

Exposition aux rayonnements ionisants des personnels médicaux

Pour une catégorisation et une surveillance dosimétrique rationnelles

Y.-S. CORDOLIANI¹, B. AUBERT²

(Manuscrit reçu le 12 juillet 2003, accepté le 30 septembre 2003)

RÉSUMÉ

Avec les progrès des appareils et des techniques d'imagerie, la presque totalité des personnels médicaux exposés aux rayonnements ionisants ne reçoit plus aujourd'hui que des doses de rayonnement très faibles, voire insignifiantes. Ces personnels ne répondent plus à la définition légale de personne directement affectée aux travaux sous rayonnements (catégorie A), supposés pouvoir recevoir annuellement des doses à l'organisme entier comprises entre 6 et 20 mSv. Ces personnels doivent donc être classés en catégorie B et les salles où ils travaillent doivent être des zones surveillées et non des zones contrôlées. Seuls certains postes (angiographie et radiologie interventionnelle, injection de radiopharmaceutiques en médecine nucléaire) doivent rester classés en zones surveillées, avec classement en catégorie A des personnels qui y sont affectés. Ce changement de classement permet une surveillance dosimétrique rationnelle, réservant la dosimétrie active, électronique (en sus de la dosimétrie passive) aux seuls personnels de catégorie A, tandis que la majorité des personnels, catégorie B, restent surveillés par des dosimètres passifs, à périodicité de lecture trimestrielle. Ce classement repose sur des études de postes individuelles prenant en compte l'exposition réelle du personnel lors de l'activité de la salle et calculant l'exposition maximale théorique qui pourrait être atteinte par un travailleur affecté en permanence à cette salle.

ABSTRACT Occupational exposure in radiology and nuclear medicine departments. Categorization and dosimetric monitoring.

Currently, the radiation exposure of the huge majority of radiologic staff in radiology or nuclear medicine departments is very low. These workers are no longer in the "A category" of the French regulations, which implies annual exposure ranged from 6 to 20 mSv. Most workers of the staff would be categorized into B category (annual exposure ranged from 1 to 6 mSv). In radiology departments, only the interventional radiologists must be categorized "A" and in nuclear medicine department, only the technicians regularly assigned to injection of radiopharmaceuticals must be categorized "A". The modification of the categorization from "B" to "A" provides a best dosimetric monitoring: the electronic dosimeters are allocated to a few, really exposed, workers, while passive, three-month-read dosimeters record the very low exposures of the majority of workers. A dosimetric survey of each post, working out the maximal exposure of a permanent worker at this post is the prerequisite of the establishment of this categorization.

¹ Service d'imagerie médicale, hôpital du Val-de-Grâce, Paris.

² Service de Physique, Institut Gustave-Roussy, Villejuif.

Introduction

Le décret 98-1186 du 24 décembre 1998 (JO, 1998) et son arrêté d'application du 23 mars 1999 (JO, 1999) imposent la dosimétrie opérationnelle pour les travailleurs directement affectés aux travaux sous rayonnements et les salariés intervenant en zone contrôlée (ZC). Ces textes ne font pas la distinction entre le milieu industriel et le milieu médical. Or ce dernier a conservé, pour ses salles et ses personnels, une classification de zones contrôlées et de catégorie A, autrefois justifiée par les matériels et les méthodes de travail mais aujourd'hui complètement inadéquate pour un certain nombre d'activités médicales. La mise en place d'une dosimétrie opérationnelle sans discernement dans tous les services médicaux induirait des coûts très importants (de quelques milliers d'euros pour les petites structures, à plusieurs centaines de milliers d'euros pour les hôpitaux) alors que plus de 95 % des niveaux d'exposition sont insignifiants (OPRI, 2000) et que le bénéfice attendu en matière de prévention du risque serait nul. Les chefs d'établissement, de service et les personnes compétentes en radioprotection, en collaboration avec le médecin du travail de l'établissement, doivent donc entreprendre un reclassement des personnels et des salles pour ne conserver en catégorie A que les personnels dont l'exposition dans les conditions normales de travail atteint des valeurs significatives. Cela évitera un gaspillage d'argent que le budget de la santé ne peut se permettre, tout en permettant une surveillance dosimétrique plus efficace de l'ensemble des personnels exposés.

