

Biophysique

TOME I

Physico-chimie Électrophysiologie

A. BERTRAND / B. DUCASSOU
J.-C. HEALY / J. ROBERT
E. VICAUT

■ 2^e édition

MASSON ■

Biophysique

MD 347 / T1

Tome 1

Physico-chimie Électrophysiologie

Cours, exercices et tests

A. BERTRAND

Maître de conférences agrégé
Université de Nancy I

21252 $\frac{1}{2}$

D. DUCASSOU

Maître de conférences agrégé
Université de Bordeaux

J.-C. HEALY

Maître de conférences agrégé
Université de Strasbourg

J. ROBERT

Maître de conférences agrégé
Université de Nancy I

E. VICAUT

Directeur de recherches
INSERM Paris



2^e édition

MASSON

Paris Milan Barcelone

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	V
--------------------	---

PHYSICO-CHIMIE GÉNÉRALE

1 Les atomes. Liaisons intra-atomiques	3
Composition de la matière vivante	3
Structure de l'atome	3
Premier modèle : modèle de Rutherford-Perrin. Mécanique classique (3). Deuxième modèle : modèle de Bohr. Mécanique quantique (6). Troisième modèle : modèle de Broglie. Mécanique ondulatoire (8).	
Exercices et test	12
2 Les états de la matière. Changement d'état. Mouvement brownien	13
Les différents états	13
Transformation liquide-solide (14). Transformation liquide-gaz (14). Transformation solide-gaz (16).	
Interprétation des différents états	16
Les liaisons intermoléculaires (17). Les dipôles (17).	
L'agitation moléculaire : le mouvement brownien	20
Exercices et tests	22
3 Physico-chimie de l'état gazeux	23
Propriétés des gaz — Comportement macroscopique	23
A température constante (isotherme) (23). A pression constante (24). Constante des gaz parfaits (24). Pression partielle (25). Gaz réels (25). Diffusion (26). Solubilité (27). L'exemple de la diffusion alvéolo-capillaire (27).	
Théorie cinétique des gaz	28
Travail d'un gaz	31
Exercices et tests	32

II PHYSICO-CHIMIE DES SOLUTIONS MICROMOLÉCULAIRES

4	L'eau. Les solutions	35
	L'eau	35
	Structures et modèles de l'eau (35). Solubilité (36).	
	Les solutions	37
	Définition (37). Expressions de la concentration (37). Composition des différentes solutions (39). Solutions idéales (39).	
	<i>Exercices et tests</i>	39
5	Propriétés cinétiques des solutions.	
	Diffusion en phase aqueuse	41
	Diffusion en phase aqueuse	41
	Aspect expérimental (41). Aspect quantitatif (41). Signification du coefficient de diffusion D (en $\text{cm}^2/\text{sec.}$) (42).	
	Diffusion dans les gels et les tissus	44
	Diffusion dans les membranes	44
	<i>Exercices et tests</i>	45
6	Propriétés colligatives des solutions	47
	L'abaissement de tension de vapeur (tonométrie)	47
	Pression de vapeur saturante (47). L'abaissement de tension de vapeur (48).	
	L'abaissement du point de congélation (cryoscopie)	49
	Pression osmotique	50
	Aspect expérimental (50). Aspect quantitatif (50). Applications de la pression osmotique (52). Travail osmotique (53).	
	<i>Exercices et tests</i>	53
7	Propriétés électriques des solutions	55
	Comportement électrique des solutions ioniques	55
	Propriétés électriques (55). Interprétation (57). Application à la conductivité (58).	
	Théorie des électrolytes	59
	Baisse de la conductivité équivalente avec l'augmentation de la concentration (59). Coefficient de dissociation (59). Coefficient d'activité (60). Application de la loi d'action de masse : produit de solubilité (61). pH acides-bases (61). Acidité titrable ou potentielle et acidité réelle (61).	
	Potentiels ioniques. Loi de Nernst	64
	<i>Exercices et tests</i>	65

8 Propriétés optiques des solutions micromoléculaires	66
Généralités	66
Aspect synthétique de l'absorption de l'énergie radiante	67
Aspect analytique de l'absorption de l'énergie radiante	67
Applications	69
Spectroscopie atomique (69), Spectroscopie moléculaire (70),	
Exercices et tests	72

