



C O L L E C T I O N
DIRIGÉE PAR JEAN BORNAREL

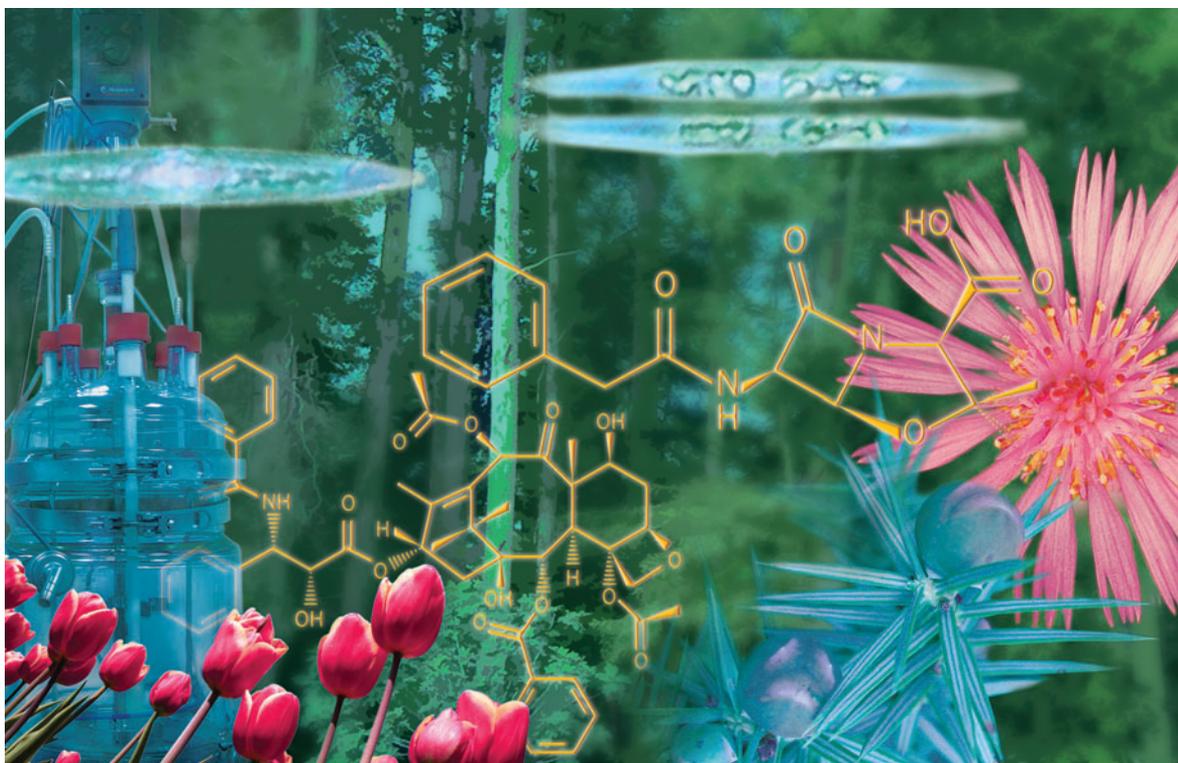
G R E N O B L E

S C I E N C E S

ABRÉGÉ DE BIOCHIMIE APPLIQUÉE

Nouvelle édition

■ **Abderrazak MAROUF et Gérard TREMBLIN**



ABRÉGÉ DE BIOCHIMIE APPLIQUÉE

Nouvelle édition

Grenoble Sciences

Grenoble Sciences est un centre de conseil, expertise et labellisation de l'enseignement supérieur français. Il expertise les projets scientifiques des auteurs dans une démarche à plusieurs niveaux (référés anonymes, comité de lecture interactif) qui permet la labellisation des meilleurs projets après leur optimisation. Les ouvrages labellisés dans une collection de Grenoble Sciences ou portant la mention *Sélectionné par Grenoble Sciences (Selected by Grenoble Sciences)* correspondent à :

- ▶ des projets clairement définis sans contrainte de mode ou de programme,
- ▶ des qualités scientifiques et pédagogiques certifiées par le mode de sélection (référés anonymes puis comité de lecture interactif dont les membres sont cités au début de l'ouvrage,
- ▶ une qualité de réalisation assurée par le centre technique de Grenoble Sciences.

Directeur scientifique de Grenoble Sciences

Jean BORNAREL, professeur émérite à l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1

Pour mieux connaître Grenoble Sciences :
<https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr>

Pour contacter Grenoble Sciences :
Tél : (33) 4 76 51 46 95, e-mail : grenoble.sciences@ujf-grenoble.fr

Livres et pap-ebooks

Grenoble Sciences labellise des livres papier (en langue française et en langue anglaise) mais également des ouvrages utilisant d'autres supports. Dans ce contexte, situons le concept de **pap-ebook**. Celui-ci se compose de deux éléments :

- un **livre papier** qui demeure l'objet central avec toutes les qualités que l'on connaît au livre papier,
- un **site web compagnon** qui propose :
 - › des éléments permettant de combler les lacunes du lecteur qui ne posséderait pas les prérequis nécessaires à une utilisation optimale de l'ouvrage,
 - › des exercices pour s'entraîner,
 - › des compléments pour approfondir un thème, trouver des liens sur internet...

