

# **ABRÉGÉ DE BIOCHIMIE APPLIQUÉE**

Nouvelle édition

**Abderrazak MAROUF**  
**Gérard TREMBLIN**

The logo for 'edp sciences' features the lowercase letters 'edp' in a stylized, interconnected font, followed by the word 'sciences' in a clean, sans-serif typeface.

17, avenue du Hoggar  
Parc d'Activité de Courtabœuf - BP 112  
91944 Les Ulis Cedex A - France

## TABLE DES MATIÈRES

Préface .....	V
Avant-propos .....	VII
Sommaire .....	XIII
Abréviations, symboles et acronymes .....	1

### *Partie I - Substances d'origine végétale*

<b>1 - Les glucides</b> .....	9
1.1. Introduction .....	9
1.2. Classification structurale .....	9
1.3. Osés .....	10
Glucose .....	13
1.4. Diholosides ou disaccharides .....	14
Saccharose .....	15
1.5. Dérivés glucidiques .....	17
1.6. Polysaccharides .....	23
1.7. Glucides des parois .....	23
1.7.1. Cellulose .....	24
1.7.2. Hémicelluloses .....	27
1.7.3. Pectines .....	29
1.7.3.1. Structure et propriétés .....	29
1.7.3.2. Enzymes pectiques .....	31
1.7.4. Gommés .....	32
1.7.5. Mucilages .....	34
1.7.6. Callose .....	35
1.8. Glucides de réserve .....	36
1.8.1. Amidon .....	36
1.8.1.1. Généralités .....	36
1.8.1.2. Structure et composition .....	37
1.8.1.3. Propriétés .....	38
1.8.2. Inuline .....	42
1.9. Cyclodextrines .....	43
1.9.1. Structure .....	43
1.9.2. Obtention .....	44
1.9.3. Formation du complexe d'inclusion .....	44
1.10. Méthodes d'analyse .....	48
1.10.1. Extraction .....	48
1.10.2. Purification .....	49
1.10.3. Identification et dosage .....	49
1.10.4. Analyse structurale des polysaccharides .....	50
1.10.5. Glycomique .....	51

<b>2 - Les protides</b> .....	55
2.1. Introduction .....	55
2.2. Acides aminés .....	55
2.2.1. Propriétés générales .....	56
2.2.2. Acides aminés indispensables .....	60
2.3. Protéines .....	61
2.3.1. Définitions .....	61
2.3.2. Structure .....	61
2.3.3. Modifications post-traductionnelles .....	62
2.3.4. Dénaturation .....	62
2.3.5. Diversité et fonctions biologiques .....	63
2.3.5.1. Protéines de réserve .....	65
2.3.5.2. Protéines membranaires .....	70
2.4. Méthodes d'étude des protides .....	71
2.4.1. Extraction .....	71
2.4.1.1. Etat de la protéine .....	73
2.4.1.2. Méthodes d'extraction .....	73
2.4.2. Séparation et purification .....	74
2.4.2.1. Acides aminés .....	74
2.4.2.2. Protéines .....	74
2.4.3. Caractérisation .....	76
2.4.3.1. Acides aminés .....	76
2.4.3.2. Protéines .....	78
2.4.4. Dosage .....	79
2.4.4.1. Dosage titrimétrique .....	80
2.4.4.2. Dosages colorimétriques .....	80
2.4.4.3. Méthodes spectrophotométriques .....	81
2.4.5. Protéomique .....	81
<b>3 - Les lipides</b> .....	87
3.1. Définition, généralités .....	87
3.2. Classification .....	87
3.3. Lipides simples .....	88
3.3.1. Acides gras .....	88
3.3.1.1. Généralités .....	88
3.3.1.2. Principaux types .....	89
3.3.1.3. Nomenclature .....	90
3.3.1.4. Acides gras essentiels (AGE) .....	92
3.3.1.5. Propriétés physico-chimiques .....	93
3.3.1.6. Acides gras substitués .....	93
3.3.1.7. Répartition .....	95
3.3.2. Glycérides .....	95
3.3.3. Stérides .....	97
3.3.4. Cérides .....	97
3.4. Lipides complexes .....	98
3.4.1. Phospholipides .....	97
3.4.1.1. Glycérophospholipides .....	98
3.4.1.2. Sphingolipides .....	100
3.4.2. Glycolipides .....	100

