

Dosimétrie individuelle pour l'irradiation externe : évolution des pratiques et des techniques

J.-F. BOTTOLLIER-DEPOIS¹, I. CLAIRAND¹, L. DONADILLE¹, A. RANNOU²

(Manuscrit reçu le 25 mai 2007, accepté le 12 juin 2007)

RÉSUMÉ Les activités utilisant des rayonnements ionisants évoluent et nécessitent une surveillance dosimétrique adaptée. Dans le même temps, les techniques dosimétriques ont également évolué offrant notamment un choix de dosimètres électroniques plus important en particulier pour les neutrons ainsi qu'une diversification des techniques utilisables (TLD, OSL, RPL) pour la dosimétrie passive de routine. L'étude de poste est devenue incontournable afin de déterminer la façon la plus réaliste les caractéristiques de l'exposition dont résulte, entre autres, le choix des techniques passives et opérationnelles. Les différents dosimètres passifs aujourd'hui proposés par les laboratoires agréés présentent des performances globalement satisfaisantes. Par ailleurs, il existe sur le marché de multiples modèles de dosimètres électroniques susceptibles de couvrir les besoins associés à la dosimétrie opérationnelle. L'organisation d'intercomparisons constitue un élément important du dispositif de contrôle de la bonne mise en œuvre des techniques de dosimétrie passive par les laboratoires agréés et des performances des dosimètres actifs dans des conditions réalistes d'utilisation. De telles intercomparisons sont réalisées périodiquement, tant à un niveau national qu'international, afin de prendre en compte les évolutions des matériels, des pratiques et du plus grand nombre de situations possibles.

ABSTRACT Individual dosimetry for external radiation: evolution of practices and techniques. Professional practices involving ionizing radiation are evolving and require an adequate individual monitoring of workers. Dosimetric techniques are also in constant development with, for example, new electronic personal dosimeters, particularly for neutrons, and a larger choice of available techniques (TLD, OSL, RPL) for passive dosimeters. The dosimetric workplace study is now mandatory. Among its objectives, it is aimed at to choosing passive and electronic techniques from the determination of the characteristics of the encountered radiation fields. The passive dosimeters distributed by the approved dosimetric services are satisfactory overall. Moreover, many different models, covering almost all needs, of electronic personal dosimeters are commercialised. To ensure the correct implementation of passive dosimetric techniques by the approved dosimetric services, it is important to organise intercomparisons. National and international intercomparisons are carried out regularly in order to account for new developments, evolution of practices and situations.

Keywords: individual monitoring / passive dosimetry / active dosimetry / intercomparison / workplace study

¹ IRSN, Service de Dosimétrie Externe, B.P. 17, 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex, France.

² IRSN, Service d'Expertise en Radioprotection, B.P. 17, 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex, France.

1. Introduction

Les activités utilisant des rayonnements ionisants sont en évolution constante ; cette évolution importante dans certains secteurs peut faire apparaître des problématiques nouvelles en termes de radioprotection. C'est en particulier le cas dans le secteur médical avec la mise en œuvre de nouvelles techniques utilisant des rayonnements de haute énergie et/ou pulsés pour la radiothérapie, par exemple l'IMRT et la hadron-thérapie, ou de faible énergie pour la radiologie interventionnelle. Ces situations nouvelles nécessitent une surveillance dosimétrique adaptée aux champs complexes générés. Dans le même temps, les techniques dosimétriques ont également évolué offrant notamment un choix de dosimètres électroniques plus important en particulier pour les neutrons ainsi qu'une diversification des techniques utilisables (TLD, OSL, RPL) pour la dosimétrie passive de routine.

Par ailleurs, il est important de rappeler que l'évolution du dispositif réglementaire (Décret, 2003), visant à assurer la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants, a notamment renforcé le principe d'optimisation et abaissé des limites de dose.

L'objectif de ce document est d'illustrer au travers d'exemples les évolutions des pratiques et des techniques en dosimétrie externe visant à améliorer la surveillance individuelle des travailleurs.

