



MÉMENTO

DE PLANCTONOLOGIE  
MARINE

Jean d'Elbée



éditions  
Quæ



MÉMENTO  
**DE PLANCTONOLOGIE MARINE**



MÉMENTO  
DE  
**PLANCTONOLOGIE  
MARINE**

Jean d'Elbée

éditions  
**Quæ**

*Dans la même collection*

Mémento du forestier tropical,  
Gilles Mille et Dominique Louppe, coord.,  
1 200 p., 2015

Éditions Quæ  
RD 10, 78026 Versailles Cedex, France  
[www.quae.com](http://www.quae.com)

© Éditions Quæ, 2016

ISBN : 978-2-7592-2414-2

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

*Dieu créa les grands monstres marins, tous les êtres vivants et remuants, selon leur espèce, dont grouillèrent les eaux... et Dieu vit que cela était bon.*

*La Bible, Genèse (1, 21)*



1 cm

# Remerciements

La parution de cet ouvrage de planctonologie marine résulte d'une longue série de rencontres et d'étapes qui ont jalonné tout mon parcours professionnel, depuis les dernières années de ma vie étudiante jusqu'à aujourd'hui. Pourtant, à l'époque, Jean Boisseau, professeur à l'université de Bordeaux I et directeur de la Station biologique d'Arcachon, m'avait prévenu : « d'Elbée, le plancton, cela n'intéresse personne, il n'y a pas de boulot ! Ne venez pas pleurnicher après votre thèse pour un poste... » Après quelques instants de silence, il me fixa d'un regard complice et céda devant ma détermination.

Que de bons souvenirs de ces années de thèse, naviguant dans le bassin d'Arcachon, le golfe de Gascogne et l'estuaire de la Gironde tout proches pour récolter le précieux plancton avec Isabelle Auby, Guy Bachelet, Jacques Castel, Claude Cazaux, Pierre-Jean Labourg, Pierre Lasserre, Benoît Sautour, Jean-Claude Sorbe et Anne Thimel.

Quelques années plus tard, accueilli par Nicole Lacroix, j'atterrissais à l'Ifremer de Nantes au laboratoire Écologie et Modèles pour l'halieutique. Le travail en laboratoire, centré surtout sur l'ichthyoplancton et les larves de décapodes, alternait avec la participation à de nombreuses campagnes à la mer sur l'ancien navire de recherches halieutiques *Thalassa* en compagnie de Paul Bourriau, Yvon Desaunay, Patrick Grellier, Daniel Halgand, Jérôme Huet, Constantin Koutsikopoulos, Patrick Lassus, Jocelyne Martin, Jacques Massé, Pierre Petitgas et Daniel Woehrling. Là encore, des soutiens et des amitiés fidèles ont été tissés durant cette période exceptionnelle de formation à la planctonologie et au travail à la mer.

En 1990, l'installation du Laboratoire d'analyses de prélèvements hydrobiologiques (Laphy) au musée de la mer de Biarritz n'a été possible qu'avec la compréhension de monsieur le sénateur-maire de Biarritz de l'époque Didier Borotra, et l'accueil sans réserve de tout le personnel et des directeurs successifs de cette vénérable institution : Albert Percier, Janine Harambillet et Françoise Pautrizel. Je ne peux également oublier les liens et l'aide amicale du personnel scientifique de l'UFR Sciences et Techniques de la Côte basque-Anglet de l'université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) : Frank D'Amico, Valérie Bolliet, Noëlle Bru, Yann Lalanne, Claude Mouchès, Nacira Merchermek, Mathilde Monperrus et Jean-Claude Salvado, qui m'ont permis dès 1998 de participer activement aux enseignements dispensés en licence de Biologie des organismes et en master Dynamique des écosystèmes aquatiques. Durant toutes

Ci-contre : des filaments urticants portant des chapelets de nématocystes et des gastrozoïdes aux extrémités jaune vif servent à la nutrition de la physalie *Physalia physalis*, organisme pleustonique à distribution panocéanique (© Universidade de São Paulo/Alvaro E. Migotto, CEBIMar).

ces années, de nombreuses occasions se sont présentées pour travailler également avec Nathalie Caill-Milly, Marie-Noëlle de Casamajor, Muriel Lissardy, Gilles Morandeau, Patrick Prouzet et Florence Sanchez, formant l'équipe de l'Ifremer d'Anglet, avec Iker Castège et Émilie Milon, du Centre de la mer de Biarritz, Laurent Soulier, Nicolas Susperregui et Nathalie Anglade, de l'Institut des milieux aquatiques de Bayonne, Georges Hémerly (†), du Muséum national d'histoire naturelle, et Philippe Gaudin, directeur de la Fédération de recherche sur les milieux aquatiques MIRA, créée en 2011.