1. Situations et niveaux d'exposition

Ils seront envisagés pour les principales utilisations de rayonnements ionisants en milieu médical, c'est-à-dire la radiologie, la médecine nucléaire et la radiothérapie. La réglementation stipule qu'un personnel est exposé dès lors qu'il peut recevoir, dans les conditions normales de travail, plus de 1 mSv par an. S'il peut être exposé à plus de $3/10^e$ de la dose maximale admissible annuelle « corps entier » de 20 mSv (soit 6 mSv), ou $3/10^e$ de l'une des limites fixées pour la peau, les extrémités (500 mSv, soit 150 mSv) ou le cristallin (150 mSv, soit 45 mSv), il est classé en catégorie A. En-dessous de ces limites, il doit être classé en catégorie B.

1.1. Cas de la radiologie

Il faut noter d'emblée que l'énergie moyenne des photons du rayonnement direct employé en diagnostic varie entre ≈ 20 keV (mammographie) et ≈ 80 keV (scanographie) et que les opérateurs ne sont qu'exceptionnellement exposés directement à ce type de rayonnement (radiologie interventionnelle). La seule

source d'exposition à considérer est donc le rayonnement diffusé, d'énergie moyenne encore plus faible, pour laquelle la protection des tabliers plombés est très efficace, divisant l'exposition par un facteur 70 à 100 pour un tablier équivalant à 0,35 mm de plomb.

1.1.1. Radiologie conventionnelle

La principale activité, en nombre d'actes, reste le cliché thoracique, suivi de la radiographie du rachis, de l'abdomen sans préparation et des membres. Tous ces examens sont réalisés le plus souvent sans utilisation de scopie, le manipulateur se tenant au pupitre, donc en-deçà de la vitre de protection plombée au moment de la prise du cliché. L'exposition résultante est minimale ; les débits de dose mesurés au pupitre en cours d'émission des rayons X sont de l'ordre de quelques dizaines de micrograys par heure, soit environ 1 μGy par minute et le temps d'émission cumulé journalier de ce type de salle est inférieur à 2 minutes.

En salles télécommandées, sont réalisés des examens plus complexes nécessitant un temps de scopie, pour lequel l'opérateur peut être au-delà de la vitre de protection. L'examen qui reste le plus pratiqué est l'urographie intraveineuse pour laquelle l'opérateur est toujours au pupitre. Il en va de même pour les transits digestifs où la suspension barytée est ingérée par le malade (transit œso-gastro-duodénal, transit du grêle). La cystographie rétrograde peut nécessiter la présence de l'opérateur pendant une courte période auprès du malade (moins d'une minute de scopie). Le lavement baryté est l'examen qui nécessite le plus long temps de scopie en étant à moyenne distance du patient pour pouvoir contrôler la pression de remplissage et d'insufflation. Dans des conditions normales de travail (faisceau collimaté, distance minimale de 1 m du centre du champ, port du tablier plombé, impulsions de scopie et non scopie continue), pour un temps total de scopie de l'ordre de 3 minutes, l'exposition résultante reste très faible, inférieure à 1 μGy sous le tablier et inférieure à 50 μGy à la peau non protégée (tête et extrémités). Il faut noter que le scanner et les endoscopies digestives ont fait considérablement diminuer les indications de ces examens, autrefois courants, et qui ne sont plus que rarement pratiqués (la fréquence est inférieure à 5 par semaine dans un service de radiologie générale). Même si tous les examens étaient réalisés par le même opérateur, les doses annuelles « extrémités » et « corps entier » resteraient très en-deçà du tiers des limites annuelles de la nouvelle réglementation (décret 2003-296 du 30 mars 2003). Les opérateurs ne doivent donc pas être classés en catégorie A et seule la partie de la salle située au-delà de la vitre plombée, dans un rayon d'un mètre autour de l'axe du tube, peut être considérée comme une zone contrôlée, uniquement lors de l'émission des rayons X, ce qui introduit la notion de zone contrôlée intermittente.

