



Table des matières

Remerciements	19
Introduction	21
Chapitre 1 • Les constituants de la matière	23
I – Structure simplifiée de l'atome	23
II – Nomenclature – Isotopes	28
III – Le tableau périodique	30
IV – Calcul des masses molaires	32
Exercices du chapitre 1	34
Corrigés des exercices du chapitre 1	35
Chapitre 2 • Historique de la radioactivité	37
I – Les découvertes sur les phénomènes liés à la radioactivité	37
1 – La découverte des rayons X	37
2 – La découverte de la radioactivité	38
3 – La découverte du polonium et du radium	39
4 – La découverte de la loi de la décroissance radioactive	40
5 – La découverte de la radioactivité artificielle	40
6 – La découverte de la fission nucléaire	42
7 – La découverte de la fusion nucléaire	42
II – Les découvertes en physique atomique et en physique nucléaire	43
1 – Les différents modèles de l'atome	43

2 – L'expérience de Chadwick	44
3 – La théorie de Fermi	45
4 – La découverte des éléments artificiels	47
5 – Un pas vers la physique des particules et la physique moderne	47
III – Le développement du nucléaire	52
1 – L'essor du nucléaire au début du XX ^e siècle	52
2 – La création de l'ICRU et de la CIPR	52
3 – La seconde guerre mondiale	53
4 – Le développement de l'armement nucléaire	55
5 – Le développement des centrales nucléaires	56
Chapitre 3 • Énergie au cœur de la matière	61
I – Les unités usuelles de la physique nucléaire	61
1 – Unité de masse	61
2 – Unité d'énergie	62
3 – Relation masse-énergie	63
II – Origine de l'énergie nucléaire	64
1 – Défaut de masse	64
2 – Énergie de liaison	65
3 – Excès de masse	67
4 – Courbe d'Aston	68
III – Bilan énergétique d'une réaction nucléaire	69
1 – Réaction nucléaire et lois de conservation	69
2 – Énergie dans une réaction nucléaire	70
3 – Énergie de séparation du dernier neutron	71
Exercices du chapitre 3	71
Corrigé des exercices du chapitre 3	73
Chapitre 4 • La radioactivité	77
I – Activité d'une source radioactive	77
1 – Définitions	77
2 – Forme mathématique	78
II – Étude systématique des transitions radioactives	80
1 – Définitions	80
2 – La désintégration α	82
3 – La désintégration β^-	85
4 – La désintégration β^+	87
5 – La désintégration par capture électronique ε	90
6 – La désexcitation γ	93

7 – La désexcitation par conversion interne <i>e.c.</i>	94
8 – Phénomènes secondaires accompagnant les transitions nucléaires	95
III – Stabilité et instabilité dans le noyau	98
1 – Le noyau stable	98
2 – Le noyau instable	99
Exercices du chapitre 4	103
Corrigés des exercices du chapitre 4	107
Chapitre 5 • Décroissance radioactive et comptage nucléaire	117
I – Loi de décroissance radioactive	117
II – Les filiations radioactives	120
1 – Problème à 2 corps	120
2 – Équilibres radioactifs	123
3 – Problème à n corps	125
III – Activation neutronique	126
1 – Définition de l'activation neutronique	126
2 – Mise en équation de l'activation neutronique	126
3 – Période d'activation suivie d'une période de décroissance	129
IV – Caractère aléatoire d'un comptage radioactif	129
Exercices du chapitre 5	134
Corrigé des exercices du chapitre 5	138
Chapitre 6 • Interaction rayonnement-matière	145
I – Généralités sur l'interaction rayonnement-matière	145
II – Interaction des ondes électromagnétiques avec la matière	147
1 – La diffusion Thompson	147
2 – La diffusion Rayleigh	148
3 – L'effet photoélectrique	148
4 – L'effet Compton	149
5 – Production de paires ou matérialisation	150
6 – L'effet photonucléaire	151
7 – Importance relative des processus d'interaction photoniques	152
III – Interaction des particules avec la matière	152
1 – Cas des particules chargées lourdes	153
2 – Cas des particules chargées légères	156
3 – Cas des neutrons	159
4 – Effet Tcherenkov	161
5 – Fabrication d'une source neutronique	161
Exercices du chapitre 6	162
Corrigé des exercices du chapitre 6	164

