

éléments de
biophysique
1

F. GRÉMY et F. LETERRIER

flammarion

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	VII
AVANT-PROPOS.....	IX
LE SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS	13
Première partie	
L'ÉNERGIE ET LA MATIÈRE.....	23
1. L'ÉNERGIE	25
1. Généralités	25
2. Energie mécanique	27
3. Energie thermique ou chaleur	32
4. Energie rayonnante	41
5. Apport de la relativité	42
2. NOTIONS SUR LA STRUCTURE DE L'ATOME.....	44
1. La molécule, l'élément et l'atome	44
2. Le nombre d'Avogadro. L'échelle des masses atomiques.....	44
3. Structure de l'atome	45
4. Inadéquation de la physique classique	46
5. Introduction de la mécanique quantique	47
6. Répartition des électrons autour du noyau	48
7. L'énergie du système noyau-électrons	51
8. Etat fondamental d'un atome. Classification de Mendeleieff.....	54
9. Apport d'énergie à un atome. Excitation. Ionisation. Spectroscopie.....	56
3. FORCES INTERATOMIQUES ET INTERMOLECULAIRES.....	60
1. La liaison covalente ou liaison atomique	60
2. La liaison ionique (électrovalence)	65
3. Remarques : caractère arbitraire des schémas précédents.....	66
4. La liaison métallique	66
5. Les forces interparticulaires qui unissent entre eux molécules et ions.....	67
6. Forces de répulsion	73

4. ÉTATS PHYSIQUES DE LA MATIÈRE.....	75
1. Notions générales	75
2. L'état gazeux	77
3. L'état solide	86
4. L'état liquide	93
 Deuxième partie	
L'EAU. PROPRIÉTÉS CINÉTIQUES, OPTIQUES ET ÉLECTRIQUES DES SOLUTIONS AQUEUSES.....	95
 5. L'EAU.....	97
1. Introduction : intérêt de l'étude de l'eau.....	97
2. Description de la molécule d'eau	98
3. Propriétés physico-chimiques de l'eau	102
4. Eau lourde et eau tritiée	106
 6. GÉNÉRALITÉS SUR LES SOLUTIONS.....	107
1. Définition	107
2. Concentration d'une solution	107
3. Problèmes physiques posés par la solubilité	115
4. Classification des solutions	117
 7. ÉQUILIBRE ET CINÉTIQUE DES RÉACTIONS BIOCHIMIQUES.....	118
1. Introduction	118
2. Equilibre chimique	119
3. Cinétique chimique formelle	123
4. Cinétique de la catalyse enzymatique	133
 8. DIFFUSION EN PHASE LIQUIDE.....	141
1. Diffusion en milieu libre	141
2. Diffusion dans les gels et les membranes	147
 9. PRESSION OSMOTIQUE; PROPRIÉTÉS COLLIGATIVES D'UNE SOLUTION.....	151
1. Pression osmotique	151
2. Autres propriétés colligatives : Lois de Raoult	162
3. Comparaison entre les différentes propriétés colligatives	165
4. Solutions réelles	167
5. Compléments divers	172

10. VISCOSITÉ DES LIQUIDES ET DES SOLUTIONS	173
1. Définition	173
2. Phénomènes physiques liés à la viscosité	176
3. Mesure de la viscosité	177
4. Viscosité des solutions micromoléculaires	179
11. SOLUTIONS ÉLECTROLYTIQUES	180
1. Propriétés générales	180
2. Conductibilité des électrolytes	183
3. Théorie des électrolytes	188
12. POTENTIELS D'ÉLECTRODES	196
1. Notions générales	196
2. Problèmes posés par la mesure d'un potentiel d'électrode. Nécessité d'une référence	197
3. Différents types d'électrodes	201
4. Pile de « concentration »	203
5. Remarques	204
6. Electrolyse. Comportement des électrodes pendant le passage du courant. Polarographie	205
13. pH. ACIDES ET BASES. MESURE DU pH	210
1. Notion de pH	210
2. Notion d'acides et de bases	212
3. Variation du pH lors de la titration d'un acide par une base forte	220
4. Ampholytes	227
5. Mesure du pH	232
14. OXYDO-RÉDUCTION	238
1. Définition	238
2. Potentiel d'oxydo-réduction dans le cas du transfert d'électrons	240
3. Potentiel d'oxydo-réduction dans le cas du transfert d'hydrogène	244
4. Cas plus complexe où la nature même de l'équilibre Red-Ox dépend du pH ..	246
5. Importance des systèmes oxydo-réducteurs en biologie	248
15. PROPRIÉTÉS SPECTROSCOPIQUES DES SOLUTIONS	252
1. Introduction	252
2. Spectroscopie ultraviolette et visible	252
3. Spectroscopie infrarouge	260
4. Spectroscopies hertziennes	260
5. Polarimétrie. Dispersion optique rotatoire. Dichroïsme circulaire	261

