

MS 78

Collection PCEM

André AURENGO

Thierry PETITCLERC

François GRÉMY

Biophysique

2^e édition

18596 2/5



Médecine-Sciences

Flammarion

4, rue Casimir-Delavigne, 75006 PARIS

<http://www.medecine-flammarion.com>

Sommaire

Avant-propos à la deuxième édition.....	XV
Avant-propos à la première édition, par François Grémy.....	XX
PREMIÈRE PARTIE – MILIEU INTÉRIEUR.....	1
Chapitre 1	
Compartiments liquidiens de l'organisme.....	3
Généralités sur les liquides et les solutions.....	3
<i>États physiques de la matière.....</i>	3
<i>Solutions.....</i>	5
Répartition de l'eau et des solutés dans l'organisme.....	10
<i>L'eau.....</i>	10
<i>Les solutés.....</i>	13
<i>Mesure des compartiments liquidiens et des stocks ioniques.....</i>	16
Troubles de l'hydratation.....	19
<i>Équilibre hydrosodé.....</i>	19
<i>Diagnostic d'un trouble de l'hydratation.....</i>	22
<i>Quelques exemples de troubles de l'hydratation.....</i>	25
<i>En conclusion.....</i>	27
Chapitre 2	
Équilibre acidobasique.....	31
Généralités sur l'équilibre acidobasique.....	31
<i>Dissociation électrolytique de l'eau.....</i>	31
<i>Acides et bases.....</i>	32
<i>Systèmes tampons.....</i>	34
Équilibre acidobasique normal et sa régulation.....	35
<i>Bilan des ions H⁺.....</i>	35
<i>Systèmes tampons de l'organisme.....</i>	36
<i>Régulation de l'équilibre acidobasique.....</i>	39
Troubles de l'équilibre acidobasique.....	41
<i>Définitions.....</i>	41
<i>Diagramme de Davenport.....</i>	42
<i>Troubles d'origine respiratoire.....</i>	44
<i>Troubles d'origine métabolique.....</i>	47
<i>Surveillance de l'équilibre acidobasique.....</i>	50
Chapitre 3	
Les grands types de déplacements moléculaires dans les solutions.....	53
Déplacements en phase liquide.....	54
<i>Les grands types de déplacements.....</i>	54
<i>Rappels et notations.....</i>	55
<i>Convection.....</i>	56
Les différents types de transferts passifs à travers une membrane.....	59
<i>Généralités.....</i>	60
<i>Transfert diffusif.....</i>	61
<i>Transfert convectif.....</i>	63
<i>Transfert électrique.....</i>	65

VI SOMMAIRE

Chapitre 4		
Diffusion et convection simultanées du solvant à travers une membrane		66
Pression osmotique		66
Théorie		66
Applications		72
Ultrafiltration.....		77
Théorie		77
Phénomène de Starling		78
Filtration glomérulaire		80
Chapitre 5		
Diffusion et migration électrique simultanées des ions à travers une membrane		90
Généralités.....		91
Potentiel d'équilibre d'un ion		91
Courant transporté par un ion.....		92
Effet Donnan.....		92
Généralités		93
Théorie		94
Application : composition électrolytique du milieu interstitiel		98
Généralisation : potentiel de diffusion ionique		99
Potentiel d'électrode		100
Existence - Définition		100
Électrodes du premier genre		101
Électrodes du deuxième genre.....		104
Électrodes sélectives.....		106
Description.....		106
Applications		108
DEUXIÈME PARTIE - ÉLECTROPHYSIOLOGIE		113
Chapitre 6		
Électrophysiologie cellulaire		115
Le potentiel de repos cellulaire.....		115
Théorie de Boyle et Conway (1941)		116
Théorie de Hodgkin et Huxley (1959)		118
Caractère électrogénique de la pompe Na-K		121
Mesure du potentiel de repos		122
Potentiel d'action.....		123
Stimulus électrique		123
Potentiel d'action : phénomène transitoire		129
Potentiel d'action : phénomène propagé		135
Quelques situations particulières.....		138
Chapitre 7		
Activité électrique du cœur		143
Électrophysiologie de la cellule cardiaque.....		143
Rappels d'anatomie et d'histologie		143
Électrophysiologie normale		144
Physiopathologie		146
Thérapeutique		146
Électrocardiographie		147
Recueil des potentiels en milieu conducteur.....		147
Dérivations électrocardiographiques		151
Théorie d'Einthoven		153
Interprétation de l'ECG.....		156
Chapitre 8		
Accidents de l'électricité		160
Définitions et principes généraux		160
Incidence et circonstances.....		161
Passage d'un courant électrique à travers le corps.....		162