3.5. Isoprénoïdes .....	101
3.5.1. Terpénoïdes .....	102
3.5.1.1. Monoterpénoïdes .....	102
3.5.1.2. Sesquiterpénoïdes .....	103
3.5.1.3. Diterpénoïdes .....	105
3.5.1.4. Triterpénoïdes .....	106
3.5.1.5. Tétraterpénoïdes .....	106
3.5.1.6. Polyterpénoïdes .....	110
3.5.2. Stéroïdes .....	111
3.5.2.1. Structure générale .....	111
3.5.2.2. Phytostérols et phytostanols .....	112
3.5.2.3. Ecdystéroïdes .....	114
3.5.3. Vitamines liposolubles .....	115
3.6. Importance nutritionnelle et métabolique des lipides .....	118
3.7. Importance médicale des lipides .....	120
3.8. Lipochimie .....	120
3.8.1. Obtention des huiles végétales .....	121
3.8.2. Facteurs favorisant l'altération des huiles .....	124
3.8.3. Traitements de transformation .....	125
3.8.3.1. Fractionnement .....	125
3.8.3.2. Hydrogénation .....	126
3.8.3.3. Interestérisation .....	126
3.8.3.4. Transtérisation .....	127
3.8.3.5. Saponification .....	127
3.9. Méthodes d'étude .....	133
3.9.1. Extraction .....	133
3.9.2. Méthodes analytiques générales .....	134
3.9.2.1. Méthodes chimiques .....	134
3.9.2.2. Méthodes physiques .....	136
3.9.3. Séparation et identification .....	136
3.9.4. Lipidomique .....	137
<b>4 - Les huiles essentielles .....</b>	<b>141</b>
4.1. Définition .....	141
4.2. Répartition, localisation .....	141
4.3. Composition et propriétés physico-chimiques .....	142
4.4. Propriétés biologiques et pharmacologiques .....	144
4.5. Modes d'obtention des huiles essentielles .....	147
4.5.1. Huiles essentielles obtenues par entraînement à la vapeur d'eau .....	148
4.5.2. Hydrodistillation .....	148
4.5.3. Huiles essentielles obtenues par expression .....	149
4.5.4. Autres méthodes d'extraction .....	149
4.5.4.1. Extraction par solvant .....	149
4.5.4.2. Extraction par CO <sub>2</sub> à l'état supercritique .....	150
4.6. Facteurs affectant la composition et le rendement des huiles essentielles .....	150
4.7. Génie métabolique .....	152
4.8. Contrôle des huiles essentielles et méthodes d'étude .....	152
<b>5 - Les lignines .....</b>	<b>157</b>
5.1. Généralités .....	157

5.2. Biosynthèse .....	157
5.3. Structure .....	159
5.4. Propriétés .....	159
5.5. Importance économique des lignines .....	161
5.5.1. Industrie papetière .....	162
5.5.1.1. Amélioration des espèces forestières .....	162
5.5.1.2. Travaux de génie génétique .....	163
5.5.1.3. Blanchiment chimique et biologique de la pâte à papier .....	166
5.5.2. Alimentation animale .....	167
5.5.3. Amendement du sol .....	169
5.5.4. Culture des champignons comestibles .....	169
5.5.5. Synthèse de produits chimiques .....	169
5.5.6. Autres utilisations .....	170
5.6. Méthodes d'étude .....	171
5.6.1. Méthodes histochimiques .....	171
5.6.2. Dosage quantitatif .....	171
5.6.2.1. Méthode de Klason .....	171
5.6.2.2. Méthode au bromure d'acétyle .....	172
5.6.3. Détermination structurale .....	172
<b>6 - Les lectines .....</b>	<b>173</b>
6.1. Définition .....	173
6.2. Distribution et localisation .....	173
6.3. Structure .....	174
6.4. Propriétés, rôles physiologiques et toxicité .....	174
6.4.1. Agglutination des érythrocytes .....	174
6.4.2. Effet antinutritionnel et toxique .....	175
6.4.3. Activité entomotoxique .....	176
6.4.4. Action sur la synthèse protéique .....	176
6.4.5. Lymphostimulation .....	176
6.4.6. Interactions plantes/micro-organismes et défense des plantes .....	177
6.5. Purification des lectines et utilisations .....	178
 <b>Partie II - Substances issues des algues</b>	
<b>7 - Les polysaccharides des parois des algues .....</b>	<b>183</b>
7.1. Introduction .....	183
7.2. Alginates .....	183
7.2.1. Structure et propriétés physico-chimiques .....	183
7.2.2. Extraction .....	185
7.3. Agars .....	186
7.3.1. Structure et propriétés physico-chimiques .....	186
7.3.2. Extraction .....	187
7.4. Carraghénanes .....	188
7.4.1. Structure et propriétés physico-chimiques .....	188
7.4.2. Extraction .....	190
<b>8 - Les métabolites des microalgues et des Cyanobactéries .....</b>	<b>193</b>
8.1. Généralités .....	193
8.2. Pigments et colorants .....	194
8.3. Acides gras polyinsaturés .....	198