La citation de ces noms n'est qu'un moyen assez dérisoire pour remercier personnellement et pour souligner ce que chacun m'a apporté non seulement sur le plan scientifique, mais également sur la qualité des relations humaines et la construction d'une amitié durable au sein même de mon activité professionnelle.

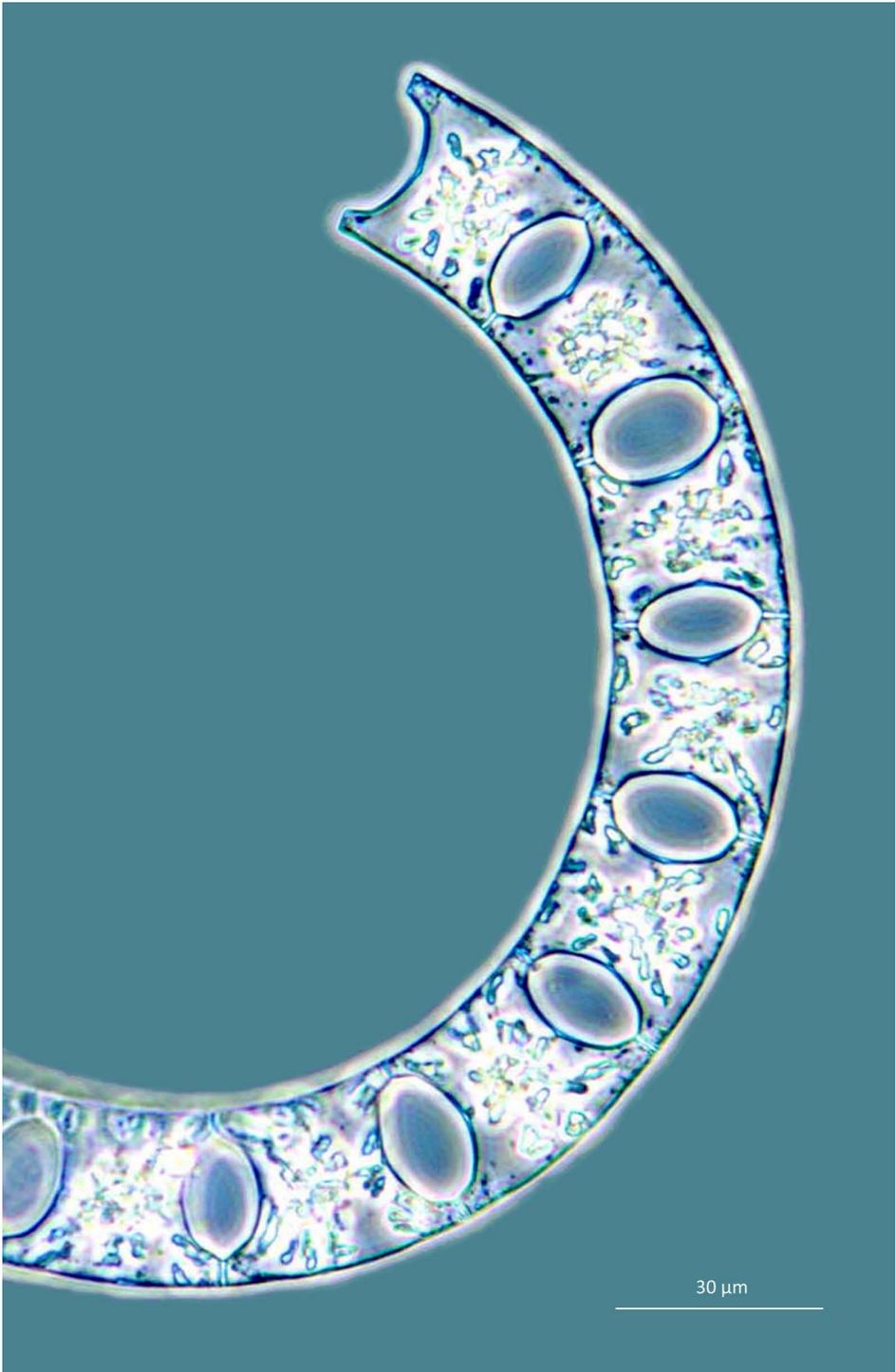
La parution de ce *Mémento de planctonologie marine* est également une aventure humaine impliquant de nombreux acteurs aux talents très variés dépassant largement le cadre d'une stricte activité rédactionnelle dans le domaine des sciences marines. Pour prendre une comparaison « biologique », une relation quasi symbiotique s'est progressivement instaurée entre les Éditions Quæ et l'auteur. Je n'oublierai jamais la confiance immédiate à mon égard de Véronique Leclerc, responsable éditoriale de Quæ, lors de notre première entrevue dans un café de la gare Montparnasse. Son enthousiasme communicatif a balayé d'un coup mes doutes et mes questionnements. Nelly Courtay, coordinatrice de projets éditoriaux et représentante de l'Ifremer au sein des Éditions Quæ, est certainement l'initiatrice qui a porté ce projet éditorial de bout en bout jusqu'à son terme. Elle a su me guider avec tact et détermination, et ce malgré mon caractère... Ses encouragements répétés, ses conseils judicieux et sa patience indéfectible ont été déterminants. Ici encore, j'ai expérimenté la confiance interpersonnelle nécessaire à ce travail collectif incluant Clarisse Robert, graphiste, Caroline Dandurand, responsable numérique, Juliette Blanchet qui a assuré l'édition de l'ouvrage, le tout supervisé par Jean Arbeille, directeur de Quæ.