<i>Facteurs de gravité des électrisations</i>	164
<i>Différents aspects cliniques</i>	165
<i>Conduite à tenir</i>	166
<i>Conclusion</i>	166
TROISIÈME PARTIE – BIOPHYSIQUE SENSORIELLE	167
Chapitre 9	
Biophysique des fonctions sensorielles	169
<i>Les différentes fonctions sensorielles</i>	169
<i>La chaîne de mesure sensorielle</i>	170
<i>Caractéristiques des capteurs biologiques</i>	171
<i>Caractéristiques du message sensoriel</i>	171
<i>Caractéristiques de la biophysique sensorielle</i>	172
Chapitre 10	
Biophysique de l'audition	173
Signal physique de l'audition.....	173
<i>Déplacement des particules</i>	173
<i>Variations de la pression locale</i>	175
<i>Onde de pression acoustique, célérité</i>	175
<i>Longueur d'onde</i>	176
<i>Impédance acoustique</i>	176
<i>Paramètres énergétiques</i>	177
<i>Transitoires</i>	178
<i>Sons amortis</i>	178
Message sensoriel de l'audition.....	179
<i>Hauteur d'un son ou tonie</i>	179
<i>Sonie</i>	180
<i>Timbre</i>	182
<i>Autres phénomènes subjectifs</i>	183
<i>Audition binaurale</i>	184
Chaîne auditive.....	184
<i>Rappel anatomique</i>	184
<i>Le capteur : oreille externe et oreille moyenne</i>	187
<i>Le transducteur : oreille interne</i>	188
Codage du message auditif.....	190
<i>Codage de la fréquence d'un son</i>	190
<i>Codage de la sonie</i>	191
Voies et ventres nerveux.....	191
Explorations fonctionnelles de l'audition.....	192
<i>Explorations fonctionnelles subjectives</i>	192
<i>Explorations fonctionnelles objectives</i>	193
Principaux types de surdité.....	194
<i>Surdités de transmission</i>	194
<i>Surdités de perception</i>	194
<i>Surdités rétrocochléaires</i>	195
<i>Traitement des surdités</i>	195
Chapitre 11	
Biophysique de la vision	197
Signal physique de la vision.....	197
<i>Lumière visible</i>	197
<i>Unités radiométriques</i>	198
<i>Image lumineuse</i>	199
Message sensoriel de la vision.....	200
<i>Trivariance visuelle</i>	200
<i>Quantification de la luminance</i>	201
<i>Notion de couleur</i>	206
<i>Espace chromatique</i>	207
<i>Triangle des couleurs</i>	208
Chaîne visuelle.....	210
<i>Rappels anatomiques</i>	210

<i>Fonctions des milieux transparents de l'œil</i>	215
<i>Fonctions de la rétine</i>	219
<i>Voies et centres visuels</i>	223
Anomalies et troubles de la vision.....	223
<i>Amétropies</i>	223
<i>Dyschromatopsies</i>	226
<i>Physiopathologie des voies nerveuses</i>	227
<i>Physiopathologie des centres nerveux</i>	228
Explorations fonctionnelles de la vision.....	228
<i>Méthodes d'examen du fond d'œil</i>	228
<i>Exploration fonctionnelle des troubles dioptriques</i>	228
<i>Exploration des dyschromatopsies</i>	230
<i>Exploration électrophysiologique de la vision</i>	230
Conclusion.....	231
QUATRIÈME PARTIE – RAYONNEMENTS	235
Chapitre 12	
Rayonnements électromagnétiques	237
<i>Ondes électromagnétiques</i>	237
<i>Spectre d'un rayonnement électromagnétique</i>	239
<i>Photon</i>	239
<i>Classification des rayonnements électromagnétiques</i>	240
<i>Dualité onde-corpuscule</i>	241
Chapitre 13	
Radioactivité	243
<i>Structure du noyau, familles nucléaires</i>	243
<i>Stabilité des noyaux</i>	244
<i>Cinétique des transformations radioactives</i>	244
<i>Géométrie des émissions radioactives</i>	247
<i>Principales transformations radioactives</i>	247
<i>Radioactivité naturelle et artificielle</i>	251
<i>Résumé</i>	251
Chapitre 14	
Interactions entre les rayonnements ionisants et la matière	253
Interactions des particules chargées avec la matière.....	253
<i>Interaction avec un électron de l'atome cible</i>	253
<i>Interaction avec le noyau de l'atome cible</i>	254
<i>Cas des particules légères : électrons, positons</i>	255
<i>Cas des particules lourdes : protons, particules α</i>	256
Interactions des neutrons avec la matière.....	256
<i>Cas des neutrons rapides</i>	256
<i>Cas des neutrons lents</i>	256
<i>Noyaux de recul</i>	257
Interactions des photons avec la matière.....	257
<i>Coefficients d'atténuation</i>	257
<i>Couche de demi-atténuation (CDA)</i>	258
<i>Les cinq interactions élémentaires</i>	258
<i>Importance relative des interactions élémentaires</i>	261
<i>Importance relative de l'absorption et de la diffusion</i>	261
Chapitre 15	
Détection des rayonnements ionisants	263
<i>Caractéristiques générales des compteurs</i>	263
<i>Émulsions photographiques</i>	266
<i>Écrans à cristaux fluorescents</i>	266
<i>Détecteurs à gaz</i>	267
<i>Chambres à fils</i>	268
<i>Détecteurs à semi-conducteurs</i>	269
<i>Détecteurs à scintillation solide</i>	270

