

Jean-Michel Kornprobst

# Substances naturelles d'origine marine

**Chimio**diversité | **Pharmaco**diversité | **Bio**technologie



Editions  
**TEC**  
& **DOC**

*Lavoisier*

15 Nickel ..... 45

15 Vanadium ..... 45

17 Zinc ..... 55

Selection de Sites Internet ..... 55

2 - Généralités sur le milieu marin ..... 57

4 - Les bases de la pharmacologie marine ..... 57

Aspects Physico-chimiques ..... 57

Composition chimique de l'eau de mer ..... 57

Propriétés optiques de l'eau de mer ..... 57

Aspects biologiques et écologiques ..... 57

Métabolites primaires et secondaires ..... 57

Écomones : vecteurs de la communication chimique ..... 57

Phénomène de dépendance ..... 57

Principaux types de relations interspécifiques ..... 57

Hierarchie des niveaux écologiques et répartition spatiale des organismes marins ..... 57

Biodiversité végétale, phylogénie des algues ..... 57

Biodiversité animale ..... 57

Caractéristiques biochimiques des animaux sessiles ..... 57

Préface ..... V

Avant-propos ..... VII

Liste des figures ..... XI

Liste des planches ..... XIII

Liste des tableaux ..... XXIII

# Table des matières

## TOME I : Généralités – Micro-organismes – Algues

### PARTIE 1

#### Généralités et ressources documentaires

1 – Les systèmes de classification des organismes vivants – Les grandes étapes de l'évolution chimique et biologique ..... 3

Le système et cinq règnes de Whittaker ..... 4

Découverte des Archées (Archéobactéries) – modèle ternaire du vivant (Woese) ..... 5

Principales caractéristiques des membranes cellulaires ..... 6

Quelques données récentes sur les terpènes ..... 9

Les grandes étapes de l'évolution ..... 11

Richesse exceptionnelle de la biodiversité marine ..... 13

Sélection de ressources documentaires ..... 13

Bibliographie ..... 14

Les systèmes de classification des organismes ..... 14

Membranes cellulaires, lipides membranaires ..... 15

© Lavoisier – La photocopie non autorisée est un délit

Hopanoïdes et voies de biosynthèse des terpènes .....	15
Les grandes étapes de l'évolution .....	15
Sélection de sites Internet.....	17
<b>2 – Généralités sur le milieu marin.....</b>	<b>19</b>
<b>Aspects Physico-chimiques .....</b>	<b>19</b>
Composition chimique de l'eau de mer .....	20
Propriétés optiques de l'eau de mer .....	23
<b>Aspects biologiques et écologiques .....</b>	<b>24</b>
Métabolites primaires et secondaires.....	24
Écomones : vecteurs de la communication chimique.....	24
Phénomènes de dépendance.....	25
Principaux types de relations interspécifiques .....	26
Hiérarchie des niveaux écologiques et répartition spatiale des organismes marins .....	26
Biodiversité végétale, phylogénie des algues .....	27
Biodiversité animale .....	32
Caractéristiques biochimiques des animaux sessiles .....	34
Estimation des biomasses .....	35
<b>Sélection de ressources documentaires .....</b>	<b>36</b>
Bibliographie.....	36
Aspects physicochimiques du milieu marin .....	36
Aspects biochimiques et biologiques du milieu marin .....	36
Sélection de sites Internet.....	38
<b>3 – Chimie des substances naturelles marines : originalité, diversité, répartition .....</b>	<b>41</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>41</b>
<b>Répartition des métabolites secondaires azotés et non azotés .....</b>	<b>42</b>
<b>Répartition des métabolites secondaires par familles chimiques.....</b>	<b>43</b>
<b>Particularités des métabolites secondaires des organismes marins .....</b>	<b>44</b>
<b>Incorporation des halogènes .....</b>	<b>45</b>
<b>Incorporation du soufre .....</b>	<b>47</b>
<b>Incorporation du silicium .....</b>	<b>48</b>
<b>Éléments chimiques rares rencontrés dans les substances marines : As, B, Ni, V, Zn .....</b>	<b>48</b>
<b>Sélection de ressources documentaires .....</b>	<b>51</b>
Bibliographie.....	51
Généralités.....	51
Halogènes .....	51
Soufre .....	52
Silicium .....	53
Arsenic.....	53
Bore.....	54

Nickel.....	54
Vanadium.....	54
Zinc.....	55
Sélection de Sites Internet.....	55
<b>4 – Les bases de la pharmacologie marine.....</b>	<b>57</b>
<b>Le passé et ses espoirs.....</b>	<b>57</b>
<b>Le présent et ses réalités.....</b>	<b>60</b>
<b>L'avenir et ses perspectives.....</b>	<b>71</b>
Ziconotide.....	74
Bryostatine 1.....	74
Didemnine B et déhydrodidemnine B.....	75
Dolastatine 10.....	76
Ecteinascidine 743.....	76
Squalamine.....	77
Discodermolide.....	77
KRN 7000.....	78
Halichondrines.....	79
Molécules marines utilisées comme outils biologiques.....	80
<b>Sélection de ressources documentaires.....</b>	<b>81</b>
Bibliographie.....	81
Sites Internet sur quelques-uns des sujets abordés.....	85
Sites Internet de quelques grandes institutions océanologiques.....	86
Sites Internet de quelques grandes sociétés.....	87
<b>5 – Les ressources documentaires.....</b>	<b>57</b>
<b>Bref rappel historique.....</b>	<b>89</b>
<b>Documentation imprimée.....</b>	<b>90</b>
Chemical Abstracts, Biological Abstracts, Current Contents.....	90
Les ouvrages de base.....	90
Les ouvrages de référence.....	91
Les articles de mise au point publiés dans des ouvrages non entièrement dédiés aux organismes marins..	93
Les journaux scientifiques et la notion de facteur d'impact (Impact Factor).....	93
Les revues scientifiques spécialisées dans les mises au point.....	95
Les articles de mise au point publiés dans les journaux scientifiques.....	97
Les actes (proceedings) des grands congrès internationaux.....	98
La documentation électronique et les sites Internet.....	98
<b>Documentation électronique.....</b>	<b>99</b>
Les bases de données « statiques ».....	99
Les bases de données « dynamiques ».....	100
La recherche d'informations sur Internet.....	100