Le livre du pap-ebook est autosuffisant et certains lecteurs n'utiliseront pas le site web compagnon. D'autres l'utiliseront et ce, chacun à sa manière. Un livre qui fait partie d'un pap-ebook porte en première de couverture un logo caractéristique et le lecteur trouvera le site compagnon du présent livre à l'adresse internet suivante :

<https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr/pap-ebooks/abrege-marouf-tremblin>

Grenoble Sciences bénéficie du soutien du **Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche** et de la **Région Rhône-Alpes**.
Grenoble Sciences est rattaché à l'**Université Joseph Fourier de Grenoble**.

ISBN 978-2-7598-1776-5

© EDP Sciences, 2015

ABRÉGÉ DE BIOCHIMIE APPLIQUÉE

Nouvelle édition

Abderrazak MAROUF
Gérard TREMBLIN



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

Abrégé de biochimie appliquée - nouvelle édition

Cet ouvrage, labellisé par Grenoble Sciences, est un des titres du secteur Sciences de la Vie de la Collection Grenoble Sciences d'EDP Sciences, qui regroupe des projets originaux et de qualité. Cette collection est dirigée par Jean BORNAREL, professeur émérite à l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1.

Comité de lecture :

- Antoine DELON, Professeur à l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1
- Guy HERVÉ, Directeur de recherche émérite au CNRS, Paris
- Françoise MOREL, Professeur à la faculté de médecine de l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1
- Philippe NORMAND, Directeur de recherche au CNRS, Lyon
- Jean PELMONT, Professeur honoraire à l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1
- Paulette VIGNAIS, Directeur de recherche honoraire au CNRS, Grenoble

Cet ouvrage a été suivi par Laura CAPOLO pour la partie scientifique et par Sylvie BORDAGE & Anne-Laure PASSAVANT du centre technique Grenoble Sciences pour sa réalisation pratique (figures et mise en page de la 1^{re} édition : Ariane MANDRAY et Valérie SZCZUPAL). L'illustration de couverture est l'œuvre d'Alice GIRAUD, d'après des éléments fournis par les auteurs.

Autres ouvrages labellisés sur des thèmes proches (chez le même éditeur)

Glossaire de biochimie environnementale (*J. Pelmont*) • Mémento technique, à l'usage des biologistes et des biochimistes (*A. Marouf & G. Tremblin*) • Biosphère et chimie (*R. Luft*) • Bactéries et environnement (*J. Pelmont*) • Respiration et photosynthèse (*C. Lance*) • Biodégradations et métabolismes (*J. Pelmont*) • Science expérimentale et connaissance du vivant (*P. Vignais*) • Histoire de la science des protéines (*J. Yon-Kahn*) • La biologie des origines à nos jours (*P. Vignais*) • Cinétique enzymatique (*A. Cornish-Bowden, M. Jamin & V. Saks*) • Enzymes (*J. Pelmont*) • Enzymologie moléculaire et cellulaire, tomes 1 et 2 (*J. Yon-Kahn & G. Hervé*) • Éléments de biologie à l'usage d'autres disciplines (*P. Tracqui & J. Demongeot*) • Rencontre de la science et de l'art (*J. Yon-Kahn*) • Chimie, le minimum à savoir (*J. Le Coarer*) • De l'atome à la réaction chimique (*R. Barlet et al.*) • Chimie organométallique et catalyse (*D. Astruc*) • Méthodes et techniques de la chimie organique (*D. Astruc, en collaboration avec l'Institut Universitaire de France*) • Electrochimie, concepts fondamentaux illustrés (*C. Lefrou, P. Fabry & J.-C. Poignet*) • Electrochimie des solides. Exercices corrigés avec rappel de cours (*A. Hammou & S. Georges*) • Electrochimie des solides (*C. Déportes et al.*) • Thermodynamique chimique (*M. Ali Oturan & M. Robert*) • Radiopharmaceutiques (*sous la direction de M. Comet & M. Vidal*) • Chemogénomique (*sous la direction de E. Maréchal, S. Roy & L. Lafanechère*) • Bioénergétique (*B. Guerin*) • Energie et environnement, les risques et les enjeux d'une crise annoncée (*B. Durand*) • L'énergie de demain (*Groupe Energie de la Société Française de Physique, sous la direction de J.-L. Bobin, E. Huffer & H. Nifenecker*) • Physique et biologie (*B. Jacrot*) • L'air et l'eau. Alizés, cyclones, Gulf Stream, tsunamis et tant d'autres curiosités naturelles (*R. Moreau*) • La plongée sous-marine (*P. Foster*) • Minimum Competence in Scientific English (*J. Upjohn et al.*)

Et d'autres titres sur le site internet :
<https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr>

PRÉFACE DE LA PREMIÈRE ÉDITION

Une biochimie appliquée a existé sur un mode empirique depuis la nuit des temps, car il s'agissait de conserver des ressources alimentaires sous forme fermentée, ou encore de tirer de la nature des substances jugées utiles : médicaments, drogues diverses, fibres et matières colorantes. Dans un passé plus récent, la nécessité d'améliorer les procédés et leurs applications n'a fait que stimuler le développement de la chimie biologique moderne. Il est intéressant par exemple de constater que les premières connaissances sur le métabolisme cellulaire ont profité des efforts pour mieux connaître la fermentation de la levure au cours de la fabrication de la bière.