Détecteurs à scintillation liquide.....	272
Détecteurs thermoluminescents.....	273
Chapitre 16	
Dosimétrie	275
Dosimétrie des faisceaux de photons.....	275
Faisceau de photons dans le vide.....	275
Faisceau de photons dans un matériau.....	277
Transferts d'énergie entre un faisceau de photons et la matière.....	278
Dosimétrie des faisceaux particuliers.....	282
Irradiation externe.....	283
Irradiation interne.....	283
Principaux types de dosimètres.....	283
Chambres d'ionisation.....	283
Films dosimètres.....	284
Dosimètres thermoluminescents.....	284
Dosimètres à diode.....	284
Dosimétrie in vivo.....	284
Chapitre 17	
Effets biologiques des rayonnements ionisants	287
Phénomènes moléculaires.....	287
Phénomènes cellulaires.....	290
Conséquences cellulaires d'une irradiation.....	290
Courbes de survie cellulaire.....	291
Influence du TEL du rayonnement.....	295
Facteur de pondération des rayonnements.....	295
Dose équivalente.....	295
Influence du fractionnement de la dose.....	297
Influence du débit de dose.....	297
Influence du cycle cellulaire.....	298
Influence de l'oxygène.....	298
Phénomènes déterministes et stochastiques.....	299
Phénomènes tissulaires déterministes.....	300
Cancérogenèse radio-induite.....	304
Régulation du cycle cellulaire.....	304
Mécanismes de la cancérogenèse.....	304
Principaux cancers radio-induits.....	305
Conséquences des irradiations sur l'organisme.....	306
Effets déterministes.....	306
Effets stochastiques.....	306
Dose efficace.....	306
Détriment.....	307
Cas des faibles doses.....	307
Cas de l'embryon et du fœtus.....	307
Conséquences des irradiations à l'échelle de l'espèce humaine.....	309
Chapitre 18	
Hygiène et protection dans l'emploi des rayonnements ionisants	310
Irradiation des personnes non professionnellement exposées.....	310
Irradiation professionnelle.....	312
Principes généraux de la radioprotection.....	313
Mise en œuvre des principes de radioprotection.....	313
CINQUIÈME PARTIE - IMAGERIE	319
Chapitre 19	
Images analogiques et numériques	321
Caractéristiques des images analogiques.....	321
Signal physique et image analogique.....	321
Correspondance entre le signal physique et l'image analogique.....	322
Fonction de transfert de modulation.....	324