1.1.2. Scanner

La plupart des acquisitions sont réalisées alors que le personnel est derrière la vitre. Seules certaines séries avec injection nécessitent la présence d'un opérateur auprès du patient, soit pour injecter, soit pour contrôler le bon déroulement de l'injection lorsqu'on utilise un injecteur automatique, ce qui est pratiquement toujours le cas aujourd'hui avec les scanners à acquisition continue « hélicoïdale ». Il faut savoir qu'en raison du délai nécessaire pour qu'un produit injecté par voie intraveineuse atteigne le système artériel, l'injection est le plus souvent terminée lorsque les rayons X commencent à être émis. L'opérateur a donc pu regagner la salle protégée. Même si, protégé par un tablier, il reste à proximité du patient, il n'est exposé qu'à un débit de dose de rayonnement diffusé très faible, de l'ordre de 10 μGy par coupe à 1 mètre du centre de l'anneau. Là encore, les études de poste calculant la dose théorique maximale reçue par un opérateur affecté en permanence au scanner, montrent qu'il est pratiquement impossible d'atteindre les niveaux d'exposition nécessitant le classement en catégorie A de ces personnels et le classement en zone contrôlée de la salle du scanner.

1.1.3. Radiographies hors service de radiologie

Ce sont essentiellement les radiographies au lit du malade, lorsque celui-ci est intransportable et les explorations radiographiques au bloc opératoire. Les appareils utilisés pour la radiographie au lit des patients fonctionnent en décharge de condensateur et ont une haute tension limitée, ce qui diminue le rayonnement diffusé. En pratique, la dose dans l'air, mesurée à 2 m de l'axe du faisceau (télécommande de déclenchement ayant une longueur de 3 m) est inférieure à 0,1 μGy par cliché, c'est-à-dire nulle pour un opérateur revêtu du tablier plombé obligatoire. Au bloc opératoire, l'utilisation d'amplificateurs de brillance sur arceau se généralise ; un appareil moderne délivre, à 60 cm du centre de l'amplificateur, 1 mGy par heure de scopie (soit environ 15 μGy par minute). Là encore, il est pratiquement impossible, pour des personnels respectant les règles de protection (port du tablier, utilisation de la scopie par impulsions, collimation correcte) d'atteindre les limites de dose déterminant le classement en catégorie A.

1.1.4. Radiologie interventionnelle et angiographie

C'est le seul domaine des services de radiodiagnostic où l'une des limites de dose peut être atteinte, non pas la limite corps entier, qui reste, pour la totalité des opérateurs utilisant correctement leur dosimètre (sous le tablier et non sur celui-ci), toujours inférieure à 6 mSv par an, mais la limite peau & extrémités, notamment en raison de l'exposition souvent inévitable de la main au rayonnement primaire au cours de certaines interventions. Ici le classement en catégorie A reste

donc obligatoire en sachant que l'exposition responsable (extrémités) ne sera pas, en pratique, surveillée en temps réel, puisque les systèmes actuels ne permettent pas la détection aux extrémités et que celle-ci restera dévolue à la dosimétrie passive, par dosifilm poignet ou, mieux, par bague radiothermoluminescente. On retrouvera le même problème pour les biopsies réalisées au scanner avec le mode scopie que permettent aujourd'hui les systèmes multicoupes. L'opérateur est suffisamment protégé du rayonnement diffusé par le tablier plombé, mais pourrait recevoir, en cas de pratique intensive, des doses pouvant approcher les $3/10^6$ des limites annuelles à la main dominante.