## PARTIE 2

# Archées (Archéobactéries) et Eubactéries

<b>6 – Archées (Archéobactéries)</b> .....	105
<b>Présentation générale</b> .....	105
<b>Lipides membranaires</b> .....	107
<b>Pranylquinones</b> .....	113
<b>Polysulfures cycliques</b> .....	116
<b>Bactériorhodopsine des halophiles</b> .....	117
<b>Extrêmozymes</b> .....	118
<b>Annexe 1 – Numérotation stéréospécifique (sn)</b> .....	118
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	119
Bibliographie .....	119
Documentation expérimentale .....	121
Sélection de Sites Internet .....	121
<b>7 – Eubactéries – 1</b> .....	125
<b>Présentation générale</b> .....	125
Parois cellulaires et réaction de Gram .....	125
Photosynthèses anaérobies et aérobies – bactériochlorophylles .....	127
Présentation succincte des Bactéries marines .....	129
<b>Exemples de métabolites isolés de bactéries non photosynthétiques</b> .....	131
<b>Bactéries photosynthétiques anaérobies</b> .....	143
<b>Bactéries photosynthétiques aérobies</b> .....	143
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	145
Bibliographie .....	145
Sélection de Sites Internet .....	150
<b>8 – Eubactéries – 2</b> .....	151
<b>Prochlorophytes</b> .....	151
Taxonomie des Prochlorophytes .....	152
Originalités de la photosynthèse chez <i>Prochlorococcus</i> .....	152
Données biochimiques sur <i>Prochloron didemni</i> .....	153
Données biochimiques sur <i>Prochlorothrix hollandica</i> .....	154
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	158
Bibliographie .....	158
Sélection de Sites Internet .....	159
<b>Cyanobactéries</b> .....	160
Classification classique des Cyanobactéries .....	160
Pigments photosynthétiques .....	161

Lipides membranaires .....	165
Caractéristiques générales des métabolites secondaires .....	166
Malyngamides et autres dérivés chlorés.....	167
Semiplenamides A-G.....	171
Aplysiatoxine, Oscillatoxine-A et autres dérivés bromés .....	172
Autres dérivés azotés non peptidiques.....	175
Peptides et depsipectides .....	177
Autres toxines.....	187
Polyméthoxyalcènes et acides poly-β-hydroxybutyriques (PHB) .....	190
Autres molécules .....	191
<b>Sélection de ressources documentaires .....</b>	<b>192</b>
Bibliographie.....	192
Sélection de sites Internet.....	201

## PARTIE 3

### Eucaryotes photosynthétiques

<b>9 – Bacillariophyceae (Diatomées) .....</b>	<b>205</b>
<b>Les frustules – caractéristiques fondamentales des Diatomées .....</b>	<b>205</b>
<b>Les bases de la classification des Bacillariophyceae.....</b>	<b>206</b>
<b>Métabolites primaires.....</b>	<b>207</b>
<b>Pigments photosynthétiques.....</b>	<b>207</b>
<b>Lipides membranaires .....</b>	<b>209</b>
<b>Hydrocarbures terpéniques .....</b>	<b>212</b>
<b>Autres dérivés terpéniques – mise en évidence des 2 voies de biosynthèse.....</b>	<b>214</b>
<b>Les genres <i>Nitzschia</i> et <i>Pseudonitzschia</i> – acide domoïque .....</b>	<b>215</b>
<b>Autres molécules.....</b>	<b>217</b>
Bibliographie.....	220
Sélection de sites Internet.....	223
<b>10 – Chrysophyceae et Haptophyceae.....</b>	<b>205</b>
<b>Chrysophyceae.....</b>	<b>225</b>
Présentation générale – classification simplifiée .....	225
Pigments photosynthétiques.....	225
Acides gras .....	226
Stérols .....	226
Autres dérivés.....	227
<b>Haptophyceae .....</b>	<b>228</b>
Présentation générale – classification simplifiée .....	228
Pigments photosynthétiques.....	229
Stérols .....	229

Acides gras et autres dérivés linéaires .....	230
Prymnésines .....	231
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	234
Bibliographie.....	236
Sélection de sites Internet.....	237
<b>11 – Dinophyceae (Dinoflagellés)</b> .....	237
Généralités .....	238
Éléments de la classification des Dinoflagellés .....	239
Pigments photosynthétiques .....	239
Stérols.....	242
Acides gras .....	243
Dérivés polyéniques polyhydroxylés.....	246
Proliférations toxiques – endo et exotoxines .....	247
Principaux types de toxines des Dinoflagellés.....	248
Polyéthers cycliques.....	255
Acide okadaïque et dérivés.....	258
Macrolides toxiques : amphidinolides, caribenolide, goniodomine, hoffmanniolide .....	260
Saxitoxine et dérivés .....	262
Toxines azotées à fonction imine .....	264
Zooxanthellatoxines (ZTs) et autres toxines azotées .....	266
<i>Pfiesteria piscicida</i> – un Dinoflagellé toxique particulier.....	267
Dérivés soufrés.....	268
Dérivés phosphorés .....	268
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	268
Bibliographie.....	277
Sélection de sites Internet.....	281
<b>12 – Chlorophyceae (Algues Vertes)</b> .....	281
Aspects généraux.....	281
Éléments de la classification des macroalgues marines .....	282
Classification des Chlorophyceae.....	283
Chlorophylles, carotènes et xanthophylles.....	286
Polysaccharides de réserve – amidons.....	287
Polysaccharides de parois.....	287
Polysaccharides fibrillaires du « squelette » des parois .....	288
Polysaccharides matriciels .....	288
Lipides membranaires – acides gras et stérols .....	291
Oxylipines.....	292
Généralités sur les métabolites secondaires des Chlorophyceae .....	293
Terpènes .....	297
Mérotérpènes des Dasycladales.....	297

Dérivés aromatiques.....	298
Acides aminés, amines, bétaïnes .....	299
Peptides et depsipeptides – kahalalides .....	300
Autres dérivés azotés.....	303
Dérivés soufrés.....	304
Sélection de ressources documentaires .....	306
Bibliographie.....	306
Sélection de sites Internet.....	312
<b>13 – Rhodophyceae (Algues Rouges).....</b>	<b>313</b>
Caractéristiques particulières des Algues Rouges.....	313
Classification des Rhodophyceae .....	313
Pigments photosynthétiques.....	316
Osides et polyholosides de réserve.....	317
Polysaccharides de squelette.....	318
Polysaccharides matriciels – carraghénanes et agars .....	318
Carraghénophytes et agarophytes.....	321
Gélifiants et épaississants .....	321
Autres types de polysaccharides matriciels .....	322
Phospholipides et acides gras.....	323
Stérols et ecdystéroïdes .....	325
Oxylipines.....	326
Remarques générales sur les métabolites secondaires .....	328
Métabolites secondaires des Cryptonemiales .....	330
Métabolites secondaires des Géliidiales .....	333
Métabolites secondaires des Rhodyméniales .....	334
Monoterpènes polyhalogénés des Gigartinales.....	335
Diterpènes de <i>Sphaerococcus coronopifolius</i> (Gigartinales, Sphaerococcaceae) .....	338
Pyrones macrocycliques de <i>Phacelocarpus labillardieri</i> (Gigartinales, Sphaerococcaceae) .....	343
Polycavernosides – macrolactones toxiques de <i>Polycavernosa tsudai</i> (Gigartinales, Gracilariaceae) ..	343
Phloroglucinols halogénés de <i>Rhabdonia verticillata</i> (Gigartinales, Solieriaceae).....	344
Dérivés azotés des Gigartinales .....	344
Dérivés halogénés des Céramiales – considérations générales.....	346
Monoterpènes polyhalogénés de <i>Pantoneura plocamioides</i> (Céramiales, Delesseriaceae) .....	347
Sesquiterpènes des <i>Laurencia</i> (Céramiales, Rhodomelaceae) .....	348
Diterpènes halogénés des <i>Laurencia</i> .....	358
Squalénoïdes des <i>Laurencia</i> et de <i>Chondria armata</i> .....	370
Éthers et polyéthers cycliques halogénés en C <sub>15</sub> des <i>Laurencia</i> et des <i>Chondria</i> .....	374
Bromo et polybromophénols des Céramiales.....	378
Polysulfures cycliques de <i>Chondria californica</i> .....	380
Dérivés azotés des Céramiales.....	380
Dérivé arsénié de <i>Chondria crassicaulis</i> .....	385
Quelques dérivés atypiques des <i>Laurencia</i> .....	385