8.4. Stérols.....	201
8.5. Production de biocarburants.....	202
8.5.1. Avantages de la culture des microalgues.....	202
8.5.2. Modes de production.....	203
8.5.3. Principales voies de production d'énergie à partir de la biomasse microalgale.....	204
8.5.3.1. Méthanisation.....	204
8.5.3.2. Production de biodiesel.....	205
8.5.3.3. Production de bioéthanol.....	209
8.5.4. Défis à relever.....	210
8.6. Production des polysaccharides.....	211
8.7. Isotopes biochimiques stables.....	211
8.8. Toxines des microalgues et des Cyanobactéries.....	212
 <b>Partie III - Substances d'origine animale</b>	
<b>9 - Les produits sanguins.....</b>	<b>221</b>
9.1. Constituants du sang.....	221
9.2. Fonctions du sang.....	221
9.3. Composition du plasma.....	221
9.3.1. Facteurs de la coagulation.....	222
9.3.2. Autres constituants.....	228
9.4. Valorisation des produits sanguins.....	230
9.4.1. Fractionnement du plasma.....	231
9.4.2. Méthodes de purification.....	234
9.4.2.1. Techniques de chromatographie.....	234
9.4.2.2. Précipitation par les polyéthylènes glycols.....	235
9.4.2.3. Ultrafiltration.....	235
9.4.2.4. Avantages et inconvénients.....	235
9.4.3. Production des médicaments d'origine sanguine (MDS) recombinés.....	236
9.4.3.1. Principe.....	236
9.4.3.2. Avantages et inconvénients des MDS recombinés.....	237
9.4.4. Obtention des médicaments dérivés du sang et leur utilisation en thérapeutique.....	238
9.5. L'hémoglobine en biochimie médicale.....	242
9.5.1. Hémoglobine glyquée.....	243
9.5.2. Méthodes de dosage de l'hémoglobine glyquée.....	245
<b>10 - Les produits laitiers.....</b>	<b>249</b>
10.1. Introduction.....	249
10.2. Obtention et traitement du lactosérum.....	249
10.3. Fractionnement et utilisation du lactosérum.....	250
10.4. Protéines du lait.....	251
10.4.1. Protéines non-solubles.....	251
10.4.1.1. Phosphocaséinate de calcium.....	252
10.4.1.2. $\beta$ -caséine.....	252
10.4.1.3. $\kappa$ -caséine.....	253
10.4.1.4. Caséine acide.....	253
10.4.1.5. Caséinates.....	253
10.4.1.6. Caséine lactique.....	253
10.4.1.7. Caséine présure.....	253