1.2. Cas de la médecine nucléaire

Les différences avec la radiologie sont d'une part une énergie du rayonnement des radionucléides utilisés en médecine nucléaire plus élevée (de ≈ 80 keV à 511 keV) et, d'autre part, l'intervention du personnel à proximité de la source (flacon contenant le radiopharmaceutique, préparation de la seringue, patient après injection, etc.). Cela explique pourquoi la surveillance passive mensuelle enregistre, dans ce domaine, des expositions régulières des personnels. Néanmoins les niveaux de ces expositions se situent le plus souvent en-deçà de 6 mSv et les postes les plus exposés sont bien connus. Il s'agit de ceux du laboratoire dit « chaud » (préparation des radiopharmaceutiques), de la salle d'injection et, depuis l'introduction récente des émetteurs de positons, des salles de tomographie par émissions de positons (TEP).

En fondant les calculs d'exposition sur le débit d'une source, on peut obtenir des valeurs relativement élevées. En effet à 1 mètre d'un flacon contenant une source de 1 GBq, le débit d'exposition sera de 18, 49 et 130 $\mu\text{Sv/h}$ respectivement pour une source de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I et ^{18}F . Cependant ces débits ne sont effectifs que pendant les quelques secondes où le flacon est plein et sans protection. Si on s'intéresse à un poste donné ou à l'ensemble d'un examen, on trouvera des valeurs de doses absorbées par l'opérateur relativement faibles. Si on ne considère que la phase de l'examen, les principales applications de médecine nucléaire exposent le personnel à un niveau compris entre 0,2 et 2 μSv par examen. Une étude au moyen de dosimètres électroniques, menée depuis plus de 6 ans à l'Institut Gustave-Roussy, a montré que pour les postes les plus exposés, c'est-à-dire les injections de radiopharmaceutiques, l'exposition annuelle moyenne ne dépassait pas 4,5 mSv (max. = 6,4 mSv/an). L'utilisation récente du ^{18}F FDG a conduit à s'interroger sur les niveaux d'exposition associés à ce radionucléide émetteur de positons et donc de photons de 511 keV. D'après différentes études, on peut retenir que l'ensemble d'un examen (préparation, injection, acquisition) de TEP au FDG expose à moins de 20 μSv (Chiesa *et al.*, 1997).

1.3. Cas de la radiothérapie

Il convient de distinguer dans ce domaine la radiothérapie externe et la curiethérapie.

En radiothérapie externe, les appareils utilisés sont soit des appareils de télécobalthérapie ou, de plus en plus fréquemment, des accélérateurs linéaires produisant des faisceaux de photons et d'électrons de haute énergie (jusqu'à environ 30 MeV). Les normes de construction des appareils ainsi que la réglementation relative à la conception des installations, associées au fait que le personnel n'est jamais présent dans la salle pendant l'irradiation du patient, font que l'exposition mensuelle du personnel est largement inférieure au niveau d'enregistrement des films dosimètres (200 μ Sv). Les incidents, tels que le non retour de la source de cobalt-60 en position de stockage sont rares et n'ont jamais conduit à des expositions élevées. L'exposition, parfois évoquée, liée à l'activation des matériaux dans la tête d'irradiation des accélérateurs linéaires d'énergie supérieure à 10 MeV est en fait insignifiante (Evdokimoff *et al.*, 2002).

La situation en curiethérapie est différente. Elle est sur certains points similaire à celle de la médecine nucléaire (risque de contamination mis à part) car les sources sont implantées dans le patient. Les techniques avec les projecteurs de source utilisant des sources de césium-137 ou, plus récemment, des sources d'iridium en curiethérapie pulsée ou curiethérapie à haut débit garantissent la protection du personnel qui n'intervient jamais en présence de la source. En revanche, en curiethérapie bas débit avec de l'iridium-192, la mise en place des sources puis le suivi du patient pendant le traitement qui dure plusieurs jours, peut occasionner une exposition du personnel certes toujours largement inférieure aux limites mais inévitable. Même si l'évolution des techniques (phase de préparation sans source radioactive, suppression du radium, projecteurs de source) a grandement contribué à la réduction de l'exposition du personnel, la curiethérapie fait partie des domaines où la dosimétrie opérationnelle peut apporter des éléments intéressants sur les expositions liées aux différentes tâches du personnel et où les dosimètres électroniques sont parfaitement adaptés à l'énergie des sources utilisées.