<i>Films radiologiques analogiques</i>	325
Caractéristiques des images numériques	327
<i>Résolution spatiale</i>	327
<i>Résolution en intensité</i>	327
<i>Mémoire occupée par une image</i>	328
Obtention des images numériques	328
Visualisation des images numériques	329
<i>Images isolées</i>	329
<i>Séries d'images</i>	331
Avantages de l'image numérique	332
Inconvénients de l'image numérique	333
Chapitre 20	
Tomographie numérisée	335
Principe théorique de la tomographie numérisée	335
<i>Transformée de Radon continue d'une image analogique</i>	335
<i>Rétroprojection filtrée continue</i>	337
<i>Transformée de Radon discrète d'une image numérique</i>	339
<i>Rétroprojection filtrée discrète</i>	340
<i>Approche algébrique</i>	342
<i>Reconstruction dans d'autres directions de coupe</i>	343
Applications à l'imagerie médicale	343
Limites théoriques et pratiques de l'imagerie tomographique numérisée	344
Chapitre 21	
Imagerie radiologique	346
Production des rayons X en radiodiagnostic	346
Image radiante	349
<i>Formation de l'image radiante</i>	349
<i>Contraste de l'image radiante</i>	350
<i>Origine du contraste dans l'image radiante</i>	350
<i>Produits de contraste</i>	351
<i>Contraste de l'image lumineuse radiologique définitive</i>	351
<i>Perception des contours sur l'image lumineuse radiologique</i>	352
Radiographie standard	353
<i>Principe</i>	353
<i>Détection</i>	353
<i>Contraste de l'image lumineuse</i>	354
<i>Influence de la tension, de l'intensité et du temps de pose</i>	355
<i>Élimination du rayonnement diffusé</i>	356
<i>Éléments d'interprétation des radiographies standard</i>	357
<i>Qualité d'une radiographie standard</i>	357
<i>Conclusion</i>	358
Tomographie classique	358
Radioscopie	359
<i>Radioscopie classique</i>	359
<i>Radiographie à amplificateur de brillance (ou de luminance)</i>	359
Radiographie numérisée, soustraction	360
<i>Angiographie numérisée</i>	360
<i>Radiographie numérisée par système à plaques</i>	361
<i>Chambre à fils de Charpak</i>	362
<i>Contraste de l'image lumineuse</i>	362
Tomodensitométrie	362
<i>Principe</i>	362
<i>Systèmes de détection</i>	363
<i>Avantages et inconvénients de la tomodensitométrie</i>	365
Danger des examens radiologiques	366
<i>Danger pour les patients</i>	366
<i>Danger pour le personnel</i>	367
Conclusion	367
Chapitre 22	
Imagerie par résonance magnétique	369
<i>Phénomène de résonance magnétique nucléaire</i>	369

Champ et moment magnétique	369
Propriétés magnétiques du noyau	370
Résonance magnétique	372
Phénomènes de relaxation	374
Séquences d'impulsions en RMN	376
Origine du contraste naturel en IRM	379
Produits de contraste en IRM	380
Principe de l'imagerie par résonance magnétique	380
Sélection de la coupe	381
Localisation de l'origine du signal	382
Un exemple de séquence d'acquisition	385
Images IRM non transversales	385
Séquences rapides et ultra-rapides	385
Dispositifs d'IRM	386
Réalisation du champ magnétique permanent B_0	386
Réalisation des gradients de champ magnétique	386
Réalisation des antennes d'excitation et réception	386
Résolution spatiale et en intensité	387
IRM des flux	387
IRM fonctionnelle	387
Spectrométrie RMN in vivo	388
Dangers de l'IRM	389
Conclusion	389
Chapitre 23	
Imagerie par ultrasons	391
Propriétés physiques des ultrasons	391
Notions fondamentales et notations	391
Réflexion et réfraction des US	392
Atténuation des US	393
Production et détection des ultrasons	394
Effet piézo-électrique, émetteur et récepteur d'US	394
Différents types de transducteurs	395
Caractéristiques de la détection échographique	398
Résolution	399
Profondeur de champ	400
Profondeur de pénétration	400
Compromis résolution-profondeur	400
Dynamique	401
Fréquence de récurrence	401
Gain en profondeur	402
Différentes méthodes d'examen échographique	402
Échographie mode A (Amplitude)	402
Échographie mode B (Brillance)	402
Échographie mode TM (Temps-Mouvement)	403
Imagerie échographique mode B en temps réel	403
Utilisation de l'effet Doppler	405
Principe de l'effet Doppler	405
Vélocimétrie Doppler à émission continue	406
Vélocimétrie Doppler à émission pulsée	407
Dangers de l'imagerie par ultrasons	407
Conclusion	408
Chapitre 24	
Imagerie scintigraphique	410
Traceurs et marqueurs	410
Traceurs	410
Marqueurs	411
Production des radioéléments utilisés en scintigraphie	413
Gamma-caméra	414
Collimateur	415
Détecteur à scintillations	418
Performances globales du détecteur, qualité des images	421
Constitution des images	422
Examens scintigraphiques	423