III

PHYSICO-CHIMIE DES SOLUTIONS MACROMOLÉCULAIRES DES COLLOÏDES

9 Les macromolécules et les colloïdes	75
Conformation des biopolymères en solution	75
Conformation des protéines (76), Conformation des acides nucléiques (77).	
Nature des forces impliquées dans la conformation	77
Exercices et tests	78
10 Propriétés cinétiques des macromolécules en solution	79
Généralités	79
Propriétés colligatives des solutions macromoléculaires	79
Déplacement des macromolécules dû à l'accélération de la pesanteur	81
Ultracentrifugation (Svedberg)	82
Équilibre de sédimentation	84
Centrifugation et gradient de densité ²	84
Exercices et tests	85
11 Propriétés électriques des macromolécules	86
Origine des charges des colloïdes	86
Étude du potentiel des colloïdes	87
Méthodes d'études des charges superficielles : électrophorèses	88
L'électrophorèse en phase liquide (89), L'électrophorèse sur support (89).	
Autres techniques	91
Immuno-électrophorèse (92), Électro-focalisation (92).	

Conséquences osmotiques de l'existence des charges électriques sur les macromolécules équilibre de Donnan	93
Solubilité et floculation des colloïdes	96
<i>Exercices et tests</i>	96
12 Propriétés optiques des macromolécules	100
Spectroscopies	100
Spectroscopie d'absorption (100). Spectroscopie d'émission (fluorescence) (101). Spectropolarité. Propriétés rotatoires des macromolécules (101). Spectrographie infrarouge (102). Spectroscopies hertziennes (102).	
Diffusion de la lumière	103
Diffraction des rayons X	104
Microscopie électronique	104
Applications des techniques optiques à l'étude des biopolymères <i>in situ</i>	104
Méthodes spectroscopiques (104). Fluorescence (104).	
<i>Exercices et test</i>	108
13 Propriétés mécaniques des gels	106
Propriétés mécaniques des gels	106
Comportement mécanique (106). Gonflement des gels et diffusion dans les gels (106). Absorption sur gel (107). Applications analytiques des gels (107).	
Phénomènes de surface	108
<i>Exercices et tests</i>	109
IV	
PHYSICO-CHIMIE DES SYSTÈMES ORGANISÉS	
14 Biophysique de la réaction antigène-anticorps	113
Structure des antigènes et des anticorps	113
Réaction élémentaire haptène-anticorps	114
Étude de la réaction à l'équilibre (114).	
Réactions secondaires	114
Les réactions de floculation (115). Nature des forces impliquées dans la réaction antigène-anticorps (116). Autres réactions secondaires (118).	
Dosages radio-immunologiques	118
Utilisation (118). Processus (119).	
<i>Exercices et tests</i>	120

15 Facteurs physico-chimiques de la régulation de l'équilibre acido-basique	121
Introduction	121
Facteurs de modification du pH	122
Pouvoir tampon total du sang	123
Courbe de neutralisation (123). Tampons fixes (124). Tampon ouvert ou volatil (125).	
Diagramme de Davenport	126
Autre exemple (127).	
pH intracellulaire	128
Exercices et tests	129
16 Phénomènes de transport. Échanges à travers les membranes	130
Introduction	130
Rappels sur la structure des membranes	130
Aspects théoriques généraux des transports	131
Approches expérimentales de la diffusion dans les membranes	133
Méthodologie (133). Étude du transport de substances neutres (133). Études du transport des ions à travers les membranes (136).	
Échanges à travers les membranes capillaires	139
Les équations de Starling (139). Modifications de l'équation de Starling (141).	
Exercices et tests	141
17 Notion de mécanique des fluides	142
Rappel de la notion de viscosité (142). Les solutions macromoléculaires (143). Écoulements de fluides dans des conduits (144). Écoulement en régime laminaire dans un conduit rectiligne (144). Taux de cisaillement à l'intérieur du conduit et à la paroi (146).	
Hémorhéologie	146
Écoulement du sang dans les vaisseaux : viscosité apparente	148
Mode particulier d'écoulement du sang dans les petits vaisseaux (148).	
18 Électrophysiologie	149
Activation de la fibre nerveuse	149
Origine de l'activation membranaire (150). Propagation du potentiel d'action (152).	
Les récepteurs sensitifs et sensoriels	152
La communication intercellulaire	153
L'électrocardiogramme (E.C.G.)	153
Rappels anatomiques (153). Le potentiel d'action de la fibre car-	

diague (155). Théorie dipolaire (155). Théorie du feuillet électrique (158). Les dérivations utilisées en électrocardiographie (160). Objectifs de l'électrocardiogramme (161).	
L'électroencéphalogramme (E.E.G.)	161
Étude des potentiels évoqués	161
L'électrologie médicale	162
L'électrodiagnostic (162). L'électrothérapie (162).	
Effet des courants sur l'organisme	163
<i>Exercices et tests</i>	164