Dérivés halogénés des Némaliales.....	386
Acides acétyléniques de <i>Liagora farinosa</i> .....	389
Alcools triterpéniques sulfatés de <i>Tricleocarpa fragilis</i> .....	390
Sélection de ressources documentaires.....	394
Bibliographie.....	394
Sélection de sites Internet.....	417
<b>14 – Phaeophyceae (Algues Brunes)</b> .....	<b>419</b>
Introduction générale.....	419
Classification des Phaeophyceae.....	419
Pigments photosynthétiques.....	421
Laminaranes et autres osides de réserve.....	422
Polysaccharides matriciels – acides alginiques et alginates.....	424
Fucoïdanes (fucanes).....	426
Lipides et acides gras.....	427
Stérols.....	429
Oxylipines des Laminariales.....	430
Hydrocarbures volatils et chimiotaxie sexuelle.....	434
Généralités sur les métabolites secondaires.....	439
Sesquiterpènes des Dictyotales.....	440
Diterpènes cycliques des Dictyotales.....	441
Diterpènes linéaires des Fucales et autres dérivés.....	448
Phénols et phlorotannins.....	450
Autres dérivés aromatiques.....	455
Méroterpènes – Généralités.....	456
Hydroquinones et quinones prénylées.....	456
Mérosesquiterpènes des <i>Dictyopteris</i> .....	457
Méroditerpènes des genres <i>Taonia</i> et <i>Styopodium</i> .....	460
Méroditerpènes des <i>Cystoseira</i> – chimiotaxonomie des <i>Cystoseiraceae</i> .....	464
Nahocols et isonahocols : méroditerpènes linéaires transposés de <i>Sargassum autumnale</i> .....	472
Dérivés de l'azote, du phosphore et de l'arsenic.....	473
Dérivés soufrés.....	477
Dérivés iodés.....	478
Sélection de ressources documentaires.....	482
Bibliographie.....	482
Sélection de sites Internet.....	498
<b>15 – Principales utilisations des macroalgues</b> .....	<b>501</b>
Présentation générale.....	501
Estimations sur les ressources.....	502
Les algues alimentaires.....	504
Propriétés diététiques des algues marines.....	506

Aspects physicochimiques des phycocolloïdes .....	507
Aspects économiques des phycocolloïdes .....	510
Principaux pays producteurs de phycocolloïdes .....	511
Principales applications des agars.....	512
Principales applications des carraghénanes et des furcellaranes.....	513
Principales applications de l'acide alginique et des alginates .....	514
Les grandes lignes de la Recherche-Développement dans le domaine de la santé.....	515
Polysaccharides sulfatés antiviraux des Algues Rouges.....	516
Propriétés anticoagulantes et antithrombotiques des fucanes .....	517
Propriétés antitumorales et immunomodulatrices des fucanes .....	518
Autres exemples d'activités biologiques des macroalgues .....	519
Les Algues en cosmétologie.....	519
Utilisation des Algues pour l'agriculture et l'élevage .....	520
Sélection de ressources documentaires .....	521
Bibliographie.....	521
Actes des derniers Symposium Internationaux sur les Algues .....	527
Sélection de sites Internet.....	527

## PARTIE 4

### Champignons et autres Eucaryotes monocellulaires non-photosynthétiques

<b>16 – Champignons.....</b>	<b>533</b>
Le règne fongique – notion de Champignon marin .....	533
Mastigomycètes et Champignons vrais (Eumycètes).....	534
Éléments de la classification des Eumycètes .....	534
Rappel sur la structure de la chitine .....	535
Stérols.....	536
Acides gras .....	536
Observations générales sur les métabolites secondaires isolés des Champignons marins .....	537
Substances isolées de Champignons prélevés à la surface de la mer.....	538
Substances isolées de Champignons prélevés sur des sédiments .....	539
Substances isolées de Champignons associés à des algues .....	540
Substances isolées de Champignons lignicoles.....	547
Substances isolées de Champignons associés à des Éponges.....	550
Substances isolées de Champignons associés à des Cnidaires.....	555
Substances isolées de Champignons associés à des Mollusques.....	557
Substances isolées de Champignons associés à des Échinodermes .....	558
Substances isolées de Champignons associés à des Crustacés.....	558
Substances isolées de Champignons associés à des Tuniciers (ascidies) .....	560
Substances isolées de Champignons associés à des Poissons .....	561
Peptides membranaires des Champignons – peptaïbols .....	562

Sélection de ressources documentaires .....	563
Bibliographie.....	563
Sélection de sites Internet.....	569
<b>17 – Thraustochytrides et Ciliés .....</b>	<b>571</b>
Position taxonomique des Thraustochytrides et présentation générale du groupe .....	571
Acides gras n-3 polyinsaturés à longues chaînes des Thraustochytrides .....	572
Compositions en acides gras à longues chaînes et phylogénie des Thraustochytrides .....	573
$\alpha$ -Glucosylcéramides des Thraustochytrides .....	573
Introduction à l'étude chimique des Ciliés .....	574
Terpènes des <i>Euplotes</i> .....	575
Kéronopsines de <i>Pseudokeronopsis rubra</i> .....	578
Sélection de ressources documentaires .....	579
Bibliographie.....	579
Sélection de sites Internet.....	581
<b>18 – Introduction aux biotechnologies marines .....</b>	<b>583</b>
Introduction .....	583
Lipides et pigments : exemples d'applications nutritionnelles .....	584
Nouvelles substances et biomatériaux : exemples d'applications biomédicales .....	586
Bioremédiation et biofouling : exemples d'applications environnementales .....	588
Autre type d'application, les bioadhésifs .....	589
Sélection de ressources documentaires .....	590
Bibliographie générale.....	590
Bibliographie.....	590
Sélection de sites Internet.....	595