Il s'est établi en moins de deux siècles un immense va-et-vient entre les analyses à caractère fondamental et les recherches appliquées, les unes profitant des autres. Les connaissances sur le fonctionnement des êtres vivants se sont accrues à un rythme exponentiel. Elles ont tiré profit du perfectionnement des méthodes d'extraction, d'analyse et de purification des produits naturels, jusqu'à l'explosion actuelle de la biologie moléculaire et de la génomique. On assiste parallèlement à une vaste diversification des procédés qui concerne l'agriculture, la médecine, la science des matériaux et de façon générale tous les secteurs d'activité intéressés par les ressources du monde vivant. Les avancées des connaissances en biochimie fondamentale ont inspiré la découverte de nouveaux procédés dont beaucoup participent à l'essor économique. Inversement les laboratoires bénéficient souvent des subsides de l'industrie. À cela s'ajoute l'apport essentiel des méthodes physiques et d'une instrumentation perfectionnée : cristallographie, résonance magnétique nucléaire et spectroscopies variées pour n'en évoquer que quelques-unes.

L'ouvrage de MM. Marouf et Tremblin offre un panorama à la fois vaste et détaillé sur plusieurs grands secteurs de la biochimie appliquée. L'expérience des auteurs dans le domaine scientifique et ses applications leur a permis de rassembler de très nombreux exemples de procédés, dont certains ont une importance capitale dans l'industrie ou dans le secteur biomédical. L'objectif était vaste et a nécessité un travail considérable. On trouvera ici une grande quantité de points de repère, et pourquoi pas, des idées de travail. Il intéressera étudiants, chercheurs, techniciens et ingénieurs dans divers secteurs de recherche où les acteurs sont de plus en plus spécialisés et ont parfois du mal à se projeter au-dehors de leur sphère étroite. J'ai eu plaisir à m'instruire en parcourant cet ouvrage, il en sera sans doute de même pour tous les lecteurs intéressés par le secteur appliqué, et je ne peux que conseiller de le découvrir.

Jean PELMONT

Vj k'ŕ ci g'kpvkpcmf 'gh'drcpm

AVANT-PROPOS

Ce livre de biochimie appliquée est une réédition revue et augmentée du précédent ouvrage paru en 2009, mais cette fois il est associé à un site WEB dédié. Comme le précédent, il doit :

- ▷ permettre au lecteur d'acquérir les connaissances les plus récentes sur les substances et les molécules naturelles exploitées par l'homme ;
- ▷ faire le lien entre la biochimie des substances naturelles et leurs applications dans des domaines variés comme l'agriculture, l'environnement, la production d'énergie, l'alimentation animale et humaine, la santé et de nombreux autres domaines plus proches du monde industriel (papeterie, cosmétique, agro-alimentaire, pharmacie, chimie...).

L'ouvrage est maintenant divisé en 6 parties et en 19 chapitres. Trois nouveaux chapitres ont été ajoutés : le premier, portant sur la gélatine (chap. 12), complète la partie III sur les substances d'origine animale, le deuxième, sur les polymères microbiens (chap. 15), abonde la partie IV sur la biochimie des substances d'origine microbienne et le troisième, sur les extrêmozymes (chap. 18), enrichit la partie V sur les applications de l'enzymologie. Le chapitre 8, sur les métabolites des microalgues et des cyanobactéries, a été complètement revu et mis à jour. D'autres données récentes ont été ajoutées ou actualisées, comme la glycomique dans le chapitre 1, la séparation et l'identification des lipides dans le chapitre 3, l'hémoglobine en biochimie médicale dans le chapitre 9 et les cultures de cellules animales dans le chapitre 19.

- ▶ Plus globalement, la première partie est consacrée aux substances issues du règne végétal (plantes terrestres). En effet, les plantes fournissent un nombre considérable de molécules comme les glucides, les protides, les corps gras, les pigments, les arômes et une grande partie des substances actives des médicaments. Celles-ci sont de nature à intéresser toutes sortes d'activités industrielles, pharmaceutique, agro-alimentaire, cosmétique... La pharmacopée traditionnelle a toujours exploité les « vertus » des plantes médicinales, sans toujours en connaître les principes actifs. La plupart de ces biomolécules sont maintenant bien identifiées et, par synthèse chimique, on est arrivé à en faire des « copies », souvent améliorées. Aujourd'hui, les substances naturelles sont privilégiées dans l'optique d'une utilisation raisonnée et durable des produits de la biosphère. Si les trois premiers chapitres traitent classiquement des glucides, des protides et des lipides végétaux, dans les trois chapitres suivants une attention particulière est portée aux huiles essentielles, à la lignine et aux lectines dont les applications sont de plus en plus nombreuses.
- ▶ La deuxième partie, divisée en deux chapitres traite, d'une part, des polysaccharides des parois des algues et de leurs applications, dominées par le secteur de l'alimentation

et de la santé, et d'autre part, des métabolites issus des microalgues et des cyanobactéries. Les potentialités d'utilisation des végétaux ou des biomolécules qui en sont extraites, purifiées et/ou modifiées par voie enzymatique et chimique, les font « sortir » du domaine agro-alimentaire vers d'autres nouveaux secteurs industriels comme la production de biocarburants. Les méthodes d'étude (procédés d'extraction, techniques de purification, de séparation et de dosage) sont également présentées.