Je ne peux citer également tous les organismes de recherche et les institutions qui m'ont autorisé à utiliser gratuitement les données scientifiques et l'iconographie publiée par leurs soins pour les intégrer dans ce projet éditorial. Frank D'Amico (UPPA Anglet), Pierre Caumette (Institut pluridisciplinaire de recherche sur l'environnement et les matériaux, IPREM/UPPA Pau), Jean-Claude Sorbe (Centre national de la recherche scientifique, CNRS, université de Bordeaux) et Thierry Mateille (IRD, Institut de recherche pour le développement) ont rogné sur leurs emplois du temps parfois chargés pour assurer la relecture d'un ou plusieurs chapitres. Leurs remarques, corrections et conseils ont été précieux pour l'amélioration de la compréhension du texte et de la lisibilité des figures. Une trentaine d'années se sont écoulées après ma rencontre amicale à Arcachon avec le professeur Pierre Lasserre. Aujourd'hui, sans hésiter, il me fait l'immense honneur de préfacer cet ouvrage.

Comment remercier également tous ceux, amoureux de la mer, plongeurs ou chercheurs professionnels, qui m'ont instantanément proposé d'utiliser leur photothèque personnelle pour illustrer et améliorer l'attractivité du *Mémento* ? Malgré la mention systématique des sources pour chaque photo, je veux ici citer les noms de Marie-Noëlle de Casamajor (Ifremer Anglet), Johan Decelle (CNRS/université Pierre-et-Marie-Curie, UPMC, Station biologique de Roscoff), Milan Kořínek, Maurice Loir, Fabien Lombard (Laboratoire d'océanographie physique et biogéochimique, LOPB-UMR 6535), Alenka Malej (Marine Biological Station Piran, MBSP, Slovénie), Vincent Maran (Données d'observations pour la reconnaissance et l'identification de la faune et la flore subaquatiques, DORIS), Marc Picheral (Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer, LOV, CNRS-UPMC), David Pond (Scottish Marine Institute), Roberto Pillon, Henny Rob Rutgers, Roger R. Seapy (California State University) et Lars Stemmann (LOV, CNRS/UPMC). Je remercie vivement la direction de la communication de l'Ifremer qui, par l'intermédiaire de Danièle Lemerrier et Marion Le Foll, a permis l'accès à l'importante photothèque de cet Institut et à celles d'autres départements (EnvLit, Phenomer et Station de Concarneau). On remarquera également les superbes microphotographies d'Alvaro E. Migotto (Universidade de São Paulo/CEBIMar), qui m'a très amicalement ouvert sans réserve sa prestigieuse photothèque.

