

# 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 . . . . .	139
	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.	Curiothérapie . . . . .	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.	Curiethérapie 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