

Personne Compétente en Radioprotection

Radioprotection pratique dans le secteur Médical



Hugues Bruchet, Amélie Roué,
Christine Jimonet, coordonnateurs

Radioprotection pratique dans le secteur Médical

Hugues Bruchet, Amélie Roué, Christine Jimonet
Coordonnateurs

instn

edp sciences

Illustrations de couverture : *Plateforme Doséo – Accélérateur linéaire médical ELEKTA*, la plateforme Doséo est portée par le CEA LIST, l’Institut national du cancer (INCa), le Laboratoire national de métrologie et d’essais (LNE) et l’Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN), © A. Lorec/CEA. *Préparation de radiopharmaceutique, filtration stérilisante d’un lot de radiotraceur en enceinte blindée de classe A*, © P.F. Grosjean/CEA. *Salle d’analyse : scintigraphie conventionnelle*, © P. Stroppa/CEA.

Imprimé en France

ISBN : 978-2-7598-1793-1

Tous droits de traduction, d’adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n’autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l’article 41, d’une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l’usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d’autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d’exemple et d’illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l’auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l’article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2016

Préface

Cet ouvrage vient compléter la série des volumes déjà publiés à l'attention des Personnes Compétentes en Radioprotection (PCR). La série a débuté avec un premier volume consacré aux « Principes de radioprotection – réglementation », ré-édité en 2009 suivi de trois volumes dédiés respectivement à la « Radioprotection pratique pour les INB et ICPE » (2009), à la « Radioprotection pratique pour l'industrie et la recherche – Sources non scellées » (2009) et à la « Radioprotection pratique pour l'industrie et la recherche – Sources scellées » (2010).

Cette nouvelle publication s'adresse aux PCR exerçant dans le secteur médical. Depuis la création de la notion de personne compétente en 1967 par le décret n° 67-228, la réglementation a été régulièrement revue et complétée, tout d'abord avec le décret n° 86-1103, puis les décrets n° 2003-296 et 2010-750 renforçant et étendant les rôles de la PCR. Aujourd'hui, la désignation, les moyens et les missions de la PCR sont définis dans le code du travail (articles R.4451-103 à R.4451-114).

De façon similaire, les modalités de formation des PCR ont connu des évolutions au fil du temps afin de prendre en compte les nouvelles missions et d'être plus en adéquation avec la réalité des risques radiologiques dans les installations concernées. Ainsi, l'arrêté du 26 octobre 2005 a été remplacé par l'arrêté du 6 décembre 2013 (publié au Journal officiel du 24 décembre 2013). Ce nouveau texte introduit une gradation des objectifs de formation au regard de la nature et de l'ampleur des risques radiologiques, définissant ainsi trois niveaux de formation. Le nombre de secteurs d'activité est élargi avec entre autres la prise en compte du secteur relatif aux transports de substances radioactives. Par ailleurs, il substitue également au principe de formateur certifié celui d'organisme de formation certifié.

Le secteur médical, regroupant les activités nucléaires médicales à visée diagnostique ou thérapeutique, les activités de médecine préventive, de médecine bucco-dentaire, de biologie médicale, de médecine vétérinaire, les examens médico-légaux, ainsi que les activités de recherche associées à ce secteur, est concerné par les niveaux de formation 1 et 2 : les activités médicales soumises à déclaration relèvent du niveau 1 (à l'exception de la radiologie interventionnelle) ; le niveau 2 concerne donc la radiologie interventionnelle ainsi que les activités soumises à autorisation (médecine nucléaire, radiothérapie externe, curiethérapie, scanographie).

Comme nous le voyons, les missions des PCR, leur formation et leur organisation au sein de réseaux professionnels ont évolué ces 40 dernières années, ce qui a grandement contribué à améliorer les moyens dont elles disposent et la qualité de leurs actions. Néanmoins, la grande diversité des sources ou dispositifs de rayonnements utilisés dans le secteur médical (depuis le générateur de rayons X en radiologie dentaire à l'accélérateur en radiothérapie, en passant par l'utilisation de sources scellées et non scellées de quelques kBq à quelques GBq), et de leurs applications (diagnostic et thérapie) conduit à des situations d'exposition, à des conceptions d'installations et à des règles de radioprotection très diverses. Aussi les PCR exerçant en milieu médical ont toujours été en recherche de formation et d'informations ainsi qu'en attente d'outils leur permettant d'assurer leurs missions en répondant aux exigences réglementaires.