V

NOTIONS D'ÉLECTRONIQUE MÉDICALE

19 Les semi-conducteurs et leurs associations	167
Notion de semi-conducteurs	167
Rappels (167). Les semi-conducteurs intrinsèques (168). Les semi-conducteurs extrinsèques (169).	
Association des semi-conducteurs	171
La jonction P.N. (171). Polarisation extérieure : la diode (171). Le transistor (172).	
20 Les transducteurs ou capteurs	176
Captation des phénomènes biologiques sans traduction électrique directe	176
Capteurs de phénomènes chimiques (177). Capteurs de phénomènes physiques (178).	
Captation des phénomènes biologiques à expression électrique directe	184
Biocapteurs (185).	
21 L'Amplification du signal issu du transducteur	188
Principe de l'amplification — Rappels	188
Liaison entre étage	191
Amplification de variation rapide de tension (191). Amplification de variation lente de tension (191).	
L'amplificateur symétrique ou à entrée différentielle	193
Notion de filtre et de bande passante	192
Élimination des fréquences élevées (193). Élimination des fréquences basses (194). Filtre passe-bande (195).	
Devenir du signal depuis son lieu d'émission jusqu'à l'entrée de l'amplificateur. L'adaptation d'impédance	195

22 Les récepteurs	198
Analyse des phénomènes lents	198
Le galvanomètre à effet direct (199). Le galvanomètre à mécanisme d'asservissement (200).	
Études des phénomènes de fréquence moyenne	202
Études des phénomènes de fréquence élevée	203
L'enregistrement magnétique (203). L'oscilloscope cathodique (206). Oscilloscope à rémanence (207).	
La télévision en circuit fermé	208
Le magnétoscope	209
Affichage des valeurs numériques	209
23 Analyse des signaux	212
Analyse spectrale de l'électroencéphalogramme (E.E.G.)	212
Décomposition en série de Fourier	213
Étude des potentiels évoqués par moyennage	214
Analyse des signaux électrocardiographiques (E.C.G.)	214
Étude de la fonction de transfert d'un système linéaire	215
La distorsion du signal par la chaîne de mesure	217
Le parasitage industriel	217
Intervention de l'amplification	218
<i>Tests</i>	219
Corrigés des exercices et tests	220
Index alphabétique des matières	223

Biophysique

TOME 1

Physico-chimie, électrophysiologie

A. BERTRAND / B. DUCASSOU

J.-C. HEALY / J. ROBERT / E. VICAUT

L'ouvrage

- Les fondements essentiels de la biophysique et de l'électronique médicales pour comprendre les techniques de diagnostic utilisées en médecine : radiologie, médecine nucléaire, ECG...
- Un aperçu sur la matière et les changements d'état.
- L'étude physico-chimique des solutions micromoléculaires et des solutions macromoléculaires des colloïdes. Leurs propriétés appliquées à la médecine.
- L'étude physico-chimique des systèmes organisés : biophysique de la réaction antigène-anticorps, échanges à travers les membranes, électrophysiologie...
- Des notions d'électronique médicale, de la chaîne de mesure (transducteurs, amplificateurs, récepteurs) à l'analyse des signaux.
- Des exercices avec réponses pour tester les connaissances acquises.

Le public

- Les étudiants de PCEM 1 et 2.
- Les étudiants de pharmacie.

Les auteurs

Alain Bertrand, Dominique Ducassou, Jean-Claude Healy, Jacques Robert sont professeurs, respectivement dans les facultés de médecine de Nancy, Bordeaux, Saint-Étienne.

Eric Vicaut est directeur de recherches à l'INSERM, Paris.

ISBN 2-225-85048-8



9 782225 850486