## TOME II : Invertébrés – Vertébrés

## PARTIE 5

## Invertébrés diploblastiques

<b>19 – Spongiaires (Éponges)</b> .....	601
<b>Présentation générale de l'univers des Éponges</b> .....	601
<b>Métabolites des Éponges calcaires (Calcarea)</b> .....	604
Caractères généraux des Éponges calcaires (Calcarea) .....	604
Dérivés non azotés d'espèces du genre <i>Leucetta</i> .....	605
Alcoïdes de l'imidazole et complexes du zinc isolés des genres <i>Leucetta</i> et <i>Clathrina</i> .....	606
$\alpha,\omega$ -Diaminoalcools à longues chaînes .....	609
Macrolides azotés et peptides cycliques .....	610
Autres dérivés azotés des Éponges calcaires .....	611
<b>Métabolites des Éponges hexactinellida</b> .....	612
<b>Classification et constituants membranaires des Demospongiae</b> .....	615
Classification.....	615
Quelques observations physiques concernant les Démosponges .....	619
Diversité des constituants membranaires – quelques exemples.....	619
Phospholipides et acides démospongiques .....	623
Acides gras possédant le système diénique $\Delta$ -5,9.....	626
Autres acides gras mono et polyinsaturés .....	630
Acides ramifiés .....	633
Acides isopréniques .....	634
Acides cyclopropaniques .....	638
Acides bromés .....	639
Acides 2- <i>O</i> substitués .....	640
Dérivés soufrés d'acides démospongiques .....	644
Localisations intracellulaires des acides démospongiques .....	644
Brefs rappels sur les stérols conventionnels .....	645
Stérols non conventionnels par modification du système tétracyclique .....	646
Stérols non conventionnels par polyméthylation de la chaîne latérale .....	650
Stérols à chaînes latérales cyclopropanique et cyclopropénique .....	654
Sécostérols.....	659
Stéroïdes polyhydroxylés et dérivés, peroxytérols .....	662
Stérols sulfatés .....	664
Stérols et stérones chlorés .....	670
Stérols azotés .....	670
Glycolipides .....	671
<b>Métabolites secondaires des Homosclerophorida</b> .....	676
Acides gras atypiques des <i>Plakinastrella</i> et des <i>Plakortis</i> .....	677

Peroxydes cycliques, peroxy lactones et oxylipines des <i>Plakinastrella</i> et <i>Plakortis</i> .....	678
Glycosides .....	681
Stérols polyhydroxylés d' <i>Oscarella lobularis</i> .....	682
Alcaloïdes et autres dérivés azotés originaux des <i>Plakortis</i> .....	682
<b>Métabolites secondaires des Astrophorida</b> .....	684
Pachyosides de <i>Pachymatisma johnstonia</i> .....	685
Triterpènes du malabaricane et de l'isomalabaricane - Sesterterpènes .....	685
Glycosides triterpéniques et glycosides stéroïdiques .....	687
Acides tétramiques substitués et glycosides dérivés .....	689
Erylusamines, erylusine et erylusidine .....	692
Depsipeptides cycliques, peptolides et macrolactones .....	693
Terpènes azotés .....	696
Bengazoles et bengamides .....	697
Dérivés azotés atypiques .....	699
Dérivés phosphorés analogues de la calyculine .....	703
Dérivés sulfatés aromatiques .....	704
Polyméthoxydiènes isotactiques de <i>Myriastra clavosa</i> .....	705
<b>Métabolites secondaires des Hadromerida</b> .....	705
Pouvoir perforant des Clionaidae .....	706
Lyso-phospholipides et sphingosines sulfatées de <i>Spirastrella abata</i> .....	707
Dérivés acétyléniques bromés de <i>Diplastrella</i> .....	709
Peroxydes cycliques .....	710
Terpènes .....	711
Stérols non conventionnels .....	714
Macrolactones : latrunculines et spongistatines .....	715
Glycosides atypiques de <i>Latrunculia corticata</i> .....	717
Autres toxines non azotées .....	717
Peptides et depsipeptides .....	718
Dérivés du pyrrole et autres hétérocycles azotés .....	719
Nucléosides atypiques .....	721
<b>Métabolites secondaires des Lithistida</b> .....	722
Caractères particuliers des Éponges Lithistida .....	722
Sesquiterpènes azotés des <i>Theonella</i> .....	723
Lyso-plasmanylinositol de <i>Theonella swinhoei</i> .....	724
Céramides sulfatés .....	724
Dérivés polyacétyléniques à longues chaînes de <i>Theonella</i> sp. ....	724
3 $\beta$ -Méthoxystérols de <i>Jereicopsis graphidiophora</i> .....	725
4-Méthylène stérols et stérones des <i>Theonella</i> .....	727
Macrolides .....	728
Exemples d'acétogénines : discodermolide, calyculines et onnamides .....	731
Peptides linéaires .....	733
Peptides mono et bicycliques .....	735
Origine symbiotique de certains polypeptides .....	741
Depsipeptides cycliques .....	741
Dérivés azotés atypiques .....	745

<b>Métabolites secondaires des Spirophorida</b> .....	746
Stérols atypiques des <i>Cinachyrella</i> , <i>Microscleroderma</i> , et <i>Scleritoderma</i> .....	747
Cinachyrolide A .....	747
Microsclérodermines et aciculitines .....	748
<b>Métabolites secondaires des Agelasida</b> .....	749
Stérols .....	750
Diterpènes et caroténoïdes .....	750
Mérosesquiterpènes et méroditerpènes azotés .....	752
Galactosylcéramides .....	754
Oroïdine et hétérocycles azotés apparentés .....	755
Séries de l'Oroïdine .....	757
Série de l'agélastatine A .....	759
Autres séries .....	760
Dérivés de l'acide pyrrole-2-carboxylique .....	760
Autres exemples d'hétérocycles azotés.....	762
Bétaïnes .....	762
<b>Métabolites secondaires des Halichondrida</b> .....	762
<i>nor</i> -A-Stéroïdes et autres stérols non conventionnels.....	764
Terpènes conventionnels .....	766
Terpènes azotés : isonitriles et dérivés apparentés .....	772
Autres terpènes.....	779
$\alpha,\omega$ -bis-isothiocyanates linéaires à longues chaînes.....	780
Polyéthers : halichondrines, acides okadaïque et glycookadaïque .....	780
Lipides divers .....	781
Peptides linéaires des genres <i>Auletta</i> et <i>Cymbastela</i> .....	783
Depsipeptides et peptides cycliques .....	784
Dérivés du pyrrole, de l'imidazole, de la pyridine et de l'indole .....	791
Hétérocycles apparentés à la famille de l'oroïdine .....	795
Dérivés halogénés atypiques .....	796
<b>Métabolites secondaires des Haplosclerida</b> .....	797
Dérivés acétyléniques .....	798
Acides gras atypiques.....	805
Terpènes et méroterpènes .....	806
Glycosides triterpéniques.....	811
Hopanoïdes, stéroïdes et stérosides .....	814
Macrolides, depsipeptides et peptides cycliques .....	818
Glycosphingolipides (cérébrosides).....	821
Manzamines et dérivés apparentés .....	822
Dérivés de la quinolizidine et de la 1-oxaquinolizidine .....	825
Dérivés de la pyridine et sels de 3-alkylpyridinium .....	829
Alcaloïdes de la pyridoacridine .....	832
Pyrroloquinones et autres exemples d'hétérocycles azotés.....	833
Quinones et hydroquinones sulfatées .....	836
Dérivés sulfatés linéaires à très longues chaînes.....	837