Ce projet éditorial n'aurait jamais pu aboutir dans des conditions satisfaisantes sans l'aide de partenaires financiers tous impliqués dans l'étude des océans et de leur préservation. Ainsi, Françoise Pautrizel, directrice de Biarritz Océan qui regroupe l'Aquarium de Biarritz et la Cité de l'océan, Iker Castège, directeur du Centre de la mer de Biarritz et de son programme ERMMA (Environnement et ressources des milieux marins aquitains), et Cyril Mallet de l'Observatoire de la Côte aquitaine ont tous proposé une participation financière d'autant plus louable qu'elle se situe dans un contexte de fortes contraintes budgétaires. Leurs logos en fin d'ouvrage témoignent bien sûr de leur implication financière, mais aussi et surtout de leur confiance en ce projet, et c'est cela qui me touche.

Enfin, le principal moteur qui a indéfectiblement initié cette aventure et l'a propulsée chaque jour un peu plus jusqu'à son terme se trouve dans la présence discrète et constante de mon épouse Monique. Elle a véritablement connu et vécu, j'allais dire *in vivo*, mes moments de doute et de joie, mes avancées et mes stagnations, certains syndromes récurrents de la page blanche ou du « Je n'y arriverai jamais... ». À elle et à nos cinq enfants, Claire et son mari Thomas avec leur petite Lucille, Jean-Marie, Raphaël et sa future épouse Yoné, Marc et Christian, je dédie ce livre en signe d'une immense reconnaissance à leur égard pour tout l'amour reçu.



La diatomée *Eucampia zodiacus*, commune dans les eaux littorales, forme des colonies hélicoïdales de plusieurs cellules. L'éclairage au contraste de phase laisse apparaître les fins détails ultrastructuraux de la frustule, enveloppe siliceuse assurant la rigidité et la flottabilité de la colonie (© Maurice Loir).

# Préface

Le *Mémento de planctonologie marine* de Jean d'Elbée est le fruit du travail d'un chercheur passionné.

L'ouvrage aborde certains des concepts et des questions incontournables que nous nous posons aujourd'hui, sur le rôle de l'immense et complexe écosystème planctonique, ce monde vivant encore mal connu dérivant au gré des courants océaniques et qualifié par les plus grands experts de « majorité invisible » ou de « trou noir » de la biodiversité.

L'océan recouvre les deux tiers de notre planète, et l'immense « galaxie » des organismes planctoniques qui habitent ses eaux de surface produit 50 % de l'oxygène que nous respirons. Notre existence dépend donc de sa vitalité. La diversité du plancton marin est énorme, elle constitue une gigantesque « voie lactée » vivante, fruit de l'évolution des virus, des bactéries et des eucaryotes qui ont émergé il y a des millions d'années.

L'océanographie biologique a fait de grands progrès. Les apports conceptuels et technologiques récents de l'imagerie macroscopique et microscopique, de la physiologie, de la cytométrie en flux et de la modélisation, permettent d'analyser les degrés d'évolution et les caractéristiques fonctionnelles complexes des communautés planctoniques. La génomique populationnelle portant sur la biodiversité océanique, initiée aux États-Unis par les travaux du groupe de Craig Venter sur la mer des Sargasses, s'est généralisée. Elle permet désormais de répondre aux questions les plus fondamentales de la diversité planctonique. Cette dernière est énorme, elle reste encore à isoler, identifier et étudier.

Le Plankton Planet Project, porté par l'équipe scientifique internationale du célèbre voilier *Tara Océans*, encourage une flottille toujours plus nombreuse de plaisanciers « citoyens planctonautes », prêts à échantillonner le plancton marin dans tous les océans du monde. Un kit, mis à leur disposition, leur permet de collecter et d'isoler sur filtre des échantillons de plancton qui seront ensuite expédiés aux stations marines et laboratoires scientifiques spécialisés. Ces derniers se chargeront des analyses du matériel récolté, à l'aide du séquençage massif de codes-barres ADN, et permettront de recenser et de comptabiliser les espèces présentes dans chaque échantillon.

Chaque espèce planctonique, aussi humble et discrète soit-elle, est un chef-d'œuvre de biologie et d'esthétique.