2. L'évolution des pratiques

La dosimétrie individuelle, élément important du dispositif de surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, doit permettre d'évaluer les doses reçues au niveau de l'organisme entier et des tissus significativement exposés. Les techniques dosimétriques utilisées pour la surveillance individuelle doivent être adaptées aux risques associés au poste de travail considéré, en particulier à la caractéristique des rayonnements rencontrés ainsi qu'à la configuration de l'exposition (Rannou, 2005).

2.1. L'étude de poste

L'étude de poste de travail est devenue incontournable afin de déterminer de la façon la plus réaliste les caractéristiques de l'exposition ; ceci est d'autant plus nécessaire que les pratiques dans l'utilisation des rayonnements ionisants évoluent, par exemple dans le domaine médical avec l'apparition de nouveaux protocoles comme la radiothérapie au moyen d'accélérateurs de particules. Elle fait partie intégrante de tout dossier d'autorisation pour l'utilisation de rayonnements ionisants et les représentants de l'Autorité de sûreté y attachent une

importance toute particulière lors des inspections. Par conséquent, la réalisation d'une étude de poste, à partir de laquelle seront définies en particulier la classification des zones (Arrêté, 2006) et les modalités de la surveillance dosimétrique, requiert une attention toute particulière.

Afin de préciser les modalités pratiques de la réalisation d'une étude de poste, l'IRSN a publié un guide d'aide à la réalisation d'études de postes de travail (Donadille *et al.*, 2007), destiné aussi bien au domaine médical qu'à ceux de l'industrie ou de la recherche. La première partie du guide propose une approche méthodologique applicable dans la grande majorité des cas. La seconde partie du guide est organisée en une série de fiches, chacune consacrée à un type de poste de travail, en s'attachant en particulier à fournir des niveaux d'exposition indicatifs pour guider l'utilisateur. Deux premières fiches ont été rédigées à l'attention du secteur médical, l'une consacrée à la radiologie conventionnelle, l'autre à des postes de radiologie interventionnelle.

2.2. La surveillance dosimétrique individuelle

La dosimétrie externe consiste à mesurer les doses reçues par une personne exposée dans un champ de rayonnements (rayons X, gamma, bêta, neutrons, ...) générés par une source extérieure à la personne. Les dosimètres portés par les travailleurs, adaptés aux différents types de rayonnements, permettent de connaître la dose reçue par le corps entier (dosimètres portés à la poitrine) ou par une partie du corps (doigts, poignet, ...), soit en différé après lecture dans un laboratoire agréé (on parle alors de dosimétrie passive), soit en temps réel (on parle de dosimétrie active ou opérationnelle).

Entre 1996 et 2005, l'effectif total des travailleurs surveillés en France est passé de 230 385 à 273 886, avec une augmentation assez régulière dans les différents secteurs d'activité (Fig. 1) (Rannou *et al.*, 2006). Cette évolution est moins le résultat d'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants que celui d'une meilleure surveillance des travailleurs professionnellement exposés. Ainsi par exemple, la hausse régulière du nombre de personnes surveillées au cours des dernières années dans le secteur vétérinaire résulte plutôt d'une plus grande sensibilisation de ces professionnels à la nécessité d'un suivi dosimétrique que d'une évolution significative de leur activité.

En 2005, pour un effectif total surveillé de 273 886 travailleurs au niveau national, le nombre avec une dosimétrie complémentaire pour les neutrons s'élève à 24 518 travailleurs et à 20 011 travailleurs pour la dosimétrie complémentaire d'extrémité (Rannou *et al.*, 2006). En 2005, 87 % des dosimètres passifs portés par les travailleurs suivis en France présentaient des résultats inférieurs au seuil de