Chapitre 7 • Introduction à la dosimétrie externe	169
I – Généralités sur la dosimétrie	169
1 – Effets des rayonnements ionisants	169
2 – Définition de la dosimétrie	170
II – Grandeurs physiques	171
1 – Quantités intégrales	171
2 – Quantités dérivées	172
3 – Quantités globales	172
III – Grandeurs dosimétriques	173
1 – Dose absorbée et débit de dose absorbée	173
2 – KERMA et débit de KERMA	174
3 – Exposition et débit d'exposition	175
IV – Calculs de débits de dose absorbée pour les particules chargées légères	176
1 – Comportement des particules chargées légères dans la matière	176
2 – Relation entre dose et fluence pour des électrons monoénergétiques	178
3 – Relation entre dose et fluence pour des électrons polyénergétiques (spectre β)	181
V – Calculs de débits de dose absorbée pour les photons	183
1 – Comportement des photons dans la matière	183
2 – Relation entre fluence et KERMA pour des photons	186
3 – Relation entre KERMA et dose absorbée pour des photons	187
4 – Énergie moyenne des électrons secondaires	191
5 – Méthode de calcul de la dose absorbée pour des photons	192
6 – Calcul du débit de KERMA	192
7 – Calcul du débit de dose	192
VI – Évaluation du KERMA pour les neutrons	193
1 – Comportement des neutrons dans la matière	193
2 – KERMA de première collision	193
3 – KERMA de multi-collisions	194
VII – Grandeurs de protections et grandeurs opérationnelles	195
1 – Les grandeurs de protection	195
2 – Grandeurs opérationnelles	198
Exercices du chapitre 7	201
Corrigé des exercices du chapitre 7	204

Chapitre 8 • Détection	213
I – Les différents types de détecteurs	213
1 – Modélisation d'un détecteur	213
2 – Caractérisation des détecteurs	215
3 – Les familles de détecteur	217
II – La spectrométrie gamma	221
1 – Objectif de la spectrométrie	221
2 – Chaîne de comptage en spectrométrie	222
3 – Forme générale des spectres de photons	222
4 – Exemple d'un spectre réel	225
III – Les limites de détection	226
1 – Principe	226
2 – Le seuil de décision	227
3 – La limite de détection	228
4 – Activité minimum détectable	229
Exercices du chapitre 8	229
Corrigé des exercices du chapitre 8	231
Chapitre 9 • Moyens de protection contre l'exposition externe	237
I – Moyens de protection contre l'exposition externe aux rayonnements	238
1 – La distance	238
2 – L'activité	239
3 – Le temps	240
4 – Les écrans	240
II – Protection contre les électrons	241
1 – Arrêt des électrons dans la matière	241
2 – Cas d'une exposition externe avec contact	242
III – Protection contre les neutrons	243
1 – Origine des neutrons dans une installation	243
2 – Moyens mis en œuvre pour la protection contre les neutrons	244
IV – Calcul d'écrans pour la protection contre les rayonnements électromagnétiques	245
1 – Sources ponctuelles canalisées	245
2 – Sources ponctuelles monoénergétiques non canalisées	248
V – Surveillance de l'exposition externe dans les installations nucléaires	251
1 – Appareils de mesure	251
2 – Surveillance de l'installation	252
3 – Surveillance des travailleurs	253
Exercices du chapitre 9	254
Corrigé des exercices du chapitre 9	257

Chapitre 10 • Moyens de protection contre l'exposition interne	263
I – Physique des aérosols et contamination	263
1 – Définition	263
2 – Diamètre des aérosols	264
3 – Voies de pénétration dans l'organisme	265
4 – Durée de séjour dans l'organisme	266
5 – Modèle du tractus respiratoire	267
6 – Modèle du tractus digestif	269
II – Grandeurs liées à l'évaluation de l'exposition interne	270
1 – Activité surfacique	270
2 – Activité volumique	270
3 – La dose par unité d'incorporation (DPUI)	271
4 – La limite dérivée de concentration dans l'air (LDCA)	272
5 – Le repère de concentration dans l'air (RCA)	273
6 – La dose efficace engagée	274
III – Mesures et évaluation de la contamination	274
1 – Contamination surfacique	274
2 – Contamination volumique	277
IV – Techniques de confinement et d'élimination de la contamination dans les installations nucléaires	281
1 – La défense en profondeur	281
2 – Ventilation et filtration dans une installation	283
3 – Surveillance continue de l'installation	289
V – Protection des travailleurs	289
1 – Protections collectives	289
2 – Protections individuelles	291
3 – Contrôles et décontamination	293
VI – Décontamination des surfaces	295
1 – Définition	295
2 – Approche de la décontamination	295
3 – Procédés de décontamination	296
Exercices du chapitre 10	298
Corrigé des exercices du chapitre 10	304
Chapitre 11 • Les effets biologiques des rayonnements ionisants	315
I – Les effets moléculaires et cellulaires	315
1 – Effets moléculaires	316
2 – Effets cellulaires	317
II – Les effets déterministes	319