Pour cet ouvrage, l'ensemble des applications médicales définies réglementairement ont été rassemblées au sein d'un même volume. Il apparaît en effet aujourd'hui que la mise en œuvre de ces différentes techniques est de moins en moins « cloisonnée », mais qu'au contraire, leur utilisation conjointe est fréquente en milieu hospitalier (cas par exemple du TEP-scan, acquisition scanner précédant une acquisition par tomographie par émission de positons). De fait, il est d'autant plus utile pour la PCR de pouvoir se référer à une publication globale traitant l'ensemble des applications qui pourraient la concerner.

Parmi les 9 chapitres proposés, le premier pose le cadre des aspects réglementaires et pratiques d'un point de vue général. Il est suivi de quatre chapitres relatifs à chaque domaine d'application, respectivement la radiologie, la radiothérapie, la curiethérapie et la médecine nucléaire. Quant au cas particulier de la gestion des déchets et effluents, il fait l'objet d'un chapitre à part entière. Enfin les trois dernières parties traitent des problématiques transverses à chaque domaine d'application, à savoir la détection et la mesure des rayonnements ionisants, la gestion des situations incidentelles et la mise en œuvre des analyses de postes de travail.

Concernant les chapitres associés aux différents types d'application, le lecteur y trouvera non seulement les informations utiles à la radioprotection mais également des compléments concernant la technologie des appareils et leur fonctionnement.

D'aucuns pourraient noter l'importance prise par le chapitre 2 dans l'ouvrage, celle-ci étant inhérente à la diversité des applications en radiologie puisque le lecteur pourra y trouver les informations relatives à l'utilisation des rayons X dans le cadre de clichés rétro alvéolaire en radiologie dentaire jusqu'aux images de scanner. De plus, ce domaine étant le seul à devoir répondre à une norme d'installation, la norme NFC 15-160, de nombreux exemples d'applications ont été illustrés.

Cette diversité d'appareillages et d'utilisations ne se retrouve pas en radiothérapie externe. C'est un domaine où la PCR rencontrera une technologie plus complexe, évolutive, nécessitant la réalisation de calculs de radioprotection plus élaborés, principalement pour la conception des locaux. De fait, la PCR gagnera à se rapprocher d'experts tels que les physiciens médicaux présents dans le périmètre de l'installation.

Enfin, les chapitres dédiés à la curiethérapie et à la médecine nucléaire permettront à la PCR de se familiariser avec ces domaines d'activité et d'acquérir l'ensemble des éléments pertinents pour la conception des installations et la radioprotection du personnel.

Comme dans les autres ouvrages de la série, des compléments d'information sont insérés sous forme de paragraphes « Pour en savoir plus » et le lecteur pourra vérifier sa compréhension et l'acquisition des notions traitées grâce aux rubriques « Faites le point » qui clôturent chacun des chapitres.

Grâce à ce nouveau volume, la PCR exerçant dans le milieu médical disposera de toutes les informations indispensables à l'exercice de ses missions, depuis l'acquisition des notions réglementaires à respecter jusqu'au calcul des protections en passant par un rôle essentiel, celui de la mise en œuvre des analyses des postes de travail.

Pour conclure, je souhaite féliciter les auteurs de cet ouvrage. Chacun expert dans son domaine et exerçant dans le monde médical pour une part d'entre eux, ils ont eu à cœur de transmettre leurs connaissances et de mettre à profit leur expérience professionnelle pour conférer à l'ouvrage clarté, pertinence et qualité de l'information.

Bernard Aubert

Les auteurs

Bernard AUBERT

Titulaire d'un doctorat de spécialité en Physique atomique et de l'Habilitation à diriger des recherches de l'université Paul Sabatier de Toulouse. Il a exercé pendant 28 ans la fonction de physicien médical à l'Institut Gustave-Roussy à Villejuif. Chef-adjoint du service de Physique de l'IGR pendant 13 ans au sein duquel il a principalement été en charge de l'imagerie et de la radioprotection, il a rejoint en 2003 l'IRSN pour mettre en place l'Unité d'Expertise en radioprotection Médicale. Parallèlement à ces activités a participé à l'enseignement de la physique médicale dans le cadre du master de l'université Paris XI et au sein de l'INSTN où il a été nommé professeur en 2001. Retraité depuis mai 2013, il continue à assurer le rôle de Président du groupe permanent d'expert en radioprotection médicale (GPMED) à l'ASN et a été nommé professeur émérite de l'INSTN au 1^{er} janvier 2015.

Isabelle AUBINEAU-LANIECE

Ingénieur-chercheur en métrologie de la dose au Département de Recherche et de Technologie du CEA, docteur ès sciences en dosimétrie interne, elle est responsable des mesures et développements relatifs aux références nationales dosimétriques de sources de curiethérapie. Titulaire d'une habilitation à diriger les recherches, elle a encadré différents travaux et participe régulièrement en tant que rapporteur à des jurys de thèses. Professeur INSTN, elle enseigne dans différentes formations (Génie Atomique, Master Nuclear Energy, Master Ingénierie pour le nucléaire) dont elle est (co-)responsable des modules de radioprotection.