Troisième partie

PHÉNOMÈNES DE SURFACE	263
16. PHÉNOMÈNES SUPERFICIELS EN PHASE LIQUIDE	265
1. Introduction	265
2. Etude des surfaces liquides	266
3. Etude des interfaces entre deux liquides non miscibles.....	270
4. Tension superficielle des solutions	271
5. Films monomoléculaires	274
6. Application des phénomènes superficiels en phase liquide : mousses et émulsions.	283
17. LA SURFACE DES SOLIDES. MOUILLEMENT. ADSORPTION	285
1. Surface des solides	285
2. Etude du contact entre un solide, un liquide et l'air. Mouillement.....	285
3. Adsorption à la surface des solides.....	289
4. Compléments	295
18. MESURES EN PHYSIQUE DES SURFACES	296
1. Mesure de la tension superficielle d'un liquide et de la tension interfaciale de deux liquides	296
2. Mesure de la pression superficielle	303

Quatrième partie

COLLOÏDES ET MACROMOLÉCULES	305
19. SOLUTIONS COLLOÏDALES	307
1. Définition : notion d'état colloïdal	307
2. Classification des colloïdes	308
3. Préparation des solutions colloïdales	310
4. Propriétés d'ensemble des solutions colloïdales	311
20. LES MACROMOLÉCULES	321
1. Définition	321
2. Classification des polymères	322
3. Caractères physiques généraux des macromolécules.....	326
4. Modifications de la conformation et de la structure des protéines.....	332
5. Colloïdes et macromolécules dans la cellule	334

21. PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DES COLLOÏDES ET DES MACROMOLÉCULES. ÉQUILIBRE DE DONNAN	335
1. Phénomènes électrocinétiques	335
2. Equilibre de Donnan	343
22. PROPRIÉTÉS CINÉTIQUES DES MACROMOLÉCULES	351
1. Propriétés colligatives	351
2. Propriétés hydrodynamiques	352
2.1. <i>Diffusion de translation</i>	352
2.2. <i>Ultracentrifugation</i>	353
3. Viscosité des solutions macromoléculaires	360
4. Valeurs numériques des paramètres hydrodynamiques	365
23. PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES SOLUTIONS MACROMOLÉCULAIRES	366
1. Diffusion de la lumière	366
2. Microscopie électronique	372
24. ÉLECTROPHORÈSE	374
1. Introduction	374
2. Aspects théoriques	374
3. L'électrophorèse libre	375
4. L'électrophorèse sur support	377
5. Applications	385
6. Récapitulation	388
25. CHROMATOGRAPHIE	389
1. Principes de la méthode	389
2. Les différents types de chromatographie	389
3. Etude théorique et pratique de l'extraction et de l'élution d'un composé unique	392
4. Cas des mélanges	394
5. Réalisation pratique des différentes méthodes chromatographiques	398
6. Application des méthodes chromatographiques	400
26. SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'ÉTUDE DES MACROMOLÉCULES	404