Le plancton utilise l'énergie solaire pour façonner, depuis plus de deux milliards d'années, les conditions environnementales qui ont permis l'évolution des organismes multicellulaires et des communautés biologiques de plus en plus complexes. C'est le métabolisme du plancton marin qui contribue au

maintien des principaux cycles biogéochimiques que d'autres organismes ne sont pas capables d'assurer, en particulier les cycles responsables des productions d'oxygène nécessaires à la vie aérobie. Bien que les plantes terrestres, les grands massifs forestiers, les mangroves littorales et prairies marines côtières, constituent la grande majorité de la biomasse photosynthétique sur notre planète, le seul phytoplancton marin est responsable de près de la moitié de la photosynthèse globale nette produite par notre planète. On sait que le renouvellement rapide de la biomasse phytoplanctonique a des conséquences importantes sur le changement climatique et sur la neutralisation des polluants d'origine anthropique.

Jean d'Elbée a judicieusement choisi d'initier ses lecteurs aux thématiques qui abordent le fonctionnement de l'écosystème planctonique. Les trois parties qui composent son *Mémento* exposent des résultats de travaux scientifiques récents, rigoureusement décortiqués et commentés, tout en restant accessibles à des non-spécialistes.

D'une lecture agréable et richement illustré, le livre de Jean d'Elbée s'efforce d'introduire les thèmes traités de façon ordonnée et synthétique : parmi eux, la diversité et la complexité des communautés planctoniques, leur vulnérabilité face aux dangers majeurs du réchauffement climatique et de l'acidification des océans, les effets inquiétants de l'étendue des pollutions chimiques et de la présence alarmante dans tous les océans et mers côtières — de la surface aux grandes profondeurs océaniques — d'immenses « nuages » de particules plastiques.

Le docteur Jean d'Elbée a créé le Laphy (Laboratoire d'analyses de prélèvements hydrobiologiques), bien connu sur la Côte basque. Il a contribué aux chapitres Biodiversité marine (6.2) et Ressources exploitées par la pêche et l'ostréiculture (6.3), de l'important rapport « Les impacts du changement climatique en Aquitaine, un état des lieux scientifique », établi sous la direction d'Hervé Le Treut (Presses universitaires de Bordeaux, 2013).

Le *Mémento de planctonologie marine* de Jean d'Elbée sera un guide précieux pour les scientifiques et techniciens de la mer, les enseignants, les étudiants, les futurs « planctonautes » et tous ceux, toujours plus nombreux, que la vie océanique fascine. Je m'en réjouis.

**Pierre Lasserre**

Membre d'Academia Europaea

Professeur honoraire à l'université Pierre-et-Marie-Curie (UPMC Sorbonne)

Ex-directeur de la Station biologique de Roscoff (UPMC-CNRS)

Ancien enseignant-chercheur à l'université de Bordeaux-I (IUBM Arcachon)

Secrétaire général honoraire du programme l'Homme et la Biosphère (Unesco/MAB)

Ex-directeur du Bureau Unesco de Venise pour la science et la culture

# Sommaire

Remerciements.....	7
Préface .....	11
Sommaire.....	13
Avant-propos .....	17

## Partie I Présentation et fonctionnement du milieu pélagique

<b>Chapitre 1. Milieu océanique et plancton.....</b>	<b>21</b>
1.1. Présentation du milieu océanique .....	23
1.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau de mer.....	33
<b>Chapitre 2. Les méthodes d'étude du plancton.....</b>	<b>47</b>
2.1. L'échantillonnage <i>in situ</i> du plancton marin.....	49
2.2. L'observation sous-marine .....	60
2.3. L'observation satellitaire .....	70
2.4. L'analyse du plancton en laboratoire : un complément des études <i>in situ</i> .....	77
2.5. La quantification et l'identification traditionnelles du plancton .....	78
2.6. La quantification et l'identification automatisées du plancton.....	81
2.7. Les nouveaux apports de la génomique.....	85
<b>Chapitre 3. Nutriments, métabolismes et cycles biogéochimiques dans l'océan .....</b>	<b>93</b>
3.1. Les nutriments dans l'eau de mer .....	95
3.2. Métabolismes énergétiques des organismes planctoniques.....	100
3.3. Le cycle de l'eau .....	110
3.4. Le cycle du carbone .....	113
3.5. Les autres cycles .....	121
3.6. Les réseaux trophiques pélagiques .....	126

