analyse radiotoxicologique pour tout travailleur de catégorie A soumis à un risque d'exposition interne, cet examen porte sur les urines recueillies durant 24 h ;
- examen anthropogammamétrique pour certains travailleurs de catégorie A (ceux manipulant des activités relativement élevées, $\approx 0,1$ GBq,

* mIBG : méta-iodobenzyleguanidine.

de radionucléides émetteurs γ ; cet examen est complété par un comptage thyroïdien pour le personnel manipulant des isotopes radioactifs de l'iode.

Ces deux derniers examens concernent les travailleurs soumis à un risque d'exposition interne. Ils doivent être réalisés selon une périodicité à définir. En pratique, à l'heure actuelle, cette périodicité est de 6 mois pour une surveillance de routine. Elle peut être réduite pour des situations particulières (examen exceptionnel).

Les tableaux suivants fournissent quelques données sur l'exposition des travailleurs, obtenues par la surveillance réglementaire. Le tableau I présente la répartition des équivalents de dose annuels relatifs à l'exposition externe pour le personnel du milieu médical contrôlé par le Service central de protection contre les rayonnements ionisants (SCPRI) en 1984.

TABLEAU I
Répartition des équivalents de dose annuels (exposition externe)
pour le personnel du milieu médical contrôlé par le SCPRI (1984)

Equivalent de dose (mSv/an)	≈ 0	$H \leq 5$	$5 < H \leq 15$	$15 < H \leq 50$	$H > 50$
% de travailleurs (effectif total 48049)	87,6	10,3	1,5	0,5	< 0,1

L'ensemble de ces données montre clairement que, globalement, au moins 98 % des travailleurs de catégorie A sont soumis à des expositions annuelles dont le niveau est inférieur à 15 mSv, valeur au-dessous de laquelle un contrôle systématique n'est pas nécessaire. Quant à la limite des 50 mSv, elle n'est dépassée que dans moins de 0,1 % des cas. Ces résultats sont pleinement confirmés par nos relevés à l'IGR relatifs aux 13 personnes les plus exposées sur environ 600 travailleurs de catégorie A. Les valeurs portées dans le tableau II indiquent l'équivalent de dose annuel moyenné sur la période d'activité de ces personnes.

Il est intéressant de remarquer que les postes les plus exposés se situent en curiethérapie. L'équivalent de dose de 13,74 mSv correspond à une manipulatrice en poste depuis plus de 20 ans à l'IGR et dont la contribution la plus importante à la dose date d'avant 1976, année de disparition totale du radium. Le tableau III précise l'évolution de l'équivalent de dose reçu par le personnel de l'IGR en curiethérapie en fonction de l'évolution des techniques, et mesuré par le film dosimètre dans le

cadre de la surveillance réglementaire. Cette évolution des techniques concerne l'introduction des méthodes d'applications non radioactives en 1963, l'utilisation des premiers projecteurs de sources en 1971 et l'abandon définitif du radium 226 en 1976.

TABLEAU II

Equivalents de dose annuels pour les 13 personnes les plus exposées à l'IGR

	Radiophysique	Médecine nucléaire	Curiethérapie
Nombre de travailleurs	6	4	3
Equivalent de dose moyen (mSv/an)	1,00	1,66	5,93
Gamme (mSv/an)	0,77-1,23	0,62-2,75	1,93-13,74

TABLEAU III

Equivalents de dose annuels (mSv) des différentes catégories de personnel en curiethérapie en fonction de l'évolution des techniques

	1963 applic. non radioactives	1971 projecteur de source	1976 fin du radium	1981
Médecins	14,3	4,3	1,8	≈ 0
Manipulateurs	48,1	8,1	5,2	3,1
Infirmières	2,4	1,4	0,5	≈ 0
Pesonneil hôtelier	2,8	2,1	≈ 0	≈ 0

Dans le cadre de la surveillance de l'exposition interne, le tableau IV rapporte le bilan des contaminations décelées par contrôle urinaire sur le personnel manipulant des sources non scellées. Ce bilan porte sur 992 contrôles effectués en 5 ans dans le service de médecine nucléaire et dans différents laboratoires. Il ressort que le personnel manipulant les activités les plus élevées, c'est-à-dire les doses thérapeutiques d'iode 131, est le plus sujet à contamination. Cependant, la contamina-

tion maximale en iode 131 de 2 100 Bq dans les urines collectées sur 24 h conduit à une contamination des urines de $0,5 \cdot 10^6$ Bq/an en supposant que le même technicien s'occupe tous les jours pendant 1 an des administrations thérapeutiques. En pratique, cette tâche est répartie entre 4 personnes. Il est intéressant de rapprocher cette valeur de celle de la limite annuelle d'incorporation (LAI) égale à $2 \cdot 10^6$ Bq pour l'iode 131. De même que pour le tritium, la contamination de 18 130 Bq/24 h conduit à $4,2 \cdot 10^6$ Bq/an pour une LAI de $3 \cdot 10^9$ Bq.

TABLEAU IV
Bilan de 992 contrôles urinaires à l'IGR sur 5 ans

	Médecine nucléaire		Laboratoires		
	I-131	P-32	I-125	H-3	C-14
Nombre de résultats positifs	20	1	4	6	1
Contamination maximale (Bq/24 h)	2 100	360	487	18 130	925

SURVEILLANCE OPÉRATIONNELLE DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE

Les résultats précédents montrent l'intérêt et la nécessité de la surveillance réglementaire. Cependant, celle-ci n'est pas suffisante et se doit d'être complétée par une surveillance opérationnelle. Cette nécessité est confirmée par certains auteurs, spécialement quand une exposition très élevée des mains peut survenir, ce qui est tout particulièrement le cas des examens de radioscopie [2] pour lesquels le film "poignet" ne reflète qu'imparfaitement le niveau réel d'exposition.