1 – Causes des effets déterministes	319
2 – Propriétés des effets déterministes	320
3 – Seuils des effets déterministes	321
III – Les effets stochastiques	323
1 – Propriétés des effets stochastiques	323
2 – Effets cancérogènes	324
3 – Effets génétiques et héréditaires	327
Conclusion	328
Chapitre 12 • Bases de la réglementation	329
I – Grands principes de réglementation en radioprotection	329
1 – But de la radioprotection	329
2 – Les instances internationales et nationales	330
3 – Classement des installations	332
II – Réglementation en radioprotection dans le droit français	334
1 – Réglementation des travailleurs	335
2 – Zonage radioprotection	343
3 – Principe ALARA	348
4 – Rôles du conseiller en radioprotection	350
5 – Régimes administratifs	354
6 – Contrôles réglementaires des sources et des appareils	356
7 – Situations anormales de travail	359
8 – Situations d'urgence radiologique	361
9 – Expositions médicales	363
III – Réglementation transport	364
1 – Cadre réglementaire	364
2 – Transport par route	366
3 – Classe 7	367
4 – Emballage et étiquetage des colis	369
5 – Contrôles et limites réglementaires	372
Exercices du chapitre 12	372
Corrigé des exercices du chapitre 12	373
Chapitre 13 • La fission nucléaire et la fusion nucléaire	377
I – Principe de la fission nucléaire	377
1 – Principe	377
2 – La fission spontanée	378
3 – La fission induite	378
4 – La réaction de fission en chaîne	380

II – Principe de la fusion nucléaire	381
1 – Principe	381
2 – Énergétique de la fusion nucléaire	381
Exercices du chapitre 13	383
Corrigé des exercices du chapitre 13	385
Chapitre 14 • Les différentes formes de l'énergie	389
I – Définition de l'énergie	389
1 – Quelques exemples	389
2 – Définition	390
II – Les différentes formes de l'énergie	390
1 – Les sources d'énergie	390
2 – Les différentes formes de l'énergie	390
III – Principe de conservation de l'énergie	391
1 – Un exemple de mécanique	391
2 – Énoncé du théorème	392
IV – Inventaire des énergies mises en jeu dans une centrale nucléaire	393
1 – Transformation de l'énergie dans une centrale nucléaire	393
2 – Puissance d'une centrale nucléaire	393
Exercices du chapitre 14	394
Corrigé des exercices du chapitre 14	395
Chapitre 15 • Fonctionnement d'une centrale nucléaire et gestion des déchets nucléaires	397
I – Présentation du parc électronucléaire français	397
1 – Développement du parc français	397
2 – Le parc électronucléaire français en exploitation	398
II – Principe de fonctionnement d'un REP	399
1 – Rôle des trois circuits	399
2 – Rôles de l'eau dans les circuits	402
3 – Pilotage et domaine de fonctionnement d'un réacteur	402
III – La fission industrielle	404
1 – Le combustible utilisé pour la réaction en chaîne	404
2 – Criticité du réacteur	406
IV – Origine du risque radiologique et gestion des déchets nucléaires	407
1 – Origine du risque radiologique	407
2 – Gestion des déchets radioactifs	410
3 – Contrôles environnementaux et entretien de l'installation	413
Exercices du chapitre 15	414
Corrigé des exercices du chapitre 15	417