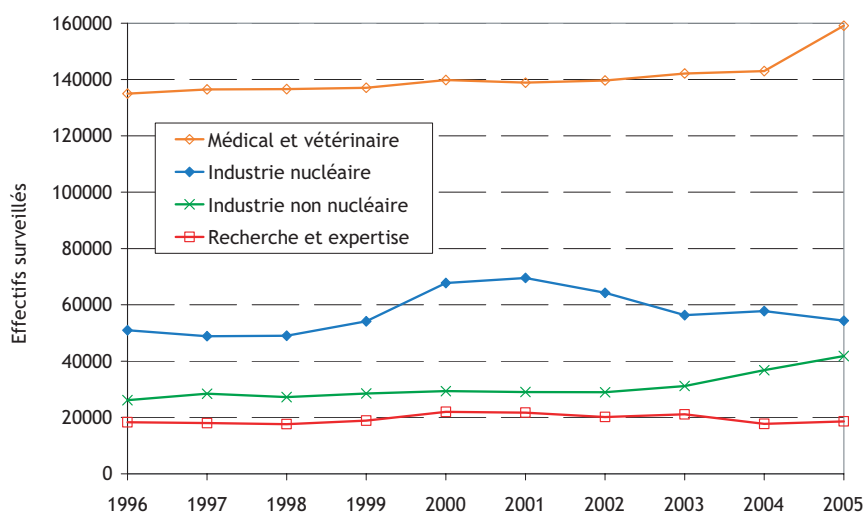


Figure 1 – *Évolution des effectifs surveillés en France, par domaines d'activité, de 1996 à 2005.*
Evolution of the overseen population for various activity domains from 1996 to 2005.

détection. À noter également que seuls 5 % environ des travailleurs ont reçu, au cours de cette même année, une dose cumulée supérieure à 1 mSv, c'est-à-dire la valeur correspondant à la limite réglementaire pour les membres du public.

3. L'évolution de la dosimétrie individuelle

La mise en œuvre effective du nouveau dispositif réglementaire en matière de radioprotection a des effets sur les pratiques ; en particulier, la systématisation progressive de l'étude de poste a un impact certain sur les modalités de la surveillance dosimétrique. En effet, c'est un point qui est considéré avec beaucoup d'attention lors des inspections réglementaires afin de s'assurer en particulier que la surveillance dosimétrique mise en place est en adéquation avec les besoins : dosimètres adaptés à la nature du rayonnement et de l'exposition (corps entier, extrémités éventuellement), période de port adaptée à la catégorie radiologique. Par ailleurs, des intercomparaisons entre les différentes techniques de dosimétrie passive et active et les laboratoires proposant des prestations dosimétriques sont pratiquées de plus en plus fréquemment, tant dans un contexte réglementaire national que dans un souci d'harmonisation des pratiques à une échelle internationale.

TABLEAU I
Différentes techniques utilisées par les laboratoires français.
Different techniques used by the French laboratories.

Laboratoire	Corps entier X, γ , β	Corps entier neutrons	Extrémité X, γ , β	Extrémité neutrons	Utilisation
COMET – France	TLD	-	TLD	-	marché ouvert
AREVA – La Hague	TLD + film	TLD	TLD	-	besoin interne
AREVA – Marcoule	TLD	TLD	TLD	-	besoin interne
DGA – SPRA	OSL	CR39	TLD	-	besoin interne
IN2P3 – IRES Strasbourg	Film	CR39	-	-	besoin interne
IN2P3 – IPN Orsay	Film	-	-	-	besoin interne
IRSN	Film RPL (2008)	CR39	TLD	CR39	marché ouvert
LCIE – Landauer	OSL	CR39	TLD	-	marché ouvert

3.1. La dosimétrie passive

Les dosimètres sont choisis par l'utilisateur (en pratique la personne compétente en radioprotection) en s'assurant que l'organisme agréé retenu pour fournir des dosimètres est en capacité de mesurer les rayonnements ionisants dont les caractéristiques ont été précisées à l'issue de l'analyse du poste de travail.

3.1.1. L'évolution du paysage en France

Si la technique par film dosimétrique est toujours la technique la plus utilisée à l'échelle mondiale pour la dosimétrie de routine pour les photons, la technique par thermoluminescence (TLD) est bien implantée. Cependant, deux techniques émergentes se développent pour la dosimétrie de routine depuis quelques années : la luminescence stimulée optiquement (OSL) et la radio photo luminescence (RPL). En ce qui concerne la dosimétrie neutrons, les deux techniques les plus utilisées sont les détecteurs de trace (CR-39) ainsi que celle basée sur la différence de section efficace de capture entre 2 matériaux (TLD en général) pour les neutrons thermiques.