Thiocyanatines – $\alpha,\omega$ -dithiocyanates d' <i>Oceanapia</i> sp. ....	838
<b>Métabolites secondaires des Poecilosclerida</b> .....	839
Stérols, stéroïdes et stérosides .....	840
Terpènes et glycosides triterpéniques .....	844
Acétogénines polybromées et oxylipines .....	849
Dérivés acétyléniques à longues chaînes – Raspailynes.....	849
Glycolipides .....	850
Dérivés aromatiques bromés de <i>Hamigera tarangaensis</i> .....	851
Macrolides .....	851
Chondropsines – depsipeptides cycliques de <i>Chondropsis</i> sp. ....	854
Eurypamides de <i>Microciona eurypa</i> et microcionamides de <i>Clatbria abietina</i> .....	855
Exemples de quelques dérivés soufrés atypiques.....	856
Amides linéaires .....	857
Dérivés du pyrrole et de l'indole.....	859
Pyridines, quinolizines et pyridoacridines.....	862
Dérivés de la guanidine .....	862
Pyrrolo-iminoquinones .....	866
Autres exemples d'alcaloïdes polycycliques .....	868
Dérivés phosphorés .....	870
<b>Généralités sur les métabolites des éponges dépourvues de spicules minéraux</b> .....	870
<b>Métabolites secondaires des Dendroceratida</b> .....	874
Terpènes et méroterpènes .....	875
Stérols .....	884
Polybromophénols et polybromodiphényl éthers des <i>Dysidea</i> .....	885
Dérivés azotés.....	887
<b>Métabolites secondaires des Dictyoceratida</b> .....	892
Terpènes.....	893
Méroterpènes .....	911
Stérols .....	914
Polybromodiphényléthers.....	914
Macrolides : laulimalide, altohyrtines, chondropsines et hatérumalides .....	914
Polypeptides cycliques .....	916
Alcaloïdes et autres dérivés azotés .....	918
Dérivés phosphorés .....	919
Dérivés soufrés atypiques .....	920
<b>Métabolites secondaires des Verongida</b> .....	921
Dérivés de la bromotyrosine.....	922
Autres molécules azotées.....	927
Éthers de glycérol et glycosphingolipides.....	929
Dérivés aromatiques sulfatés.....	930
Métabolites particuliers de la famille des Ianthellidae .....	930
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	940
Bibliographie.....	940
Sélection de sites Internet.....	1035

<b>20 – Cnidaires et Cténares</b> .....	1037
<b>Classification simplifiée des Cnidaires</b> .....	1038
<b>Coraux hermatypiques et ahermatypiques – « Mort blanche » des coraux</b> .....	1042
<b>Généralités sur les métabolites des Cnidaires</b> .....	1043
<b>Métabolites secondaires des Anthozoaires Octocoralliaires</b> .....	1045
Prostaglandines et prostanoides .....	1046
Phospholipides, glycolipides et autres dérivés lipidiques .....	1052
Remarques générales sur les stérols des Octocoralliaires .....	1056
Gorgostérol et autres stérols à chaînes latérales cyclopropaniques .....	1057
Stérols et stérones chlorées de <i>Clavularia viridis</i> , <i>Nephthea bayeri</i> et <i>Carijoa multiflora</i> .....	1063
Stéroïdes polyoxygénés .....	1064
Stérols à chaîne latérale cyclisée .....	1065
Sécostérols .....	1073
Stérosides, dérivés du prégnane et du <i>nor</i> -prégnane .....	1074
Hydrocarbures sesquiterpéniques .....	1078
Pigments bleus de <i>Paramuricea chamaleon</i> – autres exemples de sesquiterpènes atypiques .....	1080
Exemples de sesquiterpènes à squelette carboné « classique » .....	1089
Présentation générale des diterpènes .....	1095
Diterpènes linéaires et monocycliques .....	1096
Présentation globale des diterpènes bicycliques .....	1111
Diterpènes chlorés .....	1114
Autres exemples de dérivés du briarane .....	1117
Diterpènes azotés du cladiellane/eunicellane : éléuthérobine et analogues, labiatamides .....	1121
Autres exemples de diterpènes du cladiellane/eunicellane .....	1124
Diterpènes du serrulatane et autres squelettes bicycliques C <sub>6</sub> /C <sub>6</sub> .....	1126
Diterpènes bicycliques C <sub>5</sub> /C <sub>11</sub> .....	1128
Diterpènes bicycliques contenant un cyclopropane .....	1129
Quelques autres exemples de diterpènes bicycliques .....	1131
Présentation des diterpènes tricycliques .....	1134
Pseudoptérosines, autres dérivés de l'amphilectane et analogues .....	1135
Autres exemples de diterpènes tricycliques et tétracycliques .....	1141
Remarques sur l'origine des terpènes .....	1146
Dérivés azotés non terpéniques des octocoralliaires .....	1146
<b>Métabolites secondaires des Anthozoaires hexacoralliaires</b> .....	1150
Acides gras, oxylipines et dérivés acétyléniques .....	1150
Stérols et Écdystéroïdes .....	1154
Terpènes .....	1156
Caroténoïdes des Anémones de mer .....	1157
Dérivés aromatiques .....	1158
Céramides .....	1158
Exemples de pigments azotés : zoanthoxanthines et calliactine .....	1159
Palytoxines (PTXs) .....	1161
Mycosporines .....	1162

Bétaïnes, phosphobétaïnes, purines et autres dérivés azotés .....	1164
Cytolysines, neuropeptides et autres venins des Anémones de mer .....	1168
<b>Métabolites secondaires des Médusozoaires</b> .....	1168
Quelques données sur les Cubozoaires et autres « Méduses » .....	1169
Bioluminescence des méduses et autres Cnidaires .....	1172
Quelques résultats sur les métabolites secondaires des autres Hydrozoaires .....	1174
<b>Cténaires (Cténofores)</b> .....	1178
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	1179
Bibliographie.....	1179
Sélection de sites Internet.....	1232