- ▶ La valorisation des substances d'origine animale est passée en revue dans la troisième partie. Il s'agit notamment des dérivés sanguins, des sous-produits de l'industrie du lait et du fromage (lactosérum), des ovoproduits.
- ▶ Les produits issus des micro-organismes, représentés principalement par les protéines, les antibiotiques sont abordés dans la quatrième partie.
- ▶ L'utilisation des enzymes, secteur en plein essor, fait l'objet de la partie suivante. En raison de leurs rôles et de leurs applications technologiques bien caractérisées, les enzymes font l'objet d'études intensives et leurs modalités d'action sont de mieux en mieux connues. Par ailleurs, l'obtention de produits de qualité optimale suppose une bonne maîtrise de l'action de ces enzymes par la connaissance, non seulement de leur fonctionnement, mais aussi de l'influence de certains effecteurs physico-chimiques comme les conditions d'utilisation (température, pH, présence d'interférants...). Des procédés industriels basés totalement ou partiellement sur les enzymes ont été mis au point. Les enzymes sont devenues, de ce fait, des auxiliaires technologiques incontournables. Les répercussions sur les plans économique et environnemental ne sont plus à démontrer. Le génie génétique, le génie enzymatique, le génie métabolique aidant, il est actuellement possible de produire des souches de micro-organismes fabriquant des enzymes capables d'opérer dans les conditions très spécifiques de l'environnement industriel et/ou de synthétiser des métabolites originaux. Dans cette cinquième partie les enzymes immobilisées, leurs différentes applications dans la transformation des matériaux biologiques et leur utilisation de plus en plus fréquente en bio-analyse sont présentées. Les récents progrès dans le domaine des capteurs enzymatiques sont aussi passés en revue de même que leurs utilisations actuelles.
- ▶ Enfin, en raison de leur exploitation récente dans l'industrie et des perspectives économiques importantes, actuelles et à venir, les cultures de cellules végétales et animales, leurs contraintes et leurs applications sont présentées dans la dernière partie.
- ▶ Etant donné les développements très rapides et les innovations techniques continues dans le domaine de la biochimie appliquée, les références bibliographiques deviennent rapidement obsolètes. Nous avons d'abord essayé, dans la mesure du possible, d'intégrer les références les plus actuelles et les plus accessibles pour les étudiants, les lecteurs souhaitant trouver plus d'informations pourront consulter une webographie sur le site dédié.
- ▶ Le glossaire reprenant les définitions des principaux termes et concepts faisant l'objet du livre, largement abondé, reste placé à la fin de l'ouvrage papier pour en faciliter la consultation ; comme précédemment les termes en gras présent dans l'ouvrage sont définis dans ce glossaire.
- ▶ Un index des termes utilisés et des espèces citées dans le texte complète le livre.

Cet ouvrage, caractérisé par un traitement plus conséquent des métabolites du règne végétal, se démarque de la majorité des ouvrages de biochimie disponibles actuellement où très souvent le végétal est un peu le laissé pour compte, avec parfois un petit chapitre sur la photosynthèse et la biochimie spécifique du chloroplaste en négligeant le métabolisme secondaire (très important dans le règne végétal). Pour beaucoup, la biochimie est essentiellement animale, voire humaine, et cet ouvrage devrait leur ouvrir de nouveaux horizons. Ainsi, c'est volontairement que nous mettons en avant la biochimie du végétal et les nombreuses substances qui en sont extraites, pour certaines produites et, dans tous les cas, abondamment et depuis longtemps utilisées par l'homme.

Ce travail vient en complément de la biochimie fondamentale traitée dans d'autres ouvrages de la même collection et s'adresse principalement aux étudiants des cursus scientifiques (sciences de la nature et du vivant, écoles d'ingénieurs...), aux étudiants des licences et masters de biologie, de biochimie, de biotechnologie, aux étudiants des IUT et des BTS à orientation biologique et biochimique, aux étudiants des nombreuses et nouvelles licences professionnelles dont une partie de la formation porte sur les applications de la biologie et de la biochimie, enfin aux cadres et aux chercheurs des industries agro-alimentaires et des sciences pharmaceutiques.

La formation de ces lecteurs potentiels étant très disparate, nous avons volontairement placé au début de chaque chapitre quelques rappels des données générales de biochimie structurale et/ou métabolique indispensables pour comprendre la suite du document (évitant ainsi au lecteur le recours à un autre ouvrage plus général de biochimie). Toutefois quelques notions de base en biochimie structurale et métabolique sont malgré tout nécessaires, voire indispensables, pour aborder, sans peine, certaines parties de cet ouvrage. Par contre, certains sujets traités sont souvent difficiles d'accès, particulièrement en langue française. De ce fait, nous espérons que cet ouvrage comblera le manque dans ce domaine.

