

Ingénieurs, chercheurs, étudiants, gestionnaires

GILBERT **BARNABÉ**



Écologie et aménagement des eaux marines

Le potentiel des océans et des mers



Lavoisier
TEC & DOC

Chez le même éditeur

Changement climatique et cycle de l'eau –

Impacts, adaptation, législation et avancées scientifiques

I. La Jeunesse, Ph. Quevauviller, 2016

Droit de l'environnement – Comprendre et appliquer la réglementation

P. Malingrey, 2016

Chimie et pollution des eaux souterraines

O. Atteia, 2015

Écologie des zones humides – Concepts, méthodes et démarches

J.-B. Bouzillé, 2014

Connaissance de la biodiversité végétale – Démarches et outils technologiques

J.-B. Bouzillé, 2014

Diagnostic, aménagement et gestion des rivières

G. Degoutte, 2012

Protection des eaux souterraines

Ph. Quevauviller, 2010

Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux

C. Delarras, B. Trébaol, J. Durand, 2^e édition, 2010

Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques

J.-C. Amiard, C. Amiard-Triquet, 2008

Métrologie en chimie de l'environnement

Ph. Quevauviller, 2^e édition, 2006

Matériaux de référence pour l'environnement

Ph. Quevauviller, 2002

Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture

G. Barnabé, 1991

Aquaculture

G. Barnabé, 2^e édition, 1989

Direction éditoriale : Fabienne Roulleaux

Édition : Mélanie Kucharczyk

Conception couverture : Nord Compo

Fabrication : Estelle Perez

Composition : Desk (53)

Photo de couverture : © Gilbert Barnabé

REMERCIEMENTS

Le projet de ce livre revient à Emmanuel Leclerc et à Fabienne Roulleaux, directeurs éditoriaux des Éditions Lavoisier.

Les travaux des auteurs cités dans le texte ou de tous ceux dont les figures ou graphiques ont été repris ou adaptés en ont constitué la base, qu'ils en soient remerciés.

De nombreux amis collègues, institutions ou sociétés ont accepté d'illustrer cet ouvrage de leurs irremplaçables photographies ; encore merci à toutes et à tous pour votre contribution : Bachet F., Chauvet C., Fallourd S. (www.plongee-libre.fr), Francour P., Kraaijeveld C. (Sc. Algolesko), Sardet C. (Chroniques du plancton), Shirah G. (NASA Scientific Visualization Studio), Taquet M. (Fadio/IRD-Ifremer), Taylor X. (University of North Carolina Wilmington Microscopy Facility), Watson N. et Thompson L. (Chisholm S. [P], MIT), Williamson C. (NIWA. New Zeland Natural Resources).

Je suis redevable à Mélanie Kucharczyk, mon éditrice, de bien des corrections apportées au texte initial. Merci encore, Mélanie, pour cette fructueuse collaboration.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Aménager les eaux marines : pourquoi ?	1
1. Les objectifs de l'ouvrage	1
2. Une approche écologique	2
3. L'aménagement	2
4. Aménagement et gestion	3
5. Un point de vue holistique.....	4
6. Organisation générale de l'ouvrage	4

L'écologie des eaux marines

CHAPITRE 1

La Terre, planète océane	9
1. Données générales	9
2. Échelles spatiales et temporelles dans l'océan	11
3. Le domaine océanique français	12
4. Importance des océans pour l'homme	12

CHAPITRE 2

L'eau de mer	15
1. Température	15
2. Thermocline	16
3. Salinité, sels dissous	18
4. Densité spécifique	20
5. Chaleur spécifique	21
6. Pression hydrostatique	21
7. Gaz dissous	22
8. pH et système carbonates	23
9. La glace en mer	25