## PARTIE 6

### Invertébrés protostomiens

<b>21 – Organismes vermiformes -1 : Plathelminthes, Nématodes, Némertes, Annélides, Phoronidiens</b> .....	1237
<b>Plathelminthes</b> .....	1237
<b>Némertes</b> .....	1242
<b>Généralités sur les Annélides et les Échiuriens</b> .....	1243
<b>Pigments des Annélides Polychètes et des Échiuriens</b> .....	1245
<b>Bromophénols d'Annélides Polychètes et du Phoronidien <i>Phoronopsis viridis</i></b> .....	1247
<b>Exemples de dérivés azotés et soufrés isolés d'Annélides Polychètes</b> .....	1248
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	1250
Bibliographie.....	1250
Sélection de sites Internet.....	1257
<b>22 – Bryozoaires – Phoronidiens – Brachiopodes</b> .....	1259
<b>Bryozoaires</b> .....	1259
Généralités et classification.....	1259
Composés lipidiques et aromatiques.....	1262
Les Bryostatines .....	1264
Alcaloïdes du pyrrole et de la pyrrolidine.....	1268
Alcaloïdes de l'indole et de la physostigmine .....	1271
Dérivés de la quinoléine, de l'isoquinoléine et de la $\beta$ -carboline .....	1274
Systèmes hétérocycliques originaux .....	1274
Dérivés nitrés .....	1275
Sels de sulfonium et « Dogger Bank Itch ».....	1275
<b>Phoronidiens et Brachiopodes</b> .....	1276
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	1277
Bibliographie.....	1277
Sélection de Sites Internet .....	1283

<b>23 – Mollusques</b> .....	1285
<b>Caractères généraux et classification</b> .....	1285
<b>Données générales sur les lipides : hydrocarbures, acides gras, oxylipines, stérols</b> .....	1288
<b>Métabolites des Gastéropodes Prosobranches</b> .....	1293
Quelques données chimiques sur les Archeogasteropoda .....	1293
Keyhole limpet hemocyanin (KLH) .....	1295
Données chimiques sur les Mesogasteropoda.....	1295
Métabolites secondaires des Neogasteropoda .....	1298
Brève histoire de la Pourpre de Tyr .....	1299
Conopeptides et conotoxines .....	1300
Sécrétions salivaires toxiques – térodotoxine, surugatoxine, néosurugatoxine .....	1303
<b>Métabolites des Gastéropodes Opisthobranches</b> .....	1304
Caractères généraux de l'ordre des Anaspidea .....	1304
Exemples de chaînes alimentaires entre Aplysies et Algues .....	1305
Aplysiovioline et pigments caroténoïdes .....	1312
Mérotérpènes azotés .....	1312
Macrolactones : aplyolides, aplysiatoxines, aurisides, dolabelides, aplyronines .....	1313
Peptides et depsipeptides : dolastatines, aurilide .....	1316
Exemples de dérivés hétérocycliques des Anaspidae .....	1321
Glycoprotéines antimicrobiennes et antitumorales des genres <i>Aplysia</i> et <i>Dolabella</i> .....	1323
Polypropionates de <i>Dolabella auricularia</i> et de <i>Dolabrifera dolabrifera</i> .....	1323
Généralités sur les métabolites secondaires des Cephalaspidae .....	1324
Alkylbenzènes, 2- et 3-alkylpyridines des Cephalaspidae .....	1325
Peptides et depsipeptides de <i>Philinopsis speciosa</i> .....	1327
Polycétides de <i>Clione antarctica</i> .....	1329
Métabolites secondaires des Notaspidae.....	1329
Généralités sur la chimie des Nudibranches.....	1331
Terpènes, terpénoïdes et stéroïdes des Nudibranches .....	1332
Prostaglandine lactones (PGLs) de <i>Tethys fimbria</i> .....	1349
Macrolides cytotoxiques des Nudibranches .....	1350
Dérivés polyacétyléniques chlorés de <i>Diaulula sandiegensis</i> .....	1353
Relations entre Nudibranches et Éponges calcaires – dérivés de l' amino-2-imidazole.....	1353
Relations entre Nudibranches et Bryozoaires – dérivés du pyrrole .....	1354
Dérivés de la guanidine et autres alcaloïdes des Nudibranches.....	1355
Nucléosides et peptides des Nudibranches.....	1356
Bilan simplifié de la chimie des Nudibranches.....	1357
Remarques générales sur les métabolites des Gastéropodes Sacoglosses .....	1358
Terpènes des Sacoglossa.....	1359
Dérivés polypropionates des Sacoglossa .....	1360
Kahalalides : peptides et depsipeptides cytotoxiques des « couples » <i>Elysia/Bryopsis</i> .....	1360
<b>Métabolites des Gastéropodes Pulmonés</b> .....	1364
Sesquiterpènes et diterpènes des genres <i>Onchidella</i> et <i>Trimusculus</i> .....	1364
Polypropionates des Pulmonés .....	1364
Depsipeptides cytotoxiques d' <i>Onchidium</i> sp. ....	1367

<b>Métabolites des Bivalves (Lamellibranches)</b> .....	1368
Produits de dégradation de la chlorophylle <i>a</i> de <i>Ruditapes philippinarum</i> .....	1369
Caroténoïdes .....	1370
Données récentes sur les lipides polaires (plasmalogènes, cardiolipides) .....	1370
Stérols polaires de <i>Patinopecten yessoensis</i> et 20-isostérols de <i>Macoma balthica</i> .....	1372
Acides gras et dérivés lipidiques divers .....	1373
Toxines, azaspiracides .....	1373
Polyamines, alcaloïdes et dérivés azotés divers .....	1378
Dérivés arséniés de <i>Tridacna maxima</i> .....	1380
<b>Métabolites des Céphalopodes</b> .....	1381
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	1383
Bibliographie .....	1383
Sélection de sites Internet .....	1415
<b>24 – Arthropodes</b> .....	1419
Chitine et chitosan .....	1420
Pigments caroténoïdes .....	1422
Dérivés lipidiques .....	1424
Hormones contrôlant la mue des Crustacés et autres stéroïdes .....	1424
Quelques exemples de métabolites soufrés, azotés et arséniés des Crustacés .....	1428
Quelques données sur les Chélicériformes marins, <i>Limule</i> .....	1430
Sélection de ressources documentaires .....	1431
Bibliographie .....	1431
Sélection de sites Internet .....	1435
<b>25 – Introduction à l'écologie chimique</b> .....	1437
Exemples de relations intraspécifiques .....	1438
Phéromones sexuelles – Sperm-Activating Peptides des oursins et des mollusques (SAPs) .....	1439
Exemples de phéromones d'alerte .....	1440
Exemples de relations interspécifiques .....	1442
Relations prédateur-proie – allomones de défense des Algues et des Invertébrés .....	1442
Allomones de défense dans les associations entre micro-organismes et invertébrés .....	1443
Éliciteurs et allomones de défense des algues .....	1448
Substances induisant la métamorphose des larves .....	1449
Formation des épibioses (biofouling) et substances antifouling .....	1449
Attractifs et stimulants alimentaires .....	1451
Sélection de ressources documentaires .....	1452
Bibliographie .....	1452
Sélection de sites Internet .....	1460