2. Données nationales

Les données de la surveillance au plan national effectuée par l'OPRI, le LCIE et PHILIPS confirment cette analyse. Ainsi, le rapport annuel de l'OPRI pour l'année 2000 (OPRI, 2000) montre que sur 90 621 personnes suivies en radiodiagnostic, 89 129 (98 %) ont reçu moins de 1 mSv, 1 156 entre 1 et 6 mSv (soit 99,6 % en-dessous des $3/10^6$ de la LAE catégorie A) et quelques dizaines plus de 20 mSv,

ces doses restant sujettes à caution, car dans les conditions normales de travail elles sont physiquement impossibles à atteindre sous un tablier plombé.

En ce qui concerne la médecine nucléaire, sur 4 046 personnes suivies, 3 606 (89,1 %) ont reçu moins de 1 mSv, 396 entre 1 et 6 mSv (soit 98,9 % en-dessous des 3/10^e de la LAE catégorie A) et aucune exposition supérieure à 15 mSv.

Enfin, pour la radiothérapie, sur 7 944 personnes suivies, 7 701 (96,9 %) ont reçu moins de 1 mSv, 193 entre 1 et 6 mSv (soit 99,4 % en-dessous des 3/10^e de la LAE catégorie A) et aucune exposition n'a été supérieure à 15 mSv.

3. Reclassement des salles et des personnels

Les éléments précédents démontrent que le classement systématique des personnels du milieu médical en catégorie A ainsi que celui des locaux des services concernés en zone contrôlée est illogique, inutile et dispendieux. Il convient de reconsidérer ces classements sur la base des expositions rencontrées dans les conditions réelles de travail. La démarche doit être entreprise en concertation entre le chef de service, la personne compétente en radioprotection de l'établissement et le médecin du travail sur la base d'études de poste reflétant le mieux possible l'activité réellement exercée. Compte tenu des compétences et des moyens nécessaires pour ce type d'études, une assistance pourra éventuellement être demandée aux organismes institutionnels de radioprotection.

3.1. Revue de la surveillance dosimétrique

Elle a pour but de contrôler, sur une période suffisante (cinq dernières années), que le niveau d'exposition atteint par les personnels en dehors de ceux pratiquant régulièrement la radiologie interventionnelle ainsi que de quelques personnes en médecine nucléaire et curiethérapie, se situent bien en-dessous du seuil de 6 mSv. Un relevé anonyme est utile pour l'information du personnel (*cf. infra*).

3.2. Étude de poste

Elle vise à déterminer en radiologie dans chaque salle, les débits de dose en différents points autour de l'installation et derrière le paravent. Elle analyse ensuite, en fonction de l'activité moyenne et de la rotation des personnels, en privilégiant toujours la limite haute de la fourchette, la dose maximale que peut recevoir un manipulateur ou un médecin. Le résultat permettra alors de proposer le reclassement de la salle en zone surveillée, et *ipso facto*, du personnel y travaillant en catégorie B avec dosimètre passif trimestriel. La dosimétrie d'ambiance par film dosimètre sera maintenue. Une démarche analogue doit être

effectuée dans les autres services afin d'identifier les locaux à classer en zone contrôlée, sur la base des pratiques de l'établissement.

3.3. Proposition de reclassement

Elle doit être adressée, avec les données la motivant, au chef d'établissement et au médecin du travail. La décision du chef d'établissement sera communiquée aux intéressés, au médecin du travail et à la personne compétente en radioprotection.

3.4. Information des personnels

C'est une étape capitale pour l'acceptation de la mesure. Elle doit rappeler les considérations générales sur les risques des faibles doses, démontrer l'absence de justification réglementaire du classement en catégorie A, en s'appuyant sur les relevés dosimétriques des années passées et souligner que le passage en catégorie B ne dispense pas d'une surveillance dosimétrique et ne comporte aucun inconvénient statutaire, salarial (pas de prime attachée à la catégorie A) ou de retraite.