MODE D'EMPLOI

Le présent livre est un abrégé. Il est conçu pour diverses utilisations par le lecteur.

C'est un ouvrage qu'il faut cette fois consulter en ayant à sa disposition, soit un ordinateur, soit une tablette, voire même un smartphone, connecté à Internet.

En effet, les **encarts** sont maintenant sur le site WEB dédié, mais des renvois sont placés dans le texte pour signaler l'existence de ces compléments d'information. Plusieurs nouveaux encarts correspondant aux différents chapitres ont été placés sur le site dédié : les tanins, l'huile d'olive, une huile aux multiples vertus, l'huile d'argan, les oméga 3, la biotechnologie des microalgues et son développement, les principales caractéristiques des grands groupes taxonomiques de microalgues et de Cyanobactéries, une hémoglobine extraite de vers marins, le sang artificiel, les anticoagulants du futur, le lait maternel, les exopolysaccharides des bactéries lactiques, l'histoire de la gélatine, l'histoire des enzymes, les parfums, les compléments alimentaires. Les encarts précédemment présents dans l'ouvrage ont été transférés sur le site après mise à jour lorsque cela a été nécessaire.

Il s'agit de : le pouvoir sucrant, les interdépendances métaboliques dans le diabète, les fibres alimentaires, la maladie cœliaque, la réaction de Maillard, *Agrobacterium*, la stratégie de l'ARN antisens, le marquage radioactif en biochimie, la discrimination isotopique, l'intolérance au lactose, la résistance aux antibiotiques, les puces à ADN.

Le **lexique français-anglais** est lui aussi en ligne ainsi que les **annexes** portant sur les codes EC des enzymes et les additifs alimentaires cités dans le texte ainsi que sur les principaux groupes caractéristiques rencontrés dans les molécules organiques.

Enfin, la **section d'autoévaluation** pour chacun des chapitres est proposée de façon plus ludique au niveau du site WEB. Un accès aux réponses des questions à réponses ouvertes courtes (QROC) est proposé sous forme de mots ou de phrase clefs et les réponses au QCM sont elles aussi fournies. Elle est destinée à aider les étudiants à contrôler l'acquisition de leurs connaissances afin de mieux préparer leurs évaluations.

Comme dans la précédente édition, une lecture au fil du texte permettra d'acquérir une vision générale de la biochimie appliquée. Des rappels de biochimie structurale ou métabolique au début de chaque chapitre définissent les prérequis.

Un certain nombre d'éléments sont disponibles en appui pour le lecteur : liste d'abréviations, de symboles et acronymes ; glossaire de définition des principaux termes et concepts ; index de mots et d'espèces ; compléments d'information et annexes supplémentaires sur le site web.

Les outils précédents sont proposés pour une consultation ultérieure de l'ouvrage, ponctuelle ou plus structurée. Par exemple, un lecteur concerné par une technique et/ou une application trouvera dans l'*Abrégé* une première série d'informations qu'il pourra compléter lors de recherches plus poussées dans les ouvrages cités dans la bibliographie ou dans d'autres ouvrages. Si son étude ultérieure utilise le web, la webographie fournie et le lexique anglais-français lui feront gagner un temps précieux.

De nombreux appareils ou instruments couramment utilisés dans les laboratoires sont cités dans cet ouvrage ; il est possible à chaque fois de trouver un complément d'information dans le précédent ouvrage des mêmes auteurs, dans la même collection, *Mémento technique à l'usage des biologistes et des biochimistes*.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement les membres du comité d'édition qui, par leurs remarques et leur conseils, ont permis d'améliorer cette réédition et tout particulièrement M. Guy Hervé qui a revu l'ensemble avec beaucoup d'attention. C'est ensuite avec plaisir qu'ils remercient ici Monsieur Jean Bornarel, qui leur a proposé de rééditer cet ouvrage, et ses proches collaboratrices avec lesquelles ils ont toujours eu d'excellents contacts par mail ou par téléphone et dont l'efficacité et les compétences ne sont plus à prouver : Madame Laura Capolo et Mesdames Julie Ridard et Valérie Szczupal (pour la première édition) et Sylvie Bordage (pour cette nouvelle édition) ainsi que Anne-Laure Passavant pour l'élaboration du site web dédié.

Aderrazak Marouf remercie particulièrement Boucherit Kebir, professeur de biochimie au Centre Universitaire d'Ain Temouchent et Abdelkrim Cheriti, professeur de chimie à l'Université de Béchar, pour la relecture de certaines parties de l'ouvrage, ainsi que tous ses collègues biologistes et chimistes de l'Université d'Oran qui ont apporté leur grain de sel à ce travail par leurs critiques ou leurs suggestions. Il tient, enfin, à remercier son épouse dont la patience a été déjà mise à dure épreuve durant l'élaboration de la première édition et qui, loin de fléchir, a su aussi l'encourager et l'aider, par ses sacrifices incessants, tout au long des péripéties de cette deuxième édition.