Guillaume BONNIAUD

Docteur en physique médicale de l'université de Paris Sud, ingénieur en génie biomédical diplômé de l'École Supérieure d'Ingénieurs de Luminy et titulaire du diplôme de qualification en physique radiologique et médicale (DQPRM), il a exercé pendant 5 ans en imagerie dans le service de physique de l'Institut Gustave-Roussy de Villejuif. Il a ensuite

rejoint l'équipe de physique médicale du Centre d'Oncologie Saint-Yves à Vannes pour exercer en radiothérapie et en imagerie médicale pour le compte du Centre Hospitalier Bretagne Atlantique et du Centre de Médecine Nucléaire du Morbihan. Depuis le début de son activité, Il est investi dans l'enseignement, pour la formation des physiciens médicaux (DQPRM) où il coordonne le module imagerie, mais aussi pour la formation en imagerie des futurs médecins nucléaires et pour des formations universitaires de type master ou IUT. Depuis 2016, il a rejoint une société de physique médicale pour se consacrer à la formation continue et à la R&D, il continue d'exercer en tant que physicien médical pour le Centre de Médecine Nucléaire du Morbihan et poursuit ses activités d'enseignement.

Jean-Marc BORDY

Titulaire d'une habilitation à diriger les recherches, d'un doctorat de l'université Paul Sabatier de Toulouse et d'un diplôme d'ingénieur CNAM en Science et Technologie Nucléaire. Après un début de carrière en tant que technicien au service de dosimétrie de l'IPSN où il travaille tour à tour sur la dosimétrie de criticité, puis de radioprotection jusqu'en 1999, il rejoint au sein de l'IRSN nouvellement constitué le service d'étude de criticité qu'il quitte en 2003 pour diriger le Laboratoire de métrologie de la dose du Laboratoire National Henri Becquerel au CEA DRT Institut LIST sur le centre de Saclay, il y est maintenant expert international en charge de plusieurs programmes de recherches européens en dosimétrie de radiothérapie et de radio diagnostic. Membre de la section de protection technique de la Société Française de Radio Protection (SFRP SPT), de la société Française de Physique Médical (SFPM) et de la Commission Technique d'Accréditation du Comité Français d'Accréditation (COFRAC) pour les rayonnements ionisants, président des Laboratoires Associés de Radiophysique et de Dosimétrie (LARD), responsable d'enseignements au CNAM et dans divers masters et licences, représentant Français auprès de Technical Committee for Ionizing Radiation de EURAMET (European Association of national METrological institutes).

Hugues BRUCHET

Titulaire du DESS Radioprotection de l'université Joseph Fourier de Grenoble. Ingénieur-chercheur et expert CEA, il est adjoint au Chef de l'Unité d'Enseignement de Saclay à l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (CEA/INSTN Saclay). En outre, il est responsable pédagogique et enseignant en radioprotection dans de nombreuses formations (formations diplômantes, personne compétente en radioprotection, inspecteurs de la radioprotection ASN...). Il est également référent INSTN pour la formation des personnes compétentes en radioprotection et est membre du Comité de certification des organismes de formation PCR au CEFRI.

Christine JIMONET

Docteur ès sciences en Biochimie de l'université Paris XI. Chef de l'Unité d'Enseignement de Saclay à l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (CEA/INSTN Saclay). Elle est en outre responsable pédagogique et a plus spécialement été en charge de l'enseignement des effets biologiques des rayonnements ionisants dans différentes formations dont les formations « Personne compétente en radioprotection ». Elle est également responsable pour l'INSTN de l'enseignement du diplôme d'enseignement spécialisé de Médecine Nucléaire.

Dominique LE DENMAT

Docteur en sciences physiques. Ingénieur de recherche et de formation à l'université René Descartes (Faculté de chirurgie dentaire de Montrouge). Il a participé à la mise en œuvre de formations PCR adaptée à la radiologie dentaire en collaboration avec l'INSTN.

Philippe MASSIOT

Ingénieur CNAM en Sciences et Technologies Nucléaires, il a commencé en tant que chercheur au CEA auprès des accélérateurs de particules dans le domaine des matériaux puis celui de la radiobiologie. Il s'est ensuite spécialisé dans la radiotoxicologie des actinides. Après 5 ans passés à l'ASN en tant que responsable de la formation et inspecteur de la radioprotection, il est maintenant Responsable Pédagogique et Maître de Conférences en Radioprotection. Il est également expert senior au CEA.