Cinquième partie

APPLICATIONS BIOLOGIQUES DE LA PHYSICO-CHEMIE	407
27. LES GRANDS SECTEURS LIQUIDIENS DE L'ORGANISME	409
1. L'eau du corps	409
2. Répartition des ions dans les principaux liquides corporels.....	413
3. Stock des principaux ions	416
28. MÉCANISME PHYSICO-CHEMIQUE DE LA RÉGULATION DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE DU MILIEU INTÉRIEUR	420
1. Les variations de la concentration en H^+	420
2. Les systèmes tampons du sang	424
3. Intervention des différents tampons pour la régulation du pH sanguin.....	428
4. Les agressions contre l'équilibre acido-basique. Représentation et corrections..	430
5. Remarques	434
29. BIORHÉOLOGIE	436
1. Notions générales de rhéologie	436
2. Rhéologie du sang	440
3. Conséquences hydrodynamiques du comportement rhéologique du sang.....	444
30. BIOPHYSIQUE DE LA RÉACTION ANTIGÈNE-ANTICORPS	448
1. Structure des antigènes et des anticorps	448
2. La réaction élémentaire haptène-anticorps	449
3. Réactions secondaires	455
4. Dosages radio-immunologiques	457
31. NOTIONS SUR LES MEMBRANES BIOLOGIQUES	459
1. Généralités sur la structure et les fonctions des membranes.....	459
2. Le transport des molécules neutres	468
2.1. <i>Phénomène de transport. Méthodes générales de mesure</i>	468
2.2. <i>Données expérimentales. Diffusion passive, diffusion facilitée, diverses modalités de transport actif</i>	470
2.3. <i>Aspects théoriques</i>	473
2.4. <i>Le transport passif</i>	475
2.5. <i>Mécanismes moléculaires du transport actif</i>	477

3. Le transport d'ions : la membrane du neurone et du myone.....	481
3.1. <i>Observations et données expérimentales</i>	481
3.2. <i>Résultats principaux des premières expérimentations</i>	484
3.3. <i>Notions théoriques sur le transport des ions</i>	486
3.4. <i>Tentative d'explication du potentiel de membrane</i>	489
3.5. <i>Vue synthétique sur le potentiel de membrane</i>	492
3.6. <i>Mécanisme moléculaire</i>	494
3.7. <i>Transport actif dans les épi- et endothéliums</i>	495
4. La membrane de l'hématie.....	498
5. Effets pharmacologiques au niveau des membranes.....	503
Sixième partie	
ÉLECTROPHYSIOLOGIE	507
32. TECHNIQUES DE L'ÉLECTROPHYSIOLOGIE	509
1. Problèmes généraux : adaptation d'impédances, distorsions linéaires et non linéaires.....	509
2. Les organes d'une chaîne de mesure.....	516
2.1. <i>Electrodes</i>	516
2.2. <i>Amplificateurs</i>	518
2.3. <i>Transmission des signaux</i>	521
2.4. <i>Appareils d'enregistrement</i>	523
33. ÉLECTROPHYSIOLOGIE DE LA FIBRE NERVEUSE ET DU NERF AU REPOS	527
1. Introduction.....	527
2. La fibre nerveuse au repos.....	530
34. EXCITATION DE LA FIBRE NERVEUSE ET DU NERF	537
1. Lois de l'excitation.....	537
2. Genèse et forme du potentiel d'action au lieu même de la stimulation.....	547
3. Propagation du potentiel d'action.....	550
4. Phénomènes accompagnant le potentiel d'action.....	553
5. Phénomènes ioniques.....	554
6. Fibre nerveuse myélinisée.....	560
7. Tronc nerveux.....	561
8. Modification de l'excitabilité et de la conduction sous l'influence de divers facteurs.....	562