Gérard Tremblin tient à remercier l'ensemble de ses collègues de l'équipe MMS (Mer, Molécules, Santé) qui, en continuant à l'accueillir en tant que professeur émérite dans les locaux de l'Université du Maine, lui permettent de poursuivre, entre autres, son activité de rédacteur d'ouvrages scientifiques. Un remerciement tout particulier au professeur Annick Morant-Manceau qui l'accueille dans son bureau et dans lequel il essaie de se faire tout petit et discret (ce qui n'est pas toujours facile). Il tient aussi à remercier son collègue, le professeur et coauteur Aderrazak Marouf qui lui a proposé, il y a une dizaine d'année, de collaborer à cet ouvrage, lui ouvrant ainsi des perspectives d'activités de fin de carrière qu'il n'avait pas envisagées. Cette collaboration a été fructueuse car, en dehors de cette réédition, un ouvrage commun est paru en 2013, *Mémento technique à l'usage des biologistes et des biochimistes*, et un autre est en préparation. Il tient enfin à remercier son épouse et ses cinq garçons à qui il dédie ce travail bien qu'aucun ne se soit intéressé à la Biologie et à la Biochimie et qui, de ce fait, ne liront pas cet ouvrage.

Les auteurs

Aderrazak Marouf - Gérard Tremblin

Vj k'ŕ ci g'kpvkpcmf 'hgv'drcpm

SOMMAIRE

<i>Abréviations, symboles et acronymes</i>	1
<i>PARTIE I - SUBSTANCES D'ORIGINE VÉGÉTALE</i>	PAGES
1 - Les glucides	9
2 - Les protides	55
3 - Les lipides	87
4 - Les huiles essentielles	141
5 - Les lignines	157
6 - Les lectines	173
<i>PARTIE II - SUBSTANCES ISSUES DES ALGUES</i>	PAGES
7 - Les polysaccharides des parois des algues	183
8 - Les métabolites des microalgues et des Cyanobactéries	193
<i>PARTIE III - SUBSTANCES D'ORIGINE ANIMALE</i>	PAGES
9 - Les produits sanguins	221
10 - Les produits laitiers	249
11 - Les ovoproduits	261
12 - La gélatine	275
<i>PARTIE IV - SUBSTANCES D'ORIGINE MICROBIENNE</i>	PAGES
13 - Les protéines d'organismes unicellulaires	301
14 - Les antibiotiques	309
15 - Les polymères microbiens	321
<i>PARTIE V - ENZYMOLOGIE APPLIQUÉE</i>	PAGES
16 - Les enzymes en industrie et en médecine	355
17 - Les enzymes immobilisées et leurs intérêts	411
18 - Les extrêmozymes	423
<i>PARTIE VI - CULTURES CELLULAIRES</i>	PAGES
19 - Les cellules végétales et les cellules animales	437
<i>Bibliographie sommaire</i>	465
<i>Glossaire</i>	473
<i>Index</i>	555

Vj k'ŕ ci g'k'pvgpvk'pcnŕ 'hgh'dnɛ pm

ABRÉVIATIONS, SYMBOLES ET ACRONYMES

aa	acide aminé
ACCase	acétylcoenzyme A carboxylase
ADN	acide désoxyribonucléique
ADP	adénosine diphosphate
AFNOR	Association Française de NORmalisation
AFSSA	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
AG	acide gras
AGE	acide gras essentiel
AGPI	acide gras polyinsaturé
AMP	adénosine monophosphate
AMPc	adénosine monophosphate cyclique
AOAC	Association des chimistes analystes officiels (<i>Association of Official Analytical Chemists</i>)
APCI	ionisation chimique à pression atmosphérique (<i>Atmospheric Pressure Chemical Ionization</i>)
ARN	acide ribonucléique
ARNt	acide ribonucléique de transfert
ATCC	<i>American Type Culture Collection</i>
ATP	adénosine triphosphate
BHK	cellules de reins de bébé hamster (<i>Baby Hamster Kidney</i>)
BSA	albumine sérique bovine ou albumine de sérum bovin (<i>Bovine Serum Albumin</i>)
CAD	alcool cinnamylique déshydrogénase (<i>Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase</i>)
CAS	Service des résumés de chimie (<i>Chemical Abstract Service</i>)
CCM	chromatographie sur couche mince
CCR	cinnamoyl-CoA réductase
CE	Communauté Européenne

Chl a	chlorophylle a
CHO	cellules d'ovaires de hamster chinois (<i>Chinese Hamster Ovary</i>)
CLHP	chromatographie liquide à haute performance
CoA	coenzyme A
COSY	<i>CO</i> rrelation SpectroscopY
CPG	chromatographie en phase gazeuse
CPL	concentrés protéiques de lactosérum
CTAB	bromure de cetyltriméthylammonium (<i>Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide</i>)
D	dextrogyre
Da	dalton
DEAE	diéthylaminoéthyl
DHA	acide docosahexaénoïque (<i>DocosaHexaenoic Acid</i>)
DP	degré de polymérisation
DTX	dinophysistoxines
EARSS	Réseaux de surveillance européens de la résistance aux antibiotiques (<i>European Antimicrobial Resistance Surveillance System</i>)
EC	électrophorèse capillaire
EFSA	Autorité européenne de sécurité des aliments (<i>European Food Safety Authority</i>)
EGF	facteur de croissance épidermique (<i>Epidermal Growth Factor</i>)
ELISA	dosage d'immuno-adsorption par enzyme liée (<i>Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay</i>)
EMC	<i>Enzyme Modified Cheeses</i>
EMHV	ester méthylique d'huile végétale
EPA	acide eicosapentaénoïque (<i>EicosaPentaenoic Acid</i>)
EPS	exopolysaccharides
ESI	ionisation par électronébulisation (<i>ElectroSpray Ionization</i>)
ETA	acide eicosatétraénoïque (<i>EicosaTetraenoic Acid</i>)
ETBE	ethyl-tertio-butyl éther (<i>Ethyl-Tertio-Butyl Ether</i>)
ex	exemple
FAB	bombardement par atomes rapides (<i>Fast Atoms Bombardment</i>)
FAO	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (<i>Food and Agriculture Organization</i>)