10.4.2. Protéines solubles .....	254
10.4.2.1. $\beta$ -lactoglobuline ( $\beta$ -Lg).....	255
10.4.2.2. Immunoglobulines (Ig).....	255
10.4.2.3. $\alpha$ -lactalbumine ( $\alpha$ -La) .....	255
10.4.2.4. Albumine sérique.....	256
10.4.2.5. Lactoferrine (Lf).....	256
10.4.2.6. Lipoprotéine.....	257
10.4.2.7. Lysozyme .....	257
10.4.3. Produits commerciaux à base de protéines du lactosérum .....	258
10.5. Lactose .....	259
<b>11 - Les ovoproduits .....</b>	<b>261</b>
11.1. Généralités.....	261
11.2. Structure et composition des œufs .....	262
11.2.1. Œufs entiers .....	262
11.2.2. Composition du blanc d'œuf .....	262
11.2.3. Composition du jaune d'œuf .....	264
11.3. Valeur nutritionnelle de l'œuf .....	266
11.3.1. Valeur biologique des protéines .....	266
11.3.2. Digestibilité des lipides .....	267
11.3.3. Minéraux et vitamines .....	267
11.4. Propriétés fonctionnelles.....	267
11.4.1. Propriétés aromatiques et colorantes .....	267
11.4.2. Coagulation et gélification .....	268
11.4.3. Propriétés émulsifiantes.....	269
11.4.4. Propriétés moussantes .....	269
11.4.5. Autres propriétés fonctionnelles .....	269
11.5. Utilisations.....	269
11.5.1. Utilisation des ovoproduits comme ingrédients alimentaires .....	270
11.5.2. Molécules bioactives d'intérêt technologique et pharmaceutique .....	270
11.5.2.1. Séparation et fractionnement .....	270
11.5.2.2. Extraits du blanc d'œuf.....	271
11.5.2.3. Extraits du jaune d'œuf.....	273
<b>12 - La gélatine .....</b>	<b>275</b>
12.1. Introduction .....	275
12.2. Matières premières utilisées pour la production de la gélatine .....	277
12.3. Procédés de production .....	278
12.3.1. Traitements préliminaires.....	278
12.3.2. Hydrolyse .....	280
12.3.2.1. Hydrolyse alcaline.....	280
12.3.2.2. Hydrolyse acide.....	281
12.3.2.3. Hydrolyse enzymatique.....	282
12.4. Nature protéique de la gélatine .....	283
12.5. Propriétés physico-chimiques.....	283
12.5.1. Solubilité .....	284
12.5.2. Propriétés amphotères.....	284
12.5.3. Viscosité.....	285
12.5.4. Force du gel .....	285
12.5.5. Dérivés chimiques .....	286

12.5.6. Action protectrice .....	286
12.5.7. Coacervation .....	287
12.5.8. Couleur.....	287
12.5.9. Turbidité.....	287
12.5.10. Cendres .....	287
12.6. Propriétés fonctionnelles .....	287
12.6.1. Gélification .....	288
12.6.2. Emulsification et formation de mousse .....	288
12.6.3. Pouvoir filmogène .....	288
12.7. Statut réglementaire et sécurité alimentaire .....	289
12.8. Avenir de la gélatine .....	296
12.9. Conclusion .....	297
 <b>Partie IV - Substances d'origine microbienne</b>	
<b>13 - Les protéines d'organismes unicellulaires (POU) .....</b>	<b>301</b>
13.1. Introduction .....	301
13.2. Micro-organismes producteurs .....	302
13.2.1. Levures .....	303
13.2.2. Champignons filamenteux .....	303
13.2.3. Bactéries .....	304
13.2.4. Cyanobactéries .....	305
13.3. Substrats de culture .....	305
13.4. Extraction et traitement des protéines.....	306
<b>14 - Les antibiotiques.....</b>	<b>309</b>
14.1. Définition.....	309
14.2. Classes d'antibiotiques.....	309
14.3. Micro-organismes producteurs .....	310
14.4. Production .....	311
14.4.1. Extraction et purification .....	312
14.4.1.1. Séparation solide-liquide .....	312
14.4.1.2. Extraction à partir du milieu liquide.....	312
14.4.1.3. Purification .....	313
14.4.2. Biotransformations .....	313
14.5. Applications.....	314
14.5.1. Biochimie et biologie moléculaire .....	314
14.5.2. Médecine .....	317
14.5.3. Agro-alimentaire .....	318
<b>15 - Les polymères microbiens .....</b>	<b>321</b>
15.1. Introduction .....	321
15.2. Homopolysaccharides .....	323
15.2.1. $\beta$ -D-glucanes .....	323
15.2.1.1. Cellulose .....	323
15.2.1.2. Curdlane.....	326
15.2.2. $\alpha$ -D-glucanes.....	327
15.2.2.1. Pullulane.....	327
15.2.2.2. Dextrane .....	330
15.3. Hétéropolysaccharides.....	334
15.3.1. Xanthane .....	334