Un travail, que nous menons actuellement dans le cadre de la radiologie interventionnelle, a montré grâce à des dosimètres thermoluminescents que l'exposition pouvait s'élever à 68, 26 et 10 mSv respectivement aux doigts, au cou (thyroïde) et au front (cristallin) pour une seule intervention. En ce qui concerne les risques de contamination, la fréquence habituelle de 6 mois pour les examens radiotoxicologiques et anthropogammamétriques est insuffisante compte tenu des courtes périodes de certains radioéléments et en particulier de l'iode 131 (8 jours) et des manipulations irrégulières de radioéléments, surtout dans les laboratoires de recherche où les examens peuvent être demandés à un moment où le travailleur ne manipule pas de radioactivité. Même lorsque l'examen indique une contamination, le passage à l'exposition interne est très déli-

cat car on ignore généralement le délai entre l'origine de la contamination et le jour de l'examen. L'utilisation des courbes de la publication n° 54 de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) [1] n'est alors pas possible.

Seule une fréquence d'examen plus élevée par rapport à la période de radioélément permet une évaluation dosimétrique relativement précise. Ainsi, en milieu hospitalier et en laboratoire, la surveillance opérationnelle doit comprendre :

- l'analyse des postes de travail, par l'utilisation de dosimètres à lecture directe et de dosimètres thermoluminescents ;
- l'évaluation de l'exposition des doigts, par des dosimètres d'extrémité tels que les thermoluminescents ;
- la mesure de la contamination thyroïdienne, par un comptage externe de la thyroïde fréquent (tous les mois et si possible toutes les semaines) ;
- l'évaluation de l'exposition externe en cas de situation exceptionnelle, par le port de dosimètres à lecture directe.

La mise en œuvre de ces dispositions a permis, par exemple, une meilleure connaissance de l'exposition des doigts lors des injections en médecine nucléaire.

Ainsi l'injection de technétium 99m, sans protège-seringue, conduit à une exposition de 2,6 à 5,6 mSv. MBq⁻¹.min⁻¹ [9], ce qui correspond pour un travail d'un service moyen de médecine nucléaire à une exposition comprise entre 1 et 3 Sv par an au doigt le plus exposé. L'utilisation des protège-seringues classiques permet un gain d'un facteur 20, celui-ci s'élevant à 600 pour un protège-seringue de 2 mm de tungstène.

Dans le cadre des administrations d'iode 131 à but thérapeutique, le suivi hebdomadaire des techniciens chargés de la préparation et de l'administration de ces activités (jusqu'à 3,7 GBq) a permis de connaître avec précision l'évaluation de deux cas de contamination. Pour le premier cas, on a ainsi déterminé avec précision la période effective (7,8 jours) et l'activité initiale (37 kBq), d'où une évaluation de l'exposition interne de 40 mSv à la thyroïde. Pour le deuxième cas, on a déterminé une activité initiale de 14 kBq et utilisé le modèle euthyroïdien, d'où une exposition interne de 8,5 mSv à la thyroïde. Une telle précision dans les évaluations dosimétriques est impossible dans le cadre de la surveillance classique.

CONCLUSION

Dans le cadre des risques d'exposition liés aux différentes activités pratiquées en milieu hospitalier et dans les laboratoires, la surveillance opérationnelle est un complément indispensable à la surveillance réglementaire telle qu'elle est habituellement pratiquée...

En effet, si cette dernière couvre la grande majorité des besoins de surveillance dans les situations de risque d'exposition externe de l'organisme, certaines applications particulières nécessitent la mise en œuvre d'une surveillance complémentaire qui doit essentiellement porter sur l'utilisation de dosimètres complémentaires et/ou sur une fréquence plus élevée des examens destinés à l'évaluation de l'exposition interne. ■

RÉFÉRENCES

- [1] COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE (CIPR). – Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers : design and interpretation (ICRP publication 54). Oxford : Pergamon press, 1988.
- [2] DREXLER G., PANZER W. – Occupational exposure in X-ray diagnosis. *Radiat. Prot. Dos.*, 1990, 32, 163-170.
- [3] HARDING L.K., HESSLEWOOD S., GHOSE S.K., THOMSON W.H. – The value of syringe shields in a nuclear medicine department. *Nucl. Med. Com.*, 1985, 6, 449-454.
- [4] KRZESNIAK J.W., CHOMICKI O.A., KRAJEWSKI P., KOCZYNSKI A. – Radiation hazards from inhaled airborne radioactive in a nuclear medicine unit. In : Proceedings of the 3rd World congress of nuclear medicine and biology, Paris, Aug. 89-Sept. 2, 1982. Paris : Pergamon, 1982, vol. IV, 2985-2988.
- [5] LA RIVIÈRE P.D. – Radiotherapy technologist dose from high-energy electron medical accelerators. *Health Phys.*, 1985, 49, 1105-1114.
- [6] McGUIRE E.L., BAKER M.L., VANDERGRIFT J.F. – Evaluation of radiation exposures to personnel in fluoroscopic X-ray facilities. *Health Phys.*, 1983, 45, 975-980.
- [7] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS (NCRP). – Neutron contamination from medical electron accelerators (NCRP report n° 79). Washington : NCRP, 1984.
- [8] NISHIYAMA H., LUKES S.J., MAYFIELD G., GROSSMAN H. – Internal contamination of laboratory personnel by ^{131}I . *Radiology*, 1980, 137, 767-771.
- [9] SCHMIDT W., NOWOTNY R., KLETTER K., FRISCHAUF H. – Radiation exposure due to $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{131}I manipulated in syringes. *Eur. J. Nucl. Med.*, 1979, 4, 389-391.