## Partie II

### Quelques aspects de l'écologie des organismes planctoniques

<b>Chapitre 4. Voir sans être (trop) vu.....</b>	<b>133</b>
4.1. La diversité des photorécepteurs.....	135
4.2. La bioluminescence.....	140
4.3. Les organes responsables de la bioluminescence.....	145
4.4. Les fonctions de la bioluminescence.....	151
4.5. La transparence des organismes planctoniques.....	155
4.6. La pigmentation des organismes planctoniques.....	162
<b>Chapitre 5. La problématique de la gravité : flotter, nager ou sombrer.....</b>	<b>167</b>
5.1. L'accroissement des forces de frottement.....	169
5.2. Le maintien et la régulation de l'équilibre hydrostatique.....	174
5.3. Un mécanisme actif : la nage.....	179
<b>Chapitre 6. La collecte de nourriture.....</b>	<b>191</b>
6.1. La prédation.....	193
6.2. La filtration de l'eau.....	208
6.3. La nutrition des unicellulaires.....	215
<b>Chapitre 7. Reproduction et développement.....</b>	<b>221</b>
7.1. Toute une vie en pleine eau.....	223
7.2. Une vie partagée entre le fond et le plein océan.....	228
7.3. L'adaptation de la reproduction avec le changement de biotope.....	233
7.4. La diversité des cycles chez les unicellulaires.....	246
<b>Chapitre 8. L'adaptation aux contraintes environnementales.....</b>	<b>255</b>
8.1. La reproduction : un processus d'ajustement efficace.....	257
8.2. La fuite vers les profondeurs.....	267
8.3. Un milieu extrême : l'interface air-océan.....	274
<b>Chapitre 9. Biodiversité et biogéographie du plancton.....</b>	<b>285</b>
9.1. Définition et évaluation de la biodiversité marine.....	287
9.2. La distribution spatiale de la biodiversité planctonique.....	303
9.3. Une biogéographie du plancton au-delà des espèces.....	308

## Partie III

### Les interactions entre l'écosystème planctonique et l'homme

<b>Chapitre 10. Plancton et variations du climat</b> .....	317
10.1. Les variations du climat : une histoire ancienne.....	319
10.2. L'évolution actuelle du climat.....	325
10.3. Réactions et adaptations du plancton aux modifications du climat.....	331
10.4. Phénologie et réchauffement des eaux marines.....	340
10.5. Plancton et acidification des océans.....	347
10.6. Réchauffement climatique et cycle du carbone.....	352
10.7. Quelle réponse de l'écosystème planctonique au réchauffement du climat ? .....	355
 <b>Chapitre 11. Toxicité et nuisances du plancton</b> .....	 359
11.1. Généralités sur la dangerosité des organismes marins.....	361
11.2. Zooplancton et envenimation.....	367
11.3. Phytoplancton et intoxication.....	375
11.4. Intoxications par les microorganismes.....	394
 <b>Chapitre 12. Proliférations et agrégations</b> .....	 399
12.1. Les proliférations du macrozooplancton.....	401
12.2. Les proliférations du microplancton.....	410
12.3. Les agrégats pélagiques.....	420
 <b>Chapitre 13. Plancton et sociétés humaines</b> .....	 429
13.1. Le plancton : une ressource alimentaire limitée.....	431
13.2. Le plancton au service des nouvelles biotechnologies.....	435
13.3. La pollution anthropogénique de l'écosystème océanique.....	452
 <b>Bibliographie</b> .....	 473
<b>Glossaire</b> .....	509
<b>Index</b> .....	517



1 mm

## Avant-propos

À l'occasion de mon dixième anniversaire, mes parents avaient eu l'idée de m'offrir un cadeau peu ordinaire. C'était une boîte pratiquement de ma taille où était inscrit en gros caractères « Biologie 2000 » sur un fond luxuriant de forêt tropicale. À cette époque, l'année 2000 était une date lointaine et mythique, associée à tous les superlatifs. Déjà curieux de nature et de la nature, je l'ouvris sans tarder et mes yeux se fixèrent instantanément sur le principal instrument placé au centre de la boîte : un petit microscope en plastique noir, de dix centimètres de hauteur, accompagné de quelques produits inoffensifs pour un garçon de mon âge. En plaçant mon œil dans l'oculaire et en réglant le miroir pour orienter le faisceau lumineux, j'accédais enfin à l'invisible, à un monde que je ne connaissais pas hormis dans les livres.