15.3.1.1. Structure et composition chimique .....	334
15.3.1.2. Production. ....	335
15.3.1.3. Propriétés physico-chimiques .....	336
15.3.2. Gellane et polymères apparentés .....	339
15.3.2.1. Structure et composition chimique .....	339
15.3.2.2. Propriétés physico-chimiques .....	339
15.3.2.3. Production .....	340
15.4. Polyesters bactériens .....	341
15.4.1. Introduction .....	341
15.4.2. Historique des polyhydroxyalcanoates .....	341
15.4.3. Structure et composition chimique .....	342
15.4.4. Biosynthèse des PHA. ....	343
15.4.5. Production .....	345
15.4.5.1. Substrats pour la production des PHA. ....	346
15.4.5.2. Extraction et purification. ....	346
15.4.5.3. Propriétés physico-chimiques .....	347
15.5. Conclusion .....	352

## *Partie V - Enzymologie appliquée*

<b>16 - Les enzymes en industrie et en médecine</b> .....	<b>355</b>
16.1. Généralités .....	355
16.2. Obtention des enzymes .....	358
16.3. Applications et perspectives .....	359
16.3.1. Synthèse organique. ....	359
16.3.1.1. Résolution de mélanges racémiques et synthèse d'énantiomères .....	361
16.3.1.2. Synthèse de l'acrylamide .....	361
16.3.1.3. Synthèse des composés responsables du goût et des arômes. ....	362
16.3.1.4. Synthèse des exhausteurs de goût. ....	364
16.3.1.5. Synthèse enzymatique des acides organiques et des acides aminés. ....	364
16.3.1.6. Édulcorants .....	367
16.3.2. Transformation des produits agro-alimentaires .....	368
16.3.2.1. Utilisation des enzymes dans l'industrie laitière .....	370
16.3.2.2. Réduction de l'acrylamide dans les aliments préparés. ....	375
16.3.3. Panification et biscuiterie .....	376
16.3.4. Préparation des sucres alimentaires .....	377
16.3.4.1. Glucoserie .....	377
16.3.4.2. Raffinage et transformation du saccharose .....	380
16.3.5. Préparation des boissons .....	381
16.3.5.1. Jus de fruits .....	381
16.3.5.2. Brasserie. ....	383
16.3.6. Enzymes en lipochimie et détergence .....	383
16.3.6.1. Lipochimie. ....	383
16.3.6.2. Détergence. ....	387
16.3.7. Utilisation des enzymes en industrie du papier. ....	388
16.3.7.1. Peroxydases. ....	389
16.3.7.2. Laccases .....	389
16.3.7.3. Xylanases .....	389
16.3.7.4. Lipases .....	390
16.3.8. Utilisation des enzymes en alimentation animale .....	390