En France, les mesures de l'exposition externe sont effectuées par l'IRSN ou un laboratoire agréé (Arrêté, 2004). À ce jour, sept laboratoires sont agréés et proposent différentes techniques pour l'évaluation de la dose au corps entier ($H_p(10)$) et aux extrémités ($H_p(0,07)$). Trois laboratoires proposent des prestations sur le marché ouvert national (Tab. I). Les techniques utilisées en France sont en très forte évolution actuellement. En effet, le LCIE-Landauer propose la technique OSL depuis 2006, l'IRSN proposera la technique RPL dès le début 2008 et

l'IN2P3 planifie également le remplacement du film en 2008. Ces évolutions sont guidées par les exigences de plus en plus importantes en termes de performances dosimétriques, en particulier la limite de détection, de délai de rendu des résultats, de coûts d'exploitation et par la disparition probable du film dosimétrique à terme.

3.1.2. La dosimétrie d'extrémité

Bien que la dosimétrie d'extrémités ne concerne qu'une minorité de l'ensemble des travailleurs exposés, elle se distribue sur tous les secteurs d'activité. Une tendance à l'augmentation de la proportion de la dosimétrie complémentaire d'extrémité est observée depuis quelques années en particulier dans le secteur médical et vétérinaire. Elle est la plupart du temps mise en œuvre aux postes pour lesquels les mains des travailleurs sont susceptibles d'être exposées : manipulation de sources radioactives scellées ou non scellées, en boîte à gants ou non (fabrication et retraitement de combustibles nucléaires, recherche, médecine nucléaire, curiethérapie), interventions au voisinage de champs de radiations (radiologie interventionnelle, radiographie dans le domaine vétérinaire), etc.

Le suivi dosimétrique d'extrémités est réalisé principalement au moyen de dosimètres TLD, mais également, pour la dosimétrie « poignet », par des émulsions photographiques, associés, le cas échéant, à des détecteurs du type CR-39 pour la mesure des neutrons. Les bagues sont généralement portées à la base de l'index, du majeur ou de l'annulaire, les dosimètres « poignet » de la même façon qu'une montre.

Il demeure cependant très difficile d'estimer les doses réellement reçues aux extrémités à partir de la dosimétrie. Les doses vont en effet dépendre très fortement de l'opérateur considéré (gestes et postures), de ses pratiques (utilisation ou non de protections radiologiques), de la difficulté de l'opération et de la position à laquelle elle est mesurée. Ces difficultés motivent des travaux de recherche et développement dans le domaine de la dosimétrie d'extrémités. On peut citer des travaux menés au niveau européen visant à optimiser la radioprotection du personnel dans le domaine médical, et plus particulièrement pour les activités de radiologie interventionnelle et de médecine nucléaire (Vanhavere *et al.*, 2007).

3.2. La dosimétrie active

La dosimétrie opérationnelle ou active est mise œuvre par la PCR sous la responsabilité du chef d'établissement dès lors qu'un travailleur accède à une zone contrôlée. Les dosimètres opérationnels doivent permettre de mesurer en temps réel les rayonnements ionisants révélés par l'analyse des postes de travail.

DOSIMÉTRIE INDIVIDUELLE POUR L'IRRADIATION EXTERNE

Les caractéristiques à prendre en compte sont notamment celles indiquées dans l'annexe de l'arrêté du 30 décembre 2004 :

- les performances de mesure des différents types de rayonnements ionisants (le seuil de mesure ne doit pas être supérieur à 0,01 mSv et le pas d'enregistrement à 0,001 mSv) ;
- les performances aux variations dues à l'environnement ;
- les éventuelles interférences et leur influence sur les résultats dosimétriques ;
- la taille, le poids et la résistance mécanique du dosimètre.

D'autres critères importants peuvent être ajoutés à cette liste :

- l'autonomie ;
- l'informatique associée pour le recueil des données et leur transmission au registre national SISERI conformément au protocole défini par l'IRSN ;
- les opérations de maintenance ;
- les coûts d'investissement et d'exploitation.