3.5. Mise en place des nouveaux protocoles de surveillance dosimétrique

- **Catégorie B**

Ce seront tous les personnels du service d'imagerie n'opérant pas en radiologie interventionnelle, l'essentiel du personnel de radiothérapie ainsi que la majorité du personnel d'hospitalisation en médecine nucléaire et curiethérapie. La surveillance dosimétrique sera effectuée par l'une des techniques de dosimétrie à lecture différée homologuée : dosifilm, dosimètre thermoluminescent, dosimètre à lecture optiquement stimulée (OSL) ou dosimètre radiophotoluminescent (DPL). En cas d'emploi du film dosimètre, la fréquence de lecture sera de préférence trimestrielle. En effet, compte tenu des faibles doses enregistrées, un développement trimestriel permettra une mesure plus fiable car le niveau d'enregistrement des films dosimètres est de 0,2 mSv, aussi une exposition mensuelle de 0,1 mSv ne sera pas comptabilisée en enregistrement mensuel, alors que la somme trimestrielle de 0,3 mSv le sera.

- **Catégorie A**

Ce sont les personnels de radiologie interventionnelle opérant au contact du patient (c'est-à-dire essentiellement les médecins radiologues ou cardiologues et éventuellement leur aide opératoire infirmier ou manipulateur, mais non les manipulateurs en salle), les manipulateurs de curiethérapie manipulant les sources

de bas débit et le personnel de médecine nucléaire chargé des préparations et des injections des radiopharmaceutiques. Ils se verront affecter pour la dosimétrie corps entier, en plus du film dosimètre à lecture mensuelle, un dosimètre électronique adapté aux rayonnements à détecter.

Outre les dosimètres opérationnels attribués au personnel de cette catégorie, il pourra être utile de disposer de quelques dosimètres opérationnels supplémentaires destinés à un personnel intervenant ponctuellement dans une zone contrôlée, telle qu'une salle d'angiographie en cours d'examen, ou, dans un but pédagogique, pour que les personnels puissent mesurer leur exposition lors de radiographies au lit, de maintien de patient, de soins auprès de patients en curiethérapie, par exemple. Le port d'un dosimètre en temps réel est également particulièrement conseillé si une femme enceinte reste affectée à un emploi en zone surveillée.

Conclusion

Appliquée sans discernement, en fonction de la classification erronée du personnel travaillant sous rayonnements ionisants actuellement en usage dans la plupart des établissements hospitaliers, la dosimétrie opérationnelle représenterait une dépense inutile que le budget de la santé ne saurait se permettre. Déterminée rigoureusement, expliquée puis appliquée de manière raisonnée, elle sera au contraire le garant d'une bonne gestion de la radioprotection des personnels de nos établissements et constituera un excellent outil pédagogique pour une pratique responsable et sereine des applications des rayonnements ionisants en médecine.

RÉFÉRENCES

- Chiesa C., De Sanctis V., Crippa F., Schiavini M., Fraigola C.E., Bogni A., Pascali C., Decise D., Marchesini R., Bombardieri E. (1997) Radiation dose to technicians per nuclear medicine procedure: comparison between technetium-99m, gallium-67, and iodine-131 radiotracers and fluorine-18 fluorodeoxyglucose, *Eur. J. Nucl. Med.* **24**, 1380-1389.
- Evdokimoff V., Willins J., Richter H. (2002) Induced radioactive potential for a medical accelerator, *Health Phys.* **83**(suppl. 2), S68-S70.
- JO (1998) Décret n° 98-1186 du 24 décembre 1998 modifiant le décret no. 86-1103 du 2 octobre 1986 modifié relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants, JO du 26 décembre 1998.
- JO (1999) Arrêté du 23 mars 1999 précisant les règles de la dosimétrie externe des travailleurs affectés à des travaux sous rayonnements en application des articles 20 bis et 25-I du décret du 28 avril 1975 modifié et des articles 31 bis et 34-I du décret du 2 octobre 1986 modifié, JO du 8 avril 1999.
- OPRI (2000) Rapport annuel d'activité.