Chapitre 16 • Les évaluations dosimétriques prévisionnelles	421
I – Principe des EDP	423
1 – Classement des activités	423
2 – Grandeurs utilisées pour les EDP	424
II – Mise en œuvre d'une EDP	425
1 – Description de l'intervention	425
2 – EDPI	425
3 – EDPO	426
Conclusion	427
Exercice du chapitre 16	428
Corrigé de l'exercice du chapitre 16	429
Chapitre 17 • Diverses utilisations des rayonnements ionisants et des radionucléides	431
I – Le domaine médical	431
1 – La radiologie	431
2 – La médecine nucléaire	433
3 – Le traitement des cancers	435
II – La stérilisation par irradiation	436
III – Les dispositifs de contrôle	438
1 – Les contrôleurs de bagages	438
2 – L'appareil gammagraphique	439
3 – Les jauges de niveau et d'épaisseur	439
4 – Les détecteurs de plomb par fluorescence X	440
5 – Radiotraceurs dans l'industrie	441
IV – Propulsion de véhicules	441
V – Les applications en sciences fondamentales	443
1 – Archéologie et objets d'art	443
2 – Géologie et hydrologie	445
3 – Aérospatial	445
4 – Recherche fondamentale	446
VI – Utilisations obsolètes des rayonnements ionisants et des radionucléides	447
Chapitre 18 • La radioactivité naturelle et artificielle	449
I – La radioactivité naturelle	449
1 – Exposition externe	449
2 – Exposition interne	453
II – La radioactivité artificielle	456
1 – Exposition liée à l'activité militaire et industrielle	456
2 – Exposition liée à l'activité médicale	457

III – L'exposition annuelle mondiale et française	459
Exercices du chapitre 18	462
Corrigé des exercices du chapitre 18	464
Chapitre 19 • Quelques accidents liés à l'utilisation du nucléaire	469
I – Classements des accidents	469
1 – Échelle INES	469
2 – Événements significatifs	471
II – Accidents liés à l'industrie	471
1 – Liste des accidents classés dans le monde et en France	471
2 – L'accident de Tchernobyl	473
3 – L'accident de Tokai-Mura	474
4 – L'accident de Fukushima	475
III – Accidents liés au médical	476
1 – L'accident de Goiânia	476
2 – Les surirradiations d'Épinal et Toulouse	477
Conclusion	479
Annexes	481
Annexe 1 : Alphabet grec utilisé en sciences	481
Annexe 2 : Dimensions et unités des grandeurs en physique (Système international)	482
Annexe 3 : Multiples et sous-multiples des unités du Système international	483
Annexe 4 : Constantes fondamentales en physique et facteurs de conversion	483
Annexe 5 : Perte d'énergie par ionisation pour les électrons en $\text{MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$	484
Annexe 6 : Valeurs des coefficients d'absorption massique en énergie $\frac{\mu_{en}}{\rho}$ en $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ dans l'eau, l'air, l'os compact et les tissus mous	485
Annexe 7 : Valeurs des coefficients d'absorption massique en énergie $\frac{\mu_{en}}{\rho}$ en $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ dans des milieux monoatomiques	486
Annexe 8 : Coefficients d'atténuation massique μ/ρ ($\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$) pour différents matériaux	486
Annexe 9 : Coefficients d'atténuation linéique μ_l (cm^{-1}) pour différents matériaux	487

Annexe 10 : Facteur d'accumulation de dose (<i>Build-up</i>) pour une source ponctuelle dans l'eau	488
Annexe 11 : Facteur d'accumulation de dose (<i>Build-up</i>) pour une source ponctuelle dans le plomb	488
Annexe 12 : Facteur d'accumulation de dose (<i>Build-up</i>) pour une source ponctuelle dans le béton ordinaire	489
Annexe 13 : Affections provoquées par les rayonnements ionisants prises en charge par le Régime général en France	489
Annexe 14 : Valeurs d'exemption pour les radionucléides ou substances radioactives, et niveaux définissant une source scellée de haute activité (annexe 13-8 du code de la santé publique)	490
Annexe 15 : Limites réglementaires retenues par la réglementation transport	492
Annexe 16 : Codes ONU pour la classe 7	493
Annexe 17 : DPUI (en Sv/Bq) pour différents nucléides publiés par le <i>Journal officiel</i> de la République française	494
Annexe 18 : Liste des principales installations nucléaires du parc nucléaire français	495
Annexe 19 : Appareils gammagraphiques	496
Annexe 20 : Principe de fonctionnement des générateurs de rayons X	498
Annexe 21 : Tableau périodique des éléments chimiques	499
Bibliographie	501