# PARTIE 7

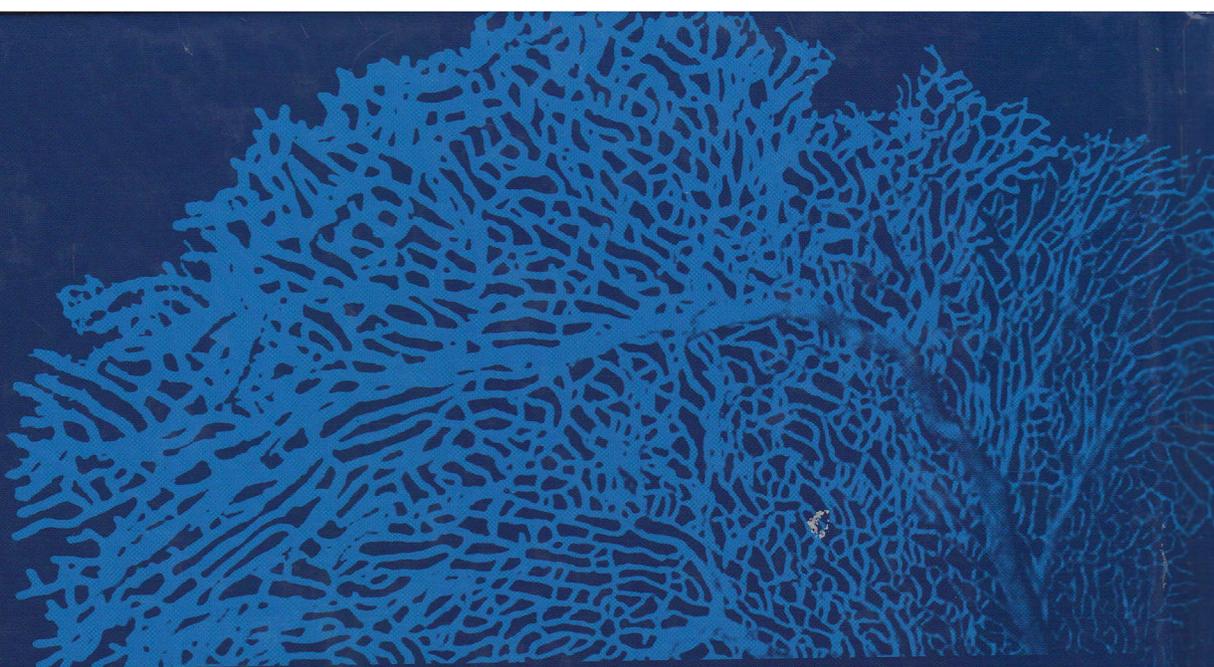
## Organismes Deutérostomiens

<b>26 – Échinodermes</b> .....	1463
<b>Généralités et classification</b> .....	1463
<b>Observations générales sur la chimie des échinodermes</b> .....	1466
<b>Métabolites des Crinoïdes</b> .....	1468
Pigments quinoniques.....	1468
Stérols, glycolipides, phosphocéramides.....	1470
<b>Métabolites des Échinides (Oursins)</b> .....	1473
Échinochrome A, spinochromes et caroténoïdes.....	1473
Acides gras, prostaglandines, glycosphingolipides et stérols.....	1478
Métabolites azotés et soufrés.....	1479
Fucanes sulfatés.....	1481
<b>Métabolites des Ophiurides (Ophiures)</b> .....	1483
Lipides.....	1483
Caroténoïdes sulfatés.....	1485
Stérols et stérols sulfatés.....	1485
<b>Métabolites des Astérides (Étoiles de mer)</b> .....	1491
Stérols et stérols sulfatés.....	1491
Polyhydroxystérols libres et sulfatés.....	1498
Polyhydroxystérols azotés et phosphorés.....	1503
Glycosides stéroïdiques et astérosaponines.....	1503
Acides gras et oxylipines.....	1523
Glycolipides, céramides, cérébrosides et gangliosides.....	1523
Caroténoïdes.....	1524
Dérivés azotés.....	1532
<b>Métabolites des Holothurides (Concombres de mer)</b> .....	1533
Acides gras.....	1534
Stérols, 4-méthylstérols et triterpènes.....	1540
Holothurines.....	1549
Le trévang.....	1550
Caroténoïdes.....	1551
Cérébrosides et gangliosides.....	1552
Dérivés azotés atypiques de <i>Cucumaria frondosa</i> .....	1556
Oligosaccharides et polysaccharides sulfatés.....	1557
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	1557
Bibliographie.....	1557
Sélection de sites Internet.....	1579

<b>27 – Organismes vermiformes -2 : Chétognathes, Hémichordés (Entéropneustes, Ptérobranches)</b> .....	1581
Brève présentation des Chétognathes .....	1581
Brève présentation du phylum des Hemichordata (Hémichordés) .....	1582
Dérivés aromatiques et hétéroaromatiques des Entéropneustes .....	1582
Céphalostatines de <i>Cephalodiscus gilchristi</i> (Ptérobranche) .....	1584
Sélection de ressources documentaires .....	1587
Bibliographie.....	1587
Sélection de sites Internet.....	1588
<b>28 – Tuniciers (Ascidies)</b> .....	1589
Rappels sur la notion de Cordés (Chordés).....	1589
Présentation des Tuniciers et classification de la famille des Ascidiacea .....	1589
Données générales sur la chimie des Ascidies .....	1592
Dérivés lipidiques : acyltunichlorines, polycétides et oxylipines .....	1595
Aminoalcools, sphinganine, sérinolipides, céramides et cérebrosides .....	1596
Stérols et stéroïdes .....	1599
Caroténoïdes.....	1599
Polysaccharides sulfatés des tuniques d'Ascidies.....	1602
Biopolymères azotés, lectines.....	1603
Métabolites des Didemnidae.....	1603
Didemnakétals et diterpènes chlorés des <i>Lissoclinum</i> .....	1604
Polysulfanes aromatiques et autres dérivés soufrés atypiques .....	1606
Lamellarines et autres alcaloïdes du pyrrole .....	1609
Dérivés de la quinoléine, de la pyrido- et de la pyrroloacridine.....	1613
Dérivés du tryptophane, de l'indole et de la $\beta$ -carboline.....	1617
Amides linéaires cytotoxiques : bistramide et bistratène A.....	1620
Peptides linéaires .....	1621
Peptides cycliques.....	1623
Macrolides : patellazoles .....	1630
Depsipeptides cycliques : didemnines, aplidine, et autres dérivés.....	1630
Nucléosides et analogues .....	1636
Métabolites des Polycitoridae .....	1637
Terpènes de <i>Cystodytes</i> sp. et de <i>Polycitor adriaticus</i> .....	1638
Polysulfanes aromatiques de <i>Polycitor</i> sp. ....	1638
Macrolides azotés : iéjimalides.....	1639
Alcaloïdes « simples » du pyrrole et de l'indole .....	1639
Alcaloïdes de la $\beta$ -carboline : Eudistomines et dérivés apparentés .....	1641
Alcaloïdes de la décahydroquinoléine : lépadines .....	1643
Alcaloïdes de la quinolizidine et de l'indolizine .....	1646
Alcaloïdes de la perhydropyrrolo[2,1-j] et de la perhydropyrido[2,1-j]quinoléine.....	1646
Alcaloïdes de la pyrroloacridine et dérivés apparentés .....	1648