35. PHYSIOLOGIE ET BIOPHYSIQUE DE LA FIBRE MUSCULAIRE	564
1. Problème de structure de la fibre musculaire striée.....	564
2. Aperçu général de la physiologie de la fibre musculaire.....	566
3. Electrophysiologie élémentaire de la fibre musculaire.....	567
4. Biophysique de la jonction neuromusculaire	568
5. Biophysique de la contraction musculaire	571
6. Couplage entre l'excitation et la contraction	574
7. Biophysique des fibres lisses	575
36. ÉLECTRODIAGNOSTIC NEUROLOGIQUE	576
1. Introduction	576
2. Electrodiagnostic qualitatif de stimulation	576
3. Electrodiagnostic quantitatif de stimulation	579
4. Electrodiagnostic de détection ou électromyographie	581
5. Autres méthodes d'électrodiagnostic	585
37. POTENTIELS BIOÉLECTRIQUES DANS UN VOLUME CONDUCTEUR	587
1. Introduction	587
2. Potentiels créés par un dipôle électrique	588
3. Théorie du feuillet électrique	590
4. Potentiel créé à distance par une fibre nerveuse ou musculaire	592
38. ÉLECTROPHYSIOLOGIE DES SOMAS NEURONIQUES	596
1. Introduction	596
2. Propriétés de la membrane somatique au repos.....	598
3. Variations provoquées du potentiel de membrane. Modalités de transmission de l'excitation	599
4. Excitation des somas	606
5. Biophysique des dendrites	609
39. POTENTIELS DU CORTEX CÉRÉBRAL	611
1. Morphologie générale du cortex	611
2. Potentiels spontanés : électroencéphalographie	612
3. Potentiels évoqués	616
4. Problèmes biophysiques posés par les potentiels corticaux	618
40. ÉLECTROPHYSIOLOGIE DU CŒUR NORMAL	624
1. Problèmes de structure et de nomenclature	624
2. Physiologie élémentaire de la fibre cardiaque	626
3. Généralités sur l'électrocardiographie	631

4. Assimilation d'une fibre cardiaque à un dipôle électrique.....	631
5. Assimilation du cœur à un dipôle	634
6. Dérivations frontales utilisées en électrocardiographie	637
7. Dérivations précordiales	640
8. Dérivations orthogonales et vectocardiographie	643
9. Dérivations intracardiaques	645
10. Aspects techniques de l'électrocardiographie	645
11. L'électrocardiogramme normal	647
41. ACCIDENTS DUS A L'ÉLECTRICITÉ.....	651
Septième partie	
ACOUSTIQUE PHYSIOLOGIQUE. ULTRASONS.....	659
42. RAPPEL D'ACOUSTIQUE PHYSIQUE.....	661
1. Introduction	661
2. Sons purs	661
3. Sons complexes	670
43. PHÉNOMÈNES SUBJECTIFS DE L'AUDITION.....	675
1. Introduction	675
2. La hauteur ou tonie	675
3. La sonie	677
4. Le timbre	680
5. Sons subjectifs	681
6. Audition simultanée de deux sons : effet de masque	681
7. La fatigue auditive	682
8. Audition binaurale et orientation auditive	683
9. Remarque générale sur ce chapitre	684
44. PHÉNOMÈNES OBJECTIFS ÉLÉMENTAIRES DE L'AUDITION... ..	685
1. Notions d'anatomie	685
2. Physique de l'oreille moyenne	688
3. Physiologie de l'oreille interne	691
4. Mécanique cochléaire	692
5. Electrophysiologie de l'oreille interne	698
6. Physiologie des voies nerveuses auditives	703
7. Distorsions de l'oreille	707
8. La sélectivité de l'oreille	708

45. EXAMEN DE L'AUDITION	710
1. Examen de l'audition	710
2. Acoumétrie	710
3. Audiométrie tonale liminaire	712
4. Audiométrie supra-liminaire	713
5. Audiométrie vocale (test d'intelligibilité)	715
6. Exemple de surdité de transmission	716
7. Exemple de surdité de perception	717
8. Prothèse auditive	719
46. HYGIÈNE DE L'AUDITION	720
1. Définition du bruit	720
2. Mesure des bruits. Ses difficultés	721
3. Effets pathologiques du bruit	721
4. Hygiène du bruit	723
47. ULTRASONS. PROPRIÉTÉS ET ACTIONS	725
1. Généralités	725
2. Propriétés physiques et effets associés	726
3. Actions biologiques	732
4. Production, détection et mesure des ultrasons	734
48. ULTRASONS : UTILISATION EN MÉDECINE	737
1. Utilisation paramédicale	737
2. Utilisation en thérapeutique	737
3. Utilisation diagnostique	738
4. Conclusions	749