Amélie ROUÉ

Docteur en physique médicale de l'université de Toulouse et titulaire du diplôme de qualification en physique radiologique et médicale, elle a exercé pendant 6 ans comme physicienne dans un service de radiothérapie de l'AP-HP puis dans une société de contrôle de qualité. Elle a intégré en 2007 le groupe des enseignements de radioprotection au sein de l'unité d'enseignement des technologies de la santé et radioprotection de l'INSTN où elle assure depuis 2014 la direction du diplôme de qualification en physique radiologique et médicale. Elle est également en charge des projets de formation en lien avec les plateformes et les technologies de la santé au sein de la direction des programmes et des formations.

Jean-Claude ROSENWALD

Physicien médical. Après l'obtention d'un diplôme d'ingénieur à l'ENSEM de Nancy, il a commencé sa carrière en 1967 à l'Institut Gustave Roussy de Villejuif où il a développé des logiciels pour le repérage des sources et le calcul des doses en curiethérapie. Il a ensuite, pendant 30 ans, été chef du service de physique médicale de l'Institut Curie à Paris où il a également exercé les fonctions de PCR de la section hospitalière. Il s'est particulièrement intéressé aux algorithmes de calcul de dose en radiothérapie et à l'assurance qualité des systèmes informatisés de planification de traitement. Titulaire d'une habilitation à diriger les recherches, il a dirigé une quinzaine de thèses, a cosigné près de cent articles publiés dans des revues à comité de lecture et a participé à plusieurs ouvrages relatifs à la physique de la radiothérapie. Il a été co-responsable du master de physique médicale de Paris XI et a participé à de nombreux enseignements universitaires et postuniversitaires.

Marine SORET

Docteur ès sciences en Imagerie Médicale de l'université Paris XI, titulaire du diplôme de qualification en physique radiologique et médicale. Elle a travaillé 12 ans comme physicien médical et personne compétente en radioprotection dans le service de médecine nucléaire de l'hôpital du Val-de-Grâce (Paris). Depuis Septembre 2015, elle a rejoint le service de médecine nucléaire du groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière.

François THOMAS

Technicien supérieur en radioprotection, ingénieur au Service de Protection contre les Rayonnements (SPR) du CEA Saclay. Il a une expérience de plusieurs années dans diverses installations (Laboratoires de Haute Activité, Cis bio international, Service Hospitalier Frédéric Joliot...). Par ailleurs, il participe à diverses formations sur le thème de la radioprotection à l'INSTN de Saclay.

Jean-Marc VRIGNEAUD

Docteur en physique médicale de l'université de Toulouse et titulaire du diplôme de qualification en physique radiologique et médicale. Il a exercé pendant 8 ans les fonctions de physicien médical en imagerie et de personne compétente en radioprotection (PCR nommée) au sein du CHU Bichat-Claude Bernard à Paris. Il intervient alors régulièrement au sein de la communauté des radioprotectionnistes dans les formations, les congrès et s'investit dans les associations du réseau. Depuis 2009, il exerce son activité au Centre Georges-François Leclerc à Dijon et partage son temps entre enseignement, recherche et activité hospitalière dans le service de médecine nucléaire et sur la plateforme d'imagerie préclinique. Il est notamment très impliqué sur le projet Equipex IMAPPI (*Integrated Magnetic resonance And Positron emission tomography in Preclinical Imaging*) de développement d'un prototype micro-TEP/IRM complètement intégré.

Les contributeurs

Ce livre a bénéficié de la contribution à des titres divers des personnes nommées ci-dessous. Chacun reconnaîtra son implication dans les différentes étapes de réalisation de cet ouvrage, qu'il s'agisse de conseils à la rédaction, d'iconographie ou de relecture du manuscrit. Qu'ils en soient sincèrement remerciés.

Marc AMMERICH	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives Inspection Générale Nucléaire
Emmanuel BURGUIN	Centre Hospitalier Bretagne Atlantique
Linda CARCHON	Centre Georges-François Leclerc
Bruno CHAUVENET	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Laboratoire National Henri Becquerel
Dominique CUTARELLA	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Laboratoire National Henri Becquerel
Loïc DECARLAN	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Laboratoire National Henri Becquerel
Marc DENOZIERE	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Laboratoire National Henri Becquerel
Anne-Marie GOURONNEC	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires
Lydie HOUOT	Centre Georges-François Leclerc
Sylviane PRÉVOT	Centre Georges-François Leclerc
Alain VIVIER	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires

Table des matières

Chapitre 1. Radioprotection : aspects réglementaires et pratiques

1.1.	Généralités sur les autorisations et déclarations dans le secteur médical	2
1.1.1.	Régime de déclaration	2
1.1.2.	Régime d'autorisation	4
1.2.	Délimitation des zones	6
1.2.1.	Données générales	6
1.2.2.	Signalisation et affichage	7
1.2.3.	Établissement du zonage	10
1.2.4.	Règles d'hygiène et de sécurité	11
1.3.	Limites de doses et classement des travailleurs	13
1.4.	Évaluation de l'exposition	14
1.4.1.	Rappels sur les grandeurs de protection	15
1.4.2.	Règles de calcul de la dose efficace résultant d'une exposition externe et interne aux rayonnements ionisants	16
1.4.3.	Estimation des doses résultant de l'exposition externe	17
1.4.4.	Estimation des doses résultant de l'exposition interne	23
1.5.	Les contrôles de radioprotection	32
1.5.1.	Données générales	32
1.5.2.	Contrôles techniques des sources et des appareils émetteurs de rayonnements ionisants	33
1.5.3.	Contrôles de la gestion des sources radioactives	38
1.5.4.	Contrôle des moyens et des conditions d'évacuation des effluents, de tri, de stockage et d'élimination des déchets	38
1.5.5.	Contrôles des instruments de mesure	39
1.5.6.	Contrôles d'ambiance	40
1.6.	Faites le point	50
1.7.	Annexe	52
	Bibliographie	67

Chapitre 2. Radiologie

2.1.	Technologie en radiologie	72
2.1.1.	La chaîne d'imagerie radiologique	72
2.1.2.	La production des rayons X	76
2.1.3.	Le patient	80
2.1.4.	Les systèmes de détection	83
2.1.5.	La reconstruction d'image (cas de l'imagerie tomographique)	87
2.1.6.	Visualisation	88
2.2.	Les différentes installations de radiologie	95
2.2.1.	Dispositions communes	96
2.2.2.	Radiologie conventionnelle	100
2.2.3.	Mammographie et tomosynthèse	108

2.2.4.	Radiologie interventionnelle et radiologie per-opératoire	111
2.2.5.	Radiologie dentaire	123
2.2.6.	Ostéodensitométrie	133
2.2.7.	Scanographie	133
2.3.	Faites le point	140
	Bibliographie	143

Chapitre 3. Radiothérapie externe : équipements et installations

3.1.	Réglementation et recommandations	148
3.1.1.	Régime d'autorisation	148
3.1.2.	Le contrôle de qualité	148
3.2.	Description des appareils de traitement haute énergie	149
3.2.1.	Machine LINAC classique photon-électron	149
3.2.2.	Machines dédiées	156
3.3.	Radioprotection des travailleurs auprès des appareils de traitement haute énergie	159
3.3.1.	Installations et protections biologiques	159
3.3.2.	Système de protection passive (chaîne de sécurité de l'installation)	163
3.3.3.	Activation des matériaux	163
3.4.	Appareils de traitement basse énergie ; RX DE type kV (générateurs de röntgentherapie ; thérapie de contact)	165
3.5.	Conclusion	165
3.6.	Faites le point	166
	Bibliographie	168

Chapitre 4. Curiethérapie : équipements et installations

4.1.	Principes généraux de la curiethérapie	171
4.1.1.	Définition – but	171
4.1.2.	Rappel historique : le radium et les risques associés	172
4.1.3.	Pratique actuelle de la curiethérapie	173
4.2.	Caractéristiques des sources utilisées en curiethérapie	177
4.2.1.	Nature des sources de rayonnements ionisants	177
4.2.2.	Critères de choix et propriétés des radionucléides et des sources	177
4.3.	Les matériels et les méthodes de curiethérapie	180
4.3.1.	Spécification des sources et calculs de dose	180
4.3.2.	Notion de chargement différé	181
4.3.3.	La curiethérapie manuelle bas débit de dose	182
4.3.4.	Les projecteurs de sources	187
4.4.	Radioprotection : locaux, équipements et pratiques	191
4.4.1.	Calculs des épaisseurs d'écran	192
4.4.2.	Organisation générale des locaux	193
4.4.3.	Réception, stockage, élimination des sources	194
4.4.4.	Préparation des sources (LDR)	195
4.4.5.	Application des sources (LDR)	195
4.4.6.	Hospitalisation (LDR, PDR)	196