Autres types d'alcaloïdes .....	1651
Peptides cycliques .....	1653
<b>Métabolites des Polyclinidae</b> .....	1654
Alcanes sulfatés à longues chaînes de <i>Sidnyum turbinatum</i> .....	1655
Terpènes et méroterpènes « classiques » .....	1655
Para- et métacyclophanes : longithorones et dérivés apparentés .....	1656
Dérivés aromatiques « simples » .....	1659
Macrolides non azotés et azotés .....	1661
Amines et amino-alcools à longues chaînes, sphingosines .....	1661
Alcaloïdes de la pipéridine : pseudodistomines .....	1663
Alcaloïdes de l'indole .....	1664
Alcaloïdes de la quinoléine et de la pyridoacridine .....	1666
Alcaloïdes bis-stéroïdiques de <i>Ritterella tokioka</i> : rittérazines .....	1666
Purines et nucléosides .....	1669
Dérivés azotés divers .....	1671
<b>Métabolites des Ascidiidae</b> .....	1672
Vanadium, acidité intracellulaire des cellules sanguines et ligands peptidiques .....	1673
<b>Métabolites des Cionidae</b> .....	1679
<b>Métabolites des Perophoridae</b> .....	1680
Métabolites isolés d'espèces du genre <i>Perophora</i> .....	1680
Alcaloïdes de la tétrahydroisoquinoléine : ectéinascidines (ET's) .....	1681
<b>Métabolites des Molgulidae et des Pyuridae</b> .....	1684
Dérivés lipidiques non azotés .....	1685
Dérivés azotés .....	1686
<b>Métabolites des Styelidae</b> .....	1688
Dérivés non azotés .....	1688
Dérivés de la phényléthylamine, alcaloïdes divers .....	1690
Purines et peptides antibactériens .....	1692
<b>Sélection de ressources documentaires</b> .....	1694
Bibliographie .....	1694
Sélection de sites Internet .....	1729
<b>29 – Vertébrés (Poissons, Reptiles, Mammifères)</b> .....	1731
<b>Poissons</b> .....	1731
Squalène et autres dérivés lipidiques des Chondrichthyens .....	1732
Stéroïdes biliaires des Requins et des Myxines : scymnol, myxinol et dérivés .....	1733
Squalamine et autres aminostéroïdes des Requins .....	1734
Inhibition de l'angiogénèse par le cartilage de Requin - Néovastat .....	1737
Présentation générales des dérivés lipidiques des Ostéichthyens .....	1737
Venins et toxines, substances de défense des Poissons .....	1741
Protéines antigél des Poissons polaires .....	1745
<b>Reptiles</b> .....	1746
<b>Mammifères</b> .....	1746
Compositions en lipides et résidus de pesticides chlorés .....	1747





La valorisation des produits de la mer n'est pas nouvelle. Dans l'Antiquité, Tyr contribuait déjà au rayonnement de la civilisation phénicienne par sa production de pourpre, pigment rouge extrait d'un gastéropode. Aujourd'hui, le corail et la nacre figurent ainsi parmi les biomatériaux les plus prometteurs en chirurgie osseuse ; la chitine et le chitosane, composants de la carapace des crustacés, sont utilisés comme additifs en cosmétologie et dans l'industrie papetière, ou encore comme chélatants dans le traitement des eaux... Les exemples pourraient être multipliés. Pourtant, le nombre de ces utilisations semble infinitésimal au regard de l'inépuisable réservoir de substances naturelles d'intérêt biologique que constituent les milieux marins.

Toutes les bio-industries sont aujourd'hui engagées dans la recherche de molécules synthétisables, dotées de propriétés techno-fonctionnelles ou pharmacologiques innovantes, capables par exemple de résoudre les phénomènes de résistance (antitumoraux, antibiotiques, antipaludéens...) ou de répondre au souhait du public d'une plus grande naturalité des principes actifs ou ingrédients utilisés. Les substances naturelles d'origine marine semblent à même de répondre à cette logique.

Face à la surabondance d'informations et de publications fragmentaires, **Substances naturelles d'origine marine** constitue la première synthèse des connaissances intéressantes ce domaine en constant développement et vient enfin pallier une lacune criante dans la littérature scientifique. Exploitant plus de 7 225 références bibliographiques, ce traité présente tous les aspects biologiques, taxonomiques et chimiques des phylums d'organismes marins, ainsi que les propriétés et applications des substances qui en sont issues — soit plus de 7 000 molécules chimiques.

Ce traité unique en langue française s'adresse :

- aux spécialistes des différentes disciplines de la **biologie marine** : ichtyologie, écologie, océanologie, algologie, microbiologie marine, chimie marine, zoologie générale...
- aux professionnels des **bio-industries** : pharmacologie, pharmacie, chimie thérapeutique, cosmétologie, industries agroalimentaires, éco-industries, génie biomédical et industries des biomatériaux, biotechnologies, chimie thérapeutique, toxicologie...

**Il n'existe, dans l'édition mondiale, aucun autre ouvrage comparable.  
Nous sommes en présence d'une œuvre monumentale.  
Je ne peux que recommander avec enthousiasme la lecture de ce chef-d'œuvre.**

**Pierre Potier**, de l'Académie des sciences (extrait de la préface)

**Jean-Michel Kornprobst**, ingénieur chimiste de l'École nationale supérieure de chimie de Montpellier, docteur ès sciences, est professeur émérite à l'université de Nantes (UFR des sciences pharmaceutiques, pôle Mer et littoral), dont il a dirigé le laboratoire de chimie marine (groupe « Substances marines à activité biologique »). Il est l'auteur de plus de 250 publications scientifiques internationales consacrées au domaine marin.

2-7430-0721-4



9 782743 007218