FDA	Agence sanitaire des aliments et des produits de santé pour les États-Unis (<i>Food and Drug Administration</i>)
FGF	facteur de croissance des fibroblastes (<i>Fibroblast Growth Factor</i>)
fig.	figure
GC/IRMS	chromatographie en phase gazeuse combinée à la spectrométrie de masse à rapport isotopique (<i>Gas Chromatography/Isotope Ratio Mass Spectrometry</i>)
GME	Association des gélatiniers Européens (<i>Gelatin Manufacturers of Europe</i>)
Gy	gray
h	heure
HDL	lipoprotéines de haute densité (<i>High Density Lipoprotein</i>)
HEK	cellules embryonnaires de rein humain (<i>Human Embryonic Kidney</i>)
HFCS	sirop de maïs à haute teneur en fructose (<i>High Fructose Corn Syrup</i>)
HMBC	<i>Heteronuclear Multi-Bond Correlation</i>
HMQC	<i>Heteronuclear Multi-Quantum Correlation</i>
HPL	hydrolysats protéiques du lactosérum
HPLC	chromatographie liquide à haute performance (<i>High Performance Liquid Chromatography</i>)
HV	hydroxyvalérate
IFN	interféron
Ig	immunoglobuline
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
IPL	isolat protéique de lactosérum
IR	spectroscopie infrarouge
IUPAC	Union internationale de chimie pure et appliquée (<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>)
K_d	constante de dissociation
kDa	kilodalton
kJ/g	kilojoule/gramme
K_m	constante de Michaelis
KOH	hydroxyde de potassium
L	litre
α -La	α -lactalbumine

LC/MS	chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (<i>Liquid Chromatography/Mass Spectrometry</i>)
LC/MS/MS	chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (<i>Liquid Chromatography coupled to tandem Mass Spectrometry</i>)
LED	diode électroluminescente (<i>Light-Emitting Diode</i>)
Lf	lactoferrine
β -Lg	β -lactoglobuline
λ	lambda
LCR	réaction de ligature en chaîne (<i>Ligase Chain Reaction</i>)
LDL	lipoprotéines de basse densité (<i>Low Density Lipoprotein</i>)
LPS	lipopolysaccharides
M	concentration molaire (ou molarité) en mol/L
MALDI	désorption-ionisation par impact laser assistée par matrice (<i>Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization</i>)
MDS	médicaments dérivés du sang
min	minute
mm	millimètre
MM	masse molaire en g/mol
μ g	microgramme
μ m	micromètre
mol/L	mole/litre
NAD	nicotinamide adénine dinucléotide
NADP	nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
NaOH	hydroxyde de sodium
NGF	facteur de croissance des nerfs (<i>Nerve Growth Factor</i>)
nm	nanomètre
NOESY	<i>Nuclear Overhauser Effect Spectroscopy</i>
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economique
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OMT	O-méthyl transférase
Pa	pascal

PAL	phénylalanine ammonia-lyase
pb	paire de bases
PC	phosphatidylcholine
PCR	amplification en chaîne par polymérase (<i>Polymerase Chain Reaction</i>)
PCRq	PCR quantitative
PDGF	facteur de croissance dérivé des plaquettes (<i>Platelet-Derived Growth Factor</i>)
PE	phosphatidyléthanolamine
PEBD	polyéthylène basse densité
PEG	polyéthylène glycol
PHA	polyhydroxyalcanoate
PHB	polyhydroxybutyrate
PHBV	3-polyhydroxybutyrate 3-hydroxy valérate
pHi	pH isoélectrique
PHV	polyhydroxyvalérate
Pi	phosphate inorganique
PI	phosphatidylinositol
pl	point isoionique
PLA	acide polylactique (<i>PolyLactic Acid</i>)
PM	poids moléculaire
POU	protéines d'organismes unicellulaires
ppm	partie par million
PVC	chlorure de polyvinyle
RMN	résonance magnétique nucléaire
ROS	dérivés réactifs de l'oxygène ou espèces réactives de l'oxygène (<i>Reactive Oxygen Species</i>)
RuBisCO	Ribulose 1,5 Bisphosphate Carboxylase-Oxygénase
RX	rayons X
s	seconde
S	coefficient de sédimentation en unités Svedberg S (avec $S = 10^{-13}$ s)
SDS	sodium dodécylsulfate
SM	spectrométrie de masse