Le dosimètre opérationnel doit être muni de dispositifs d'alarme (visuels ou sonores) en débit de dose ou en dose cumulée et fournir un affichage en continu des doses reçues par le travailleur, ou à défaut à chaque sortie de la zone de travail.

En fonction de leur application, la Commission électrotechnique internationale (CEI, 2005) définit 6 combinaisons de grandeurs et de type de rayonnement qui permettent de classer les dosimètres actifs :

- $H_p(10)$ et $H_p(0,07)$ pour les rayonnements X et gamma ;
- $H_p(10)$ et $H_p(0,07)$ pour les rayonnements X, gamma et bêta ;
- $H_p(10)$ pour les rayonnements X et gamma ;
- $H_p(10)$ pour les neutrons ;
- $H_p(10)$ pour les rayonnements X, gamma et neutron ;
- $H_p(0,07)$ pour les rayonnements X, gamma et bêta.

De nombreux modèles de dosimètres opérationnels pour les photons et les bêtas sont aujourd'hui disponibles. Un panorama très complet sur l'état de l'art de la dosimétrie opérationnelle au niveau européen a été dressé récemment au sein du groupe de travail EURADOS³ (Bolognese-Milsztjan *et al.*, 2004), une association regroupant une cinquantaine de laboratoires européens impliqués dans des activités de dosimétrie. Un catalogue de 26 dosimètres produits par 16 fabricants a ainsi été établi.

Les dosimètres photons ou photons – bêta peuvent être regroupés en 3 classes :

- les dosimètres photons basés sur un compteur Geiger Müller ;

³ European Radiation Dosimetry Group (<http://www.euradnews.org>).

- les dosimètres photons basés sur une ou plusieurs diodes silicium (avec un convertisseur additionnel pour les neutrons) ;
- les dosimètres photons ou bêta de type DIS (*Direct Ion Storage*) basés sur des petites chambres d'ionisation.

Soulignons que des contrôles périodiques rigoureux des dosimètres opérationnels, et notamment les contrôles externes, sont d'autant plus nécessaires que, à la différence des dosimètres passifs, les résultats des dosimètres opérationnels sont exploités directement par les utilisateurs et non pas par un organisme agréé et indépendant de ces derniers. L'arrêté du 26 octobre 2005 (Arrêté, 2005) définit les modalités de contrôles des appareils utilisés en radioprotection, en particulier pour les dosimètres opérationnels.

3.3. Les intercomparaisons

3.3.1. Les intercomparaisons réglementaires nationales

Conformément aux dispositions du décret n° 2003-296 du 31 mars 2003, relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants, et de l'arrêté du 6 décembre 2003, relatif aux conditions de délivrance du certificat et de l'agrément pour les organismes en charge de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, l'IRSN est chargé d'organiser au moins tout les 3 ans des intercomparaisons qui concernent les organismes faisant une demande d'agrément pour la mesure de l'exposition externe avec des dosimètres individuels passifs. L'ensemble des dosimètres passifs qui entrent dans la demande d'agrément d'un organisme donné sont concernés : dosimètres poitrine, poignet et bagues dans leur conditionnement habituel. Les dosimètres sont exposés sur des fantômes *ad hoc* (tronc, poignet ou doigt). En pratique, un échantillonnage des paramètres (nature du rayonnement, énergie, angle d'incidence, dose) représentatif des conditions d'utilisation et de celles définies dans les documents normatifs est retenu pour une intercomparaison donnée, l'objectif étant de considérer des critères différents d'une intercomparaison à l'autre. La figure 2 illustre les résultats obtenus dans une des configurations retenues lors de la dernière intercomparaison organisée en 2006 (Itié et Clairand, 2006). Dans cet exemple, les résultats obtenus sont considérés comme globalement satisfaisants avec cependant 2 laboratoires qui présentent une dispersion significative sur leurs mesures.