4.4.7.	Salle de traitement (HDR)	197
4.4.8.	Conclusion	198
	Bibliographie	198
4.5.	Annexe	201

Chapitre 5. Médecine nucléaire : équipements et installations

5.1.	Technologie des équipements en médecine nucléaire	204
5.1.1.	Principaux radionucléides utilisés	204
5.1.2.	Cas de la médecine nucléaire conventionnelle	212
5.1.3.	Cas de la tomographie par émission de positons (TEP)	217
5.1.4.	Les équipements de mesure de l'activité injectée au patient	220
5.1.5.	Maintenance et contrôle qualité	224
5.2.	L'exposition du personnel due aux activités de médecine nucléaire	225
5.2.1.	Origine de l'exposition	226
5.2.2.	Cas du personnel du service de médecine nucléaire	228
5.2.3.	Cas du personnel hors service de médecine nucléaire	233
5.2.4.	Cas des proches et du public hors établissement	234
5.3.	La stratégie de maîtrise du risque	236
5.3.1.	Consignes générales de radioprotection	237
5.3.2.	Contraintes d'implantation des équipements d'imagerie	244
5.4.	Implantation d'un service de médecine nucléaire	246
5.4.1.	Aménagement d'une unité de médecine nucléaire	247
5.4.2.	Chambres protégées pour l'hospitalisation des patients	252
5.4.3.	Entreposage des déchets	252
5.4.4.	Aménagement spécifique d'une unité TEP	252
5.4.5.	Délimitation des zones réglementées	253
5.5.	Les équipements associés de protection et de surveillance	255
5.5.1.	Les équipements de protection	255
5.5.2.	Les systèmes automatisés	262
5.5.3.	Les équipements de surveillance des installations	265
5.6.	Pour en savoir plus	267
5.7.	Faites le point	271
	Bibliographie	272

Chapitre 6. Gestion des déchets et des effluents radioactifs

6.1.	Généralités sur les déchets et effluents de médecine nucléaire	275
6.1.1.	Déchets et effluents, quelques définitions	275
6.1.2.	Les déchets hospitaliers, quelle particularité ?	276
6.2.	Les déchets et les effluents radioactifs de médecine nucléaire dans l'environnement hospitalier	278
6.2.1.	Origine et nature des déchets radioactifs hospitaliers	278
6.2.2.	Les déchets solides hospitaliers de médecine nucléaire	278
6.2.3.	Les effluents liquides de médecine nucléaire	284
6.2.4.	Les effluents gazeux de médecine nucléaire	285
6.3.	Règles générales de gestion des déchets et des effluents radioactifs de médecine nucléaire	286

6.3.1.	Encadrement réglementaire de la gestion des déchets et des effluents radioactifs de médecine nucléaire	286
6.3.2.	Les déchets solides de médecine nucléaire	288
6.3.3.	Les effluents liquides de médecine nucléaire	296
6.3.4.	Les effluents gazeux de médecine nucléaire	299
6.3.5.	Cas des déchets et effluents radioactifs à période > à 100 jours	299
6.4.	Dispositions pratiques de gestion des déchets radioactifs solides de médecine nucléaire	301
6.4.1.	Dans le service de médecine nucléaire	301
6.4.2.	Hors du service de médecine nucléaire	304
6.4.3.	Gestion des dépouilles radioactives (sources non scellées) . . .	308
6.5.	Dispositions pratiques de gestion des effluents liquides de médecine nucléaire	311
6.5.1.	Gestion des cuves d'entreposage	311
6.5.2.	Gestion de la fosse septique de médecine nucléaire	314
6.6.	Dispositions pratiques de gestion des effluents radioactifs gazeux de médecine nucléaire	315
6.7.	Autres types de déchets radioactifs en curiethérapie, médecine nucléaire et radiothérapie	316
6.7.1.	Curiethérapie	316
6.7.2.	Médecine nucléaire	316
6.7.3.	Radiothérapie externe (déchets d'activation)	317
6.7.4.	Gestion des dépouilles radioactives	317
6.8.	Faites le point	317
	Bibliographie	319

Chapitre 7. Mesure de l'exposition externe et détection - application à un cas de contamination surfacique

7.1.	Objectifs et démarche pédagogique	321
7.2.	Éléments de base sur les instruments de mesure et d'évaluation de doses .	322
7.2.1.	Mesure et évaluation de l'exposition externe	322
7.2.2.	Détection et caractérisation de la radioactivité	341
7.3.	Réaliser une mesure directe	354
7.3.1.	Détermination du bruit de fond	354
7.3.2.	Mise en œuvre de la mesure	359
7.3.3.	Application en médecine nucléaire	361
7.3.4.	Estimation de l'activité surfacique	362
7.3.5.	Autre application	365
7.4.	Réaliser une mesure indirecte	365
7.4.1.	Généralités	365
7.4.2.	Mode opératoire	365
7.4.3.	Applications	366
7.4.4.	Estimation de l'activité surfacique	367
7.5.	Cas d'une contamination surfacique	368
7.5.1.	Principes	368
7.5.2.	Décontaminer	368

7.5.3.	Évaluer les résultats de la décontamination	368
7.6.	Réponses aux questions	369
	Bibliographie	385

Chapitre 8. Gestion des situations incidentelles et dégradées dans le milieu médical