invertase	15	localisation	174
<i>Iridaea cordata</i>	188	lymphostimulation	176
<i>Isochrysis galbana</i>	199	propriétés	174
isoenzyme	355	purification	178
isoglucose (fructose)	40	rôles physiologiques	174
isolat	68	structure	174
isoprène (2-méthyl-1,3-butadiène)	101	toxicité	174
isoprénoïde	101	utilisations	178
J		Légumineuse	65, 66, 358
jaune d'œuf (composition)	264	<i>Lens culinaris</i> (lentille)	175
K		leucine	59
kallicroïne	227	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	331
kératinase	399	lévogyre	11
kétoconazole	317	levure	303
kétolide	315	Lf (lactoferrine)	256
kinogène	227	liaison hydrogène	289
kiwi (<i>Actinia deliciosa</i>)	358	liaison hydrophobe	285
<i>Kluyveromyces</i>	374	<i>Licania rigida</i>	93
L		lignée cellulaire	448
<i>Labrys</i>	432	– hyper-productrice	448
laccase	358, 389, 398	lignine	24, 25, 157
α -lactalbumine (α -La)	255	biosynthèse	157
<i>Lactobacillus</i>	304, 331	bromure d'acétyle	172
– <i>lactis</i>	319	dégradation microbiologique	161
lactoferrine (Lf)	256	détermination structurale	172
β -lactoglobuline (β -Lg)	255	dosage	171
lactopéroxydase	372	élimination	323
lactose	250, 259, 335, 373	extraction	161
lactosérum	249, 250	généralités	157
fractionnement	250	génie génétique	163
obtention	249	importance économique	161
poudres de –	251	méthode de Klason	171
produits commerciaux	258	méthodes d'étude	171
traitement	249	propriétés	159
lait	249	structure	159
<i>Laminaria</i>	183	thioacidolyse	172
lécithine	98, 269, 273	– industrielle	160
lectine	66, 173	– Kraft	160
action sur la synthèse protéique	176	– native	160
activité entomotoxique	176	– organosolve	160
agglutination des érythrocytes	174	– stake	161
défense des plantes	177	lignosulfonate	160
définition	173	limonène	102, 103
distribution	173	linoxine	131
effet antinutritionnel et toxique	175	lipase	358, 386, 387, 390, 396, 397, 399, 401, 407
interactions plantes/micro-organismes	177	lipide	87
		classification	87
		définition	87
		identification	136

importance médicale	120	rendement	457
importance nutritionnelle et métabolique	118	métallophile	424, 431
méthodes d'étude	133	métal lourd	431
– insaponifiable	88	méthanolyse	131
– plasmatique	229	<i>Methanopyrus kandleri</i>	425
– saponifiable	88	méthionine	58, 59
séparation	136	2-méthyl-1,3-butadiène (isoprène)	101
lipidomique	137	2-C-méthyl-D-érythritol-4-phosphate	101
lipochimie	120, 383	méthylcellulose	27
lipoprotéine	257, 268	β-méthyl digitoxine	462
lipovitellénine	264	β-méthyl digoxine	462
lipovitelline	264, 269	microalgue	193
lipoxygénase	66, 358, 376	acides gras polyinsaturés	198
liqueur noire	162	biocarburants	202
<i>Listeria</i>	319	colorants	194
livetine	264, 269	culture	193
<i>Lotus tetragonolobus</i>	179	généralités	193
lutéine	107, 274	isotopes	211
lycopène	107	métabolites	193
lymphocyte	454	pigments	194
lysine	58, 59	polysaccharides	211
lysozyme	257, 263, 271, 358, 372	stéroïdes	201
lysyloxydase	275	toxines	212
		microalgue-fourrage	193
		microcystine	215
		microencapsulation	294
		microfibrille	324
		microscopie électronique	276
		mixotrophie	193, 203
		modification post-traductionnelle	52, 242
		moisissure	304
		monoglutamate de sodium	58
		monolignol	157, 164
		monosaccharide	9
		<i>Monostroma fuscum</i>	58
		monoterpénoïde	102
		mucilage	33, 34
		applications	35
		hydrolyse	35
		sources	35
		structure	34
		<i>Mucor miehei</i>	371
		<i>Musa sapientum</i> (banane)	58
		mycotoxine	307
		myrcène	102, 103
		N	
		<i>Nannochloropsis</i>	199
		napine	67
M			
<i>Macrocystis</i>	183		
macrolide	315		
maïs (<i>Zea mays</i>)	42		
<i>Mallotus japonica</i>	462		
maltodextrine	40		
mannane	28		
mannitol	20		
applications	20		
épimérisation	20		
mannose	13, 33, 35		
margarine	126, 386		
Mäule (réaction de)	171		
médicament dérivé du sang (MDS)	230		
mélasse	16		
<i>Mentha</i>			
– <i>arvensis</i> (menthe des champs)	153		
– <i>piperata</i> (menthe poivrée)	153		
menthol	102, 103		
mésophile	425		
métabolisme			
– primaire	450		
– secondaire	449		
métabolite	194		
métabolite secondaire	457		