Par ailleurs, l'IRSN est chargé d'émettre un avis sur la qualité des résultats de ces intercomparaisons. Cet avis constitue l'une des pièces du dossier de demande d'agrément que les organismes demandeurs font auprès de la Direction générale du travail.

DOSIMÉTRIE INDIVIDUELLE POUR L'IRRADIATION EXTERNE

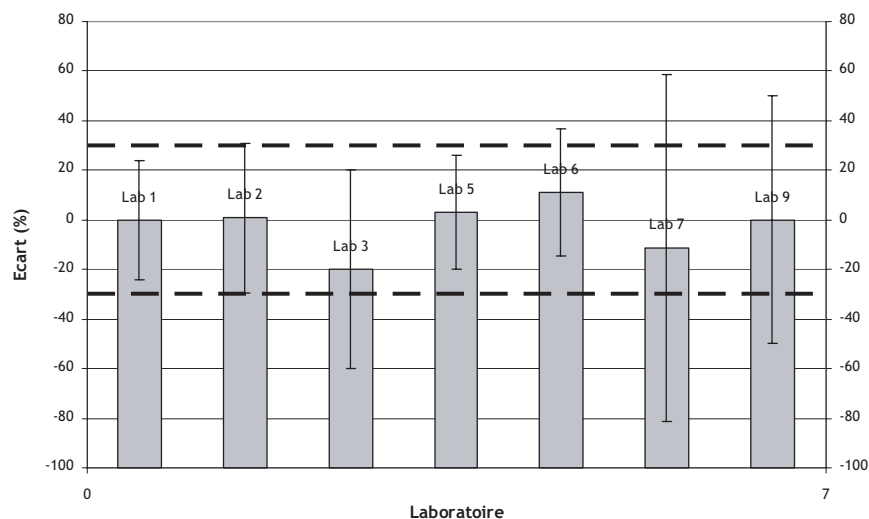


Figure 2 – Écarts par rapport à la valeur de référence $H_p(10)$ des résultats obtenus par les laboratoires pour les dosimètres de type TLD et OSL poitrine avec des rayonnements X filtrés d'énergie moyenne 57 keV et une dose de 0,15 mSv.

Difference between the reference value $H_p(10)$ and the results obtained by the various laboratories for chest TLD and OSL dosimeters using filtered X-rays with a mean energy of 57 keV and a dose of 0.15 mSv.

3.3.2. Les intercomparaisons internationales

Des organismes internationaux organisent également des intercomparaisons dont l'objectif est de fournir des informations à l'ensemble des acteurs impliqués dans le suivi dosimétrique des personnes exposées aux rayonnements ionisants afin d'harmoniser les pratiques. Une intercomparaison organisée dans ce contexte permet généralement de répondre à des questions posées par l'évolution des matériels et des pratiques.

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) en collaboration avec l'EURADOS ont par exemple organisé récemment une intercomparaison de dosimètres actifs utilisés pour la dosimétrie des photons et des bêtas (AIEA, 2006). L'objectif était, d'une part, d'évaluer les capacités de différents types de dosimètres électroniques disponibles sur le marché ainsi que des avancées techniques dans le domaine et, d'autre part, de donner des recommandations sur leur utilisation. La participation reposait sur le volontariat des fabricants : neuf ont

répondu positivement et treize modèles ont été testés. Les résultats ont montré le bon respect des normes en vigueur (CEI, 2005). En particulier, des résultats obtenus auprès de champs pulsés, présentés pour la première fois dans le cadre d'une intercomparaison, présentent un intérêt plus spécifique pour les utilisateurs de dosimètres actifs dans le domaine médical pour le diagnostic et la radiographie interventionnelle.

Deux intercomparaisons ont été organisées par l'EURADOS début 2007, l'une concernant les dosimètres passifs pour les extrémités et l'autre les dosimètres électroniques utilisés en radiologie interventionnelle. Les résultats, dont la publication est prévue courant 2007, devraient fournir des informations intéressantes, tant sur la capacité des dosimètres à mesurer les bêta et les photons de faible énergie, que sur la réponse des dosimètres actifs en champs pulsés (Clairand *et al.*, 2007).