8.1.	Qu'est-ce qu'un incident radiologique ?	388
8.1.1.	Généralités	388
8.1.2.	Accident ou incident : que dit l'échelle INES ?	388
8.1.3.	Nature des événements significatifs en radioprotection	392
8.2.	Que dit la réglementation ?	392
8.2.1.	Le champ d'application de la déclaration des incidents radiologiques	392
8.2.2.	Déclarations d'incident et ses critères	393
8.2.3.	Délais de déclaration	393
8.2.4.	Modalités de déclaration	393
8.2.5.	L'information au public	394
8.3.	Mesures de prévention des incidents	394
8.3.1.	Consignes de prévention	394
8.3.2.	Conception des locaux, aménagements	395
8.3.3.	Formation du personnel	396
8.4.	Le comportement en cas d'incident radiologique	396
8.4.1.	En cas d'exposition externe	397
8.4.2.	En cas de contamination	399
8.5.	Estimation de la dose	406
8.5.1.	En cas d'exposition externe	407
8.5.2.	En cas contamination cutanée	408
8.5.3.	En cas de contamination interne	413
8.6.	Exemples d'incidents radiologiques dans le secteur médical	414
8.6.1.	La radiologie conventionnelle	415
8.6.2.	La radiologie dentaire	415
8.6.3.	La radiologie interventionnelle	416
8.6.4.	La radiothérapie	417
8.6.5.	La curiethérapie	418
8.6.6.	La médecine nucléaire	418
8.6.7.	Bilan des événements significatifs dans le milieu médical	419
8.6.8.	Développements médicaux : nouveaux types d'incidents	420
8.7.	Faites le point	420
8.8.	Annexes	420
	Bibliographie	430

Chapitre 9. Analyses de postes de travail

9.1.	Contexte et objectifs	432
9.1.1.	Objectifs d'une analyse de poste de travail	432
9.1.2.	Cadre réglementaire	432
9.1.3.	Analyses de postes et évaluation des risques	434

9.2.	Préparation : caractérisation des postes de travail	435
9.2.1.	Généralités	436
9.2.2.	Caractérisation des termes sources	436
9.2.3.	Tâches à réaliser	437
9.2.4.	Risques radiologiques pour chaque tâche	441
9.2.5.	Risques conventionnels associés	441
9.3.	Évaluation des doses	442
9.3.1.	Généralités	442
9.3.2.	Caractéristiques de l'installation	443
9.3.3.	Doses associées à chaque tâche	443
9.4.	Exploitation des résultats et retour d'expérience	446
9.4.1.	Classement du personnel	446
9.4.2.	Délimitation des zones de travail	447
9.4.3.	Optimisation de la radioprotection	448
9.5.	Exemples	449
9.5.1.	Scanographie	449
9.5.2.	Radiologie interventionnelle	452
9.5.3.	Curiothérapie bas débit	454
9.5.4.	Médecine nucléaire – technétium-99m	457
9.5.5.	Médecine nucléaire – fluor-18	461
9.6.	Réponses aux questions	463
	Bibliographie	469

1

Radioprotection : aspects réglementaires et pratiques

Hugues Bruchet

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de rassembler les données de base utiles à la personne compétente en radioprotection (PCR) pour gérer le risque radiologique dans les installations du secteur médical.

Ainsi, un grand nombre de thématiques seront présentées de façon générale dans cette partie puis complétées et approfondies dans les autres chapitres de cet ouvrage. En effet, les chapitres 2 à 5 se consacreront à la description de chaque technologie (radiologie, radiothérapie externe, curiethérapie et médecine nucléaire). Enfin, les chapitres 6 à 9 déclineront ces aspects sous un angle plus appliqué et pratique.

Nous indiquerons au lecteur les renvois nécessaires le moment venu.

Dans un premier temps, nous ferons le point sur les notions d'activités nucléaires, d'autorisation et de déclaration dans le secteur médical. Les références des documents réglementaires relatifs à ces notions seront données dans cette partie, mais les spécificités propres à chaque technologie d'utilisation des rayonnements ionisants dans le milieu médical seront abordées dans les chapitres 2 à 5.

Dans les deuxième et troisième parties, nous aborderons deux notions importantes pour la PCR : la délimitation des zones de travail et le classement des travailleurs. À cet effet, nous rappellerons les données réglementaires nécessaires, telles que l'arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées. La mise en œuvre opérationnelle de la délimitation des zones et du classement des travailleurs fera aussi l'objet d'explications dans le chapitre 9 relatif aux analyses de postes de travail.

Ensuite, nous répondrons à la question suivante : comment évaluer l'exposition des personnels aux rayonnements ionisants ? Les deux cas de l'exposition externe et de l'exposition interne seront pris en compte. Cette partie servira de base de réflexion pour la mise en œuvre des études de poste de travail (cf. chapitre 9). D'autre part, nous définirons les grandeurs opérationnelles relatives à l'incorporation de substances radioactives qui pourront être utilisées pour estimer la dose efficace engagée ou établir le zonage radiologique des locaux.