XII SOMMAIRE

<i>Images statiques</i>	423
<i>Balayages</i>	423
<i>Séquences dynamiques</i>	424
<i>Tomoscintigraphie à photon unique (SPECT)</i>	424
Utilisation d'émetteurs de positons	426
<i>Détecteurs de positons spécialisés (PET)</i>	426
<i>Détections de positons avec une gamma-caméra classique</i>	426
Dangers et protection	427
<i>Protection des patients</i>	427
<i>Protection du personnel</i>	428
Conclusion	428
Chapitre 25	
Traitement des images numériques	430
Représentation des images isolées	431
Atténuation du bruit	433
<i>Nature du bruit</i>	433
<i>Méthodes linéaires et non linéaires</i>	434
<i>Convolution</i>	434
<i>Filtre médian</i>	436
<i>Filtrage morphologique</i>	437
Synthèse et rendu des images tridimensionnelles	438
Imagerie multimodalités	440
Synthèse des informations d'une série temporelle d'images	441
<i>Imagerie paramétrique</i>	441
<i>Analyse de Fourier temporelle</i>	442
Estimation quantitative de paramètres	443
<i>Morphométrie</i>	443
<i>Régions d'intérêt et identification de modèles</i>	443
Compression des images	445
SIXIÈME PARTIE - APPLICATIONS BIOLOGIQUES ET THÉRAPEUTIQUES	449
Chapitre 26	
Applications biologiques des radioéléments	451
Études métaboliques et cinétiques in vivo	451
<i>Mesure de la concentration du traceur</i>	452
<i>Interprétation des résultats, exemples d'applications</i>	452
Immuno-analyse	457
<i>Principales techniques d'immuno-analyse</i>	458
<i>Marqueurs</i>	460
<i>Récepteurs spécifiques</i>	462
<i>Séparation entre les formes libres et liées du substrat</i>	463
<i>Critères de qualité</i>	463
<i>Principales applications de l'immuno-analyse</i>	464
Chapitre 27	
Radiothérapie et curiethérapie	466
Radiothérapie externe transcutanée	466
<i>Objectifs de la radiothérapie externe transcutanée</i>	466
<i>Facteur spatial ou balistique de l'irradiation</i>	467
<i>Facteur temporel</i>	468
<i>Facteurs adjuvants</i>	470
<i>Production des rayonnements en radiothérapie externe transcutanée</i>	470
<i>Protocoles de traitement en radiothérapie</i>	471
<i>Danger de la radiothérapie externe transcutanée</i>	472
<i>Curiothérapie par sources scellées (CPSS)</i>	472
Curiothérapie par sources non scellées (CPSNS)	473
<i>Généralités sur les radioéléments utilisés</i>	473
<i>CPSNS sélective</i>	474
<i>CPSNS non sélective</i>	476

ANNEXES	477
Annexe 1. Facteurs multiplicatifs appliqués à l'unité.....	479
Annexe 2. Principales constantes physiques.....	479
Annexe 3. Principales unités.....	480
Annexe 4. Coordonnées polaires.....	481
Annexe 5. Angle solide.....	482
Annexe 6. Loi de Gauss.....	483
Annexe 7. Loi de Poisson : approximation normale.....	484
Annexe 8. Décomposition en série de Fourier.....	485
Annexe 9. Transformée de Fourier 1D et 2D.....	487
Annexe 10. Théorème du profil central de la transformée de Fourier.....	489
Annexe 11. Splines.....	490
Annexe 12. Identification des paramètres d'un modèle.....	491

CORRIGÉS DES EXERCICES	493
Corrigés du chapitre 1.....	495
Corrigés du chapitre 2.....	499
Corrigés du chapitre 4.....	507
Corrigés du chapitre 5.....	514
Corrigés du chapitre 6.....	519
Corrigés du chapitre 7.....	524
Corrigés du chapitre 10.....	527
Corrigés du chapitre 11.....	530
Corrigés du chapitre 12.....	532
Corrigés du chapitre 13.....	534
Corrigés du chapitre 14.....	536
Corrigés du chapitre 15.....	538
Corrigés du chapitre 16.....	540
Corrigés du chapitre 17.....	542
Corrigés du chapitre 18.....	544
Corrigés du chapitre 19.....	545
Corrigés du chapitre 20.....	546
Corrigés du chapitre 21.....	549
Corrigés du chapitre 22.....	550
Corrigés du chapitre 23.....	552
Corrigés du chapitre 24.....	554
Corrigés du chapitre 25.....	556
Corrigés du chapitre 26.....	559
Corrigés du chapitre 27.....	561
Corrigés des annexes.....	562

INDEX	565
--------------------	-----