À partir de ce jour, les découvertes de ce nouveau monde s'enchaînèrent à un rythme soutenu : c'étaient des paramécies que je découvrais dans une simple goutte d'eau prise du pot de fleurs du salon, des larves toutes rouges et frétil-lantes de chironomes récoltées dans les flaques boueuses du jardin, et même de gros acariens gluants et velus sur les croûtes de l'Ardi-Gasna, le fromage de brebis de chez nous, au Pays basque.

Les plus fortes passions naissent souvent de peu de chose : parfois un conseil, une idée prise au vol dans une conversation, ou un cadeau offert.

Ma passion pour ce *microcosmos* vivant a donc commencé tôt, et explique mon parcours universitaire et professionnel. Elle m'a conduit naturellement à la planctonologie marine. La beauté des organismes planctoniques, l'infinie variété des formes et des couleurs, leurs surprenantes facultés d'adaptation et d'évolution attisent encore, comme au premier jour, ma curiosité et mon désir d'en savoir plus sur ce monde de l'ombre et des petits, en fait très peu connu.

Aujourd'hui encore je jubile à l'idée de découvrir, sous ma binoculaire, une étrange bestiole ou microalgue, jamais observée durant mes trente années de carrière ! C'est dire si la diversité du plancton pourra entretenir encore longtemps mon émerveillement...

Un courrier électronique en provenance des Éditions Quæ me proposant l'écriture d'un livre sur le plancton marin : voilà l'impulsion qui a lancé ce projet, ou plutôt cette aventure ! Ces dernières années, le plancton est devenu un sujet d'actualité, entretenu par le questionnement des conséquences du réchauffement climatique et de l'acidification des océans sur les peuplements marins. Les expéditions scientifiques organisées récemment par *Tara Océans* ont également

Ci-contre : cette larve de calmar *Alloteuthis* sp. peut, pour se camoufler, faire varier l'étendue de sa pigmentation assurée par les chomatophores orange, rouges et noirs distribués sur son corps (© Laphy/Jean d'Elbée, golfe de Gascogne).

largement médiatisé les études à l'échelle de l'océan mondial, menées sur la diversité et l'écologie du plancton marin.

Ce mémento n'a pas la prétention de l'exhaustivité dans ce domaine de recherche si vaste et si évolutif de la planctonologie marine. Clairement, l'option retenue est la concision et le développement de quelques thématiques fondamentales, ou particulièrement actuelles, gravitant autour de ce domaine.

Ces dernières, réunies en treize chapitres, permettent d'aborder trois facettes du milieu marin. Elles concernent le fonctionnement du milieu pélagique, la biologie et l'écologie des organismes planctoniques, et l'interférence des facteurs sociétaux générés par les activités humaines sur l'écosystème planctonique.

L'abondance des données chiffrées, des graphiques ou des figures est un parti pris que j'assume, malgré le risque d'une certaine lourdeur du texte et de leur rapide obsolescence. Mais la plupart d'entre elles doivent être considérées comme un ordre de grandeur des valeurs indiquées permettant de comparer les variables quantitatives physiques et biologiques, et d'accéder à des rapports de proportionnalité indispensables à la compréhension des phénomènes ou processus étudiés.

Le texte et l'abondante iconographie sont toujours en référence et en correspondance mutuelle. Là encore, j'ai volontairement privilégié l'analyse et l'interprétation réciproque des figures par le texte, la complémentarité du visuel et de l'écriture, au risque d'une certaine redondance. Les illustrations sont issues de nombreuses sources bibliographiques ou informatiques. La plupart d'entre elles ont été refaites avec le souci d'une simplification ou d'une meilleure lisibilité.

Ce livre est certainement le *continuum* de ma passion, et non un aboutissement. Il s'adresse à un public averti, soucieux d'une meilleure compréhension de l'écosystème planctonique, mais aussi à tous ceux intéressés par la biologie et l'écologie marines, ou simplement aux amoureux de l'océan.

Fragile, ce dernier est en danger. Puisse ce livre susciter au lecteur l'ambition de mieux le comprendre et la détermination, par un comportement plus responsable, de mieux le protéger.

*Les termes signalés par un astérisque  
sont explicités dans le glossaire en fin d'ouvrage.*