Tableau 9.12. Estimation des doses efficaces et équivalentes annuelles pour les différents types d'exposition du manipulateur. Corrigé.

Type d'exposition et grandeur de protection estimée	Tâche	Estimation annuelle
Exposition externe corps entier Dose efficace E	Administration au patient	$\sim 82 \mu\text{Sv}$ $5 (\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}) \times \frac{0,5}{60} (\text{h}) \times \frac{700}{1000} \times 12 (\text{jour}^{-1})$ $\times 5 (\text{jour}\cdot\text{semaine}^{-1}) \times 47 (\text{semaine}\cdot\text{an}^{-1})$
	Accompagnement/soins	$\sim 4150 \mu\text{Sv}$ $63 (\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}) \times \frac{2}{60} (\text{h}) \times \frac{700}{1000} \times 12 (\text{jour}^{-1})$ $\times 5 (\text{jour}\cdot\text{semaine}^{-1}) \times 47 (\text{semaine}\cdot\text{an}^{-1})$
Exposition externe extrémités Dose équivalente H_{peau}	Administration au patient	$197400 \mu\text{Sv}$ soit $\sim 200 \text{ mSv}$ $100 (\mu\text{Sv}) \times \frac{700}{1000} \times 12 (\text{jour}^{-1})$ $\times 5 (\text{j}\cdot\text{semaine}^{-1}) \times 47 (\text{semaine}\cdot\text{an}^{-1})$
Exposition interne (inhalation) Dose efficace engagée E(τ)	Présence durant l'examen de ventilation pulmonaire	$1,42 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$ soit $\sim 14 \mu\text{Sv}$ $1400 (\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}) \times 1,2 \cdot 10^{-11} (\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}) \times 1,2$ $(\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}) \times 3 (\text{h}) \times 5 (\text{jours}) \times 47 (\text{semaines})$
Dose efficace E	TOTAL	$4246 \mu\text{Sv}$ soit 4,3 mSv
Dose équivalente H_{peau}		200 mSv

La zone contrôlée jaune serait donc située à environ **3 mètres** du patient mais elle sera **étendue à l'ensemble du local**.

On obtient pour la zone contrôlée orange :

$$d_2 = 1 \times \sqrt{220/2000} \approx 34 \text{ cm}$$

La zone contrôlée orange serait donc une **sphère de 34 cm de rayon** qui se confond quasiment avec le patient.

Il faut préciser également que les **débits** d'équivalent de dose au niveau du corps entier doivent être inférieurs à 2 mSv.h⁻¹ pour la zone contrôlée jaune et à 100 mSv.h⁻¹ pour la zone contrôlée orange.

◇ **Q20 :**

En considérant 52 minutes de présence de l'opérateur dans la salle de commande pour une heure [(1 minute scanner + 25 minutes TEP) × 2 patients], l'exposition annuelle au poste de commande est de :

$$E = 5 \mu\text{Sv.h}^{-1} \times \frac{52}{60} \times 6 \times 5 \times 47 = 6110 \mu\text{Sv} = 6,1 \text{ mSv}$$

Exposition à 50 cm du patient :

$$E = 20 \mu\text{Sv.h}^{-1} \times \left(\frac{100}{50}\right)^2 \times \frac{3}{60} \times 6 \times 5 \times 47 = 5640 \mu\text{Sv} = 5,7 \text{ mSv}$$

Au total, **E = 11,8 mSv par an.**

Nous proposons donc un classement en **catégorie A.**

◇ **Q21 :**

La dose efficace calculée étant proche de 12 mSv par an, la charge de travail gagnerait à être mieux répartie sur l'ensemble des manipulateurs du service.

Bibliographie

- [1] *Rapport PRP-HOM/DiR n° 2015-00009, « Guide pratique pour la réalisation des études dosimétriques de poste de travail »* (version 4) – IRSN, 2015.
- [2] *Institut National de Recherche et de Sécurité*, site web : <http://www.inrs.fr/>.
- [3] *Code du travail – Partie réglementaire – Quatrième partie : santé et sécurité au travail*
– Livre I : dispositions générales – Titre V : dispositions particulières à certaines catégories de travailleurs, et Livre IV : prévention de certains risques d'exposition
– Titre V : prévention des risques d'exposition aux rayonnements - chapitre I^{er} : prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants.
- [4] *Arrêté du 17 juillet 2013* relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.
- [5] *Circulaire DGT/ASN n° 01 du 18 janvier 2008* relative à l'arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont apposées.