4. Conclusion

La mise en place effective de la nouvelle réglementation en matière de radioprotection a fait de l'étude de poste un élément central et déterminant pour définir de façon cohérente et adaptée les modalités de la surveillance dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

Le choix des techniques passives et opérationnelles doit résulter d'une analyse aussi fine que possible du poste de travail. Les différents dosimètres passifs aujourd'hui proposés par les laboratoires agréés présentent des performances globalement satisfaisantes. Par ailleurs, il existe sur le marché de multiples modèles de dosimètres électroniques susceptibles de couvrir les besoins associés à la dosimétrie opérationnelle. Il convient néanmoins que l'utilisateur définisse correctement ses besoins et choisisse un dosimètre adapté.

L'organisation d'intercomparaisons constitue un élément important du dispositif de contrôle de la bonne mise en œuvre des techniques de dosimétrie passive par les laboratoires agréés et des performances des dosimètres actifs dans des conditions réalistes d'utilisation. Il est bien évident que les résultats d'une intercomparaison demeurent l'image de la réponse d'un dosimètre à un moment donné et dans des conditions d'exposition définies qui ne prennent pas en compte l'ensemble des situations qui pourraient être rencontrées. En conséquence, il est indispensable de réaliser périodiquement ce type d'exercice afin de prendre en compte les évolutions des matériels, des pratiques et du plus grand nombre de situations possibles.

RÉFÉRENCE

- AIEA (2006) Intercomparison on measurements of the quantity personal dose equivalent Hp(d) by active personal dosimeters. Joint IAEA-EURADOS project. Sous presse.
- Arrêté (2004) du 30 décembre portant agrément d'organismes chargés d'effectuer la surveillance de l'exposition externe des travailleurs soumis aux rayonnements ionisants.
- Arrêté (2005) du 26 octobre définissant les modalités de contrôle en radioprotection.
- Arrêté (2006) du 15 mai portant sur les conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites.
- Bolognese-Milsztjan T., Ginjaume M., Luszik-Bhadra M., Vanhavere F., Wahl W., Weeks A. (2004) Active personal dosimeters (APDs) for individual monitoring and other new developments, *Radiat. Prot. Dosim.* **112**, 141-168.
- CEI (2005) Radiation Protection Instrumentation. Measurement of Personal Dose Equivalent Hp(10) and Hp(0.07) for X, Gamma, Neutron and Beta radiation: Direct Reading Personal Dose Equivalent and monitors. IEC 61526:2.
- Clairand I., Struelens L., Bordy J.M., Daures J., Debroas J., Denozières M., Donadille L., Gouriou J., Itié C., Vaz P., d'Errico F. (2007) Intercomparison of active personal dosimeters in interventional radiology, *Radiat. Prot. Dosim.* (sous presse).
- Décret (2003) décret 2003-296 du 31 mars 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants.
- Donadille L., Rehel J.L., Deligne J.M., Queindec F., Bottollier-Depois J.F., Clairand I., Jourdain J.R., Rannou A. (2007) Guide pratique pour la réalisation des études dosimétriques de postes de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants. Rapport IRSN/DRPH (à paraître).
- Itié C., Clairand I. (2006) Surveillance dosimétrique des travailleurs : intercomparaison dosimétrie passive, mai 2006, Synthèse des résultats. Rapport IRSN/DRPH/SDE n° 2006-39.
- Rannou A.. (2005) Adéquation de la dosimétrie au poste de travail : cas de la dosimétrie individuelle externe. Congrès SFRP, Nantes.
- Rannou A., Améon R., Boisson P., Clairand I., Couanon O., Franck D., Scanff P., Réhel J.L., Thévenet M. (2006) La radioprotection des travailleurs : activité de l'IRSN en 2005 dans le domaine de la gestion de la radioprotection. Rapport IRSN/DRPH n°2006-09.
- Vanhavere F., Carinou E., Donadille L., Ginjaume M., Jankovski J., Rimpler A., Sans Merce M. (2007) An overview of extremity dosimetry in medical applications, soumis à *Radiat. Prot. Dosim.*