16.3.9. Valorisation des sous-produits agro-alimentaires .....	392
16.3.9.1. Cellulose .....	392
16.3.9.2. Production de biocarburants .....	393
16.3.10. Traitement de la viande et du poisson .....	397
16.3.11. Industrie du textile et du cuir .....	398
16.3.12. Produits cosmétiques et parfums .....	399
16.3.13. Applications médicales .....	400
16.3.14. Les enzymes comme outils analytiques .....	403
16.3.15. Isolement des protoplastes .....	405
16.3.16. Dépollution et traitement des eaux usées .....	406
16.3.17. Enzymes et réglementation .....	407
<b>17 - Les enzymes immobilisées et leurs intérêts .....</b>	<b>411</b>
17.1. Procédés d'immobilisation des enzymes .....	411
17.2. Avantages des enzymes immobilisées .....	414
17.3. Réacteurs enzymatiques .....	415
17.3.1. Réacteur à acides aminés .....	415
17.3.2. Réacteur à lactose .....	416
17.4. Biocapteurs enzymatiques .....	416
17.4.1. Définition .....	417
17.4.2. Biorécepteurs .....	418
17.4.3. Transducteurs .....	419
17.4.3.1. Transducteurs électrochimiques .....	419
17.4.3.2. Transducteurs thermiques ou calorimétriques .....	419
17.4.3.3. Transducteurs optiques .....	420
17.4.4. Caractéristiques des biocapteurs .....	420
17.4.5. Immobilisation de l'enzyme .....	420
17.4.6. Domaines d'application des biocapteurs enzymatiques .....	421
17.4.6.1. Domaine de la santé .....	421
17.4.6.2. Industrie agro-alimentaire .....	421
17.4.6.3. Environnement .....	422
<b>18 - Les extrémozymes .....</b>	<b>423</b>
18.1. Introduction .....	423
18.2. Organismes thermophiles et hyper-thermophiles .....	425
18.3. Organismes psychrophiles .....	426
18.4. Organismes piézophiles .....	427
18.5. Organismes halophiles .....	428
18.6. Organismes acidophiles/alcalinophiles .....	429
18.7. Organismes radiophiles .....	430
18.8. Organismes metallophiles .....	431
18.9. Organismes xerophiles .....	432
18.10. Organismes oligophiles .....	432
18.11. Production des enzymes extrêmophiles .....	432
<b>Partie VI - Cultures cellulaires</b>	
<b>19 - Les cellules végétales et les cellules animales .....</b>	<b>437</b>
19.1. Définition, généralités .....	437
19.2. Cultures de cellules végétales .....	437
19.2.1. Généralités .....	437

19.2.2. Conduite d'une culture de tissus végétaux.....	438
19.3. Cultures de cellules animales.....	440
19.3.1. Conduite d'une culture de cellules animales.....	440
19.3.1.1. Milieux de culture.....	440
19.3.1.2. Conditions de culture.....	445
19.3.2. Systèmes de culture cellulaire industrielle.....	446
19.3.3. Immortalisation des cellules.....	447
19.4. Amélioration de la production de métabolites secondaires chez les plantes.....	448
19.4.1. Criblage et sélection de lignées cellulaires hautement productrices.....	448
19.4.2. Optimisation de la croissance.....	448
19.4.3. Utilisation de précurseurs.....	449
19.4.4. Élicitation.....	449
19.4.5. Immobilisation de cellules.....	450
19.4.6. Perméabilisation des membranes.....	451
19.4.7. Stress osmotique.....	451
19.4.8. Génie métabolique.....	451
19.5. Applications et perspectives.....	452
19.5.1. Biologie cellulaire et biochimie.....	452
19.5.2. Criblage pharmaceutique.....	452
19.5.3. Production de molécules pharmaceutiques.....	453
19.5.3.1. Cellules animales.....	453
19.5.3.2. Cellules végétales.....	457
19.5.4. Biotransformations.....	460
Bibliographie sommaire.....	465
Ouvrages généraux.....	465
Chapitre 1 - Glucides.....	466
Chapitre 2 - Protides.....	466
Chapitre 3 - Lipides.....	466
Chapitre 4 - Huiles essentielles.....	467
Chapitre 5 - Lignines.....	467
Chapitre 6 - Lectines.....	467
Chapitres 7 et 8 - Substances issues des algues.....	467
Chapitre 9 - Produits sanguins.....	468
Chapitre 10 - Produits laitiers.....	468
Chapitre 11 - Ovoproduits.....	468
Chapitre 12 - Gélatine.....	469
Chapitres 13 et 14 - Substances d'origine microbienne.....	469
Chapitre 15 - Polymères microbiens.....	469
Chapitres 16 et 17 - Enzymologie appliquée.....	469
Chapitre 18 - Extrémozymes.....	470
Chapitre 19 - Cultures cellulaires.....	470
Glossaire.....	473
Index.....	555
Table des matières.....	569