CHAPITRE 3

Mouvements des eaux	27
1. Données sommaires sur la dynamique des fluides	27
2. Microcouche de surface (couche limite océan-atmosphère)	32
3. Mouvements périodiques	33
4. Courants	37
5. Tourbillons, gyres, grands courants océaniques	42
6. Couche de mélange	46
7. Stratification des eaux	47
8. Apports d'eau douce en zone côtière	49

9. Aperçu sur la dynamique des sédiments marins	50
10. Conclusion	52

CHAPITRE 4

Océan, atmosphère, climat	55
1. Radiations solaires	55
2. Pénétration du rayonnement solaire dans l'eau	57
3. Gains, pertes et stockage de la chaleur	60
4. Précipitations, évaporations et transports atmosphériques	62
5. Effet de serre	64
6. Effet de serre et océan	68
7. Fixation du CO ₂ par le phytoplancton (pompe biologique à carbone)	69
8. Évolution climatique et température moyenne	71
9. Acidification des océans	73
10. Prévisions climatiques et controverse sur le climat	76
11. COP21 – 21 ^e Conférence des Parties, Paris 2015	82
12. Conclusion	82

CHAPITRE 5

Réseaux trophiques océaniques	89
1. Particularités des êtres marins	89
2. Grandes catégories d'êtres aquatiques	91
3. Photosynthèse et réseaux trophiques	92
4. Plancton autotrophe (phytoplancton)	93
5. Boucle microbienne	96
6. Matière organique dissoute	101
7. Zooplancton (production secondaire pélagique)	103
8. Planctonophages	106
9. Carnivores d'ordre supérieur	108
10. Cannibalisme	110
11. Matières plastiques, leurre mortel	110
12. Producteurs benthiques	110
13. Pollutions et réseaux alimentaires	112
14. Conclusion	113

CHAPITRE 6

Facteurs physiques et production biologique	117
1. Mouvements des eaux à l'échelle des organismes aquatiques	117
2. Hétérogénéité spatiale et essaims	125
3. Stratification des océans et biologie des eaux superficielles	126
4. Remontées d'eau profondes (résurgences ou upwellings)	130
5. Turbulences et production en eaux côtières	132
6. Points clés	136
7. Conclusion	137

CHAPITRE 7

Biomasses et productions de matière vivante dans l'océan	141
1. Production primaire pélagique	141
2. Production d'algues benthiques	142
3. Production secondaire pélagique	142
4. Production globale de poissons	143
5. Production de poissons pêchés	144
6. Biomasses benthiques	145
7. Variations de la production	145
8. Conclusion	146

L'homme et les eaux marines

CHAPITRE 8

L'homme et le rivage : habitat, loisirs et tourisme	151
1. Ligne de rivage, frontière et interface	151
2. Attrait irrationnel du rivage	152
3. Tourisme côtier	152
4. Autres activités liées au littoral	155
5. Aspects de la pression anthropique sur le littoral	157
6. Conclusion	160

CHAPITRE 9

Pollutions des eaux marines	163
1. Apports d'eaux continentales polluées en zone côtière	163
2. Rejets d'émissaires en mer	172
3. Autres pollutions typiques des océans	175
4. Compensations de la pollution	184
5. Conclusion	184

CHAPITRE 10

L'exploitation des ressources vivantes marines – Halieutique et aquaculture	191
1. Situation générale	191
2. Pêches maritimes	193
3. Exploitation des ressources aquatiques par l'aquaculture	204
4. Conclusion	211

Les aménagements des eaux marines

CHAPITRE 11

Situation de l'aménagement aquatique	219
1. Fondements scientifiques de l'aménagement aquatique	219
2. Science écologique et aménagement	220
3. Dimension globale de l'aménagement	221
4. Conclusion	223

CHAPITRE 12

Conservation et valeur économique des océans	225
1. La conservation : pourquoi ?	225
2. Spécificité de la conservation dans les eaux marines	226
3. Biodiversité, résilience, réorganisation des écosystèmes	227
4. Invasions biologiques	228
5. Formes de conservation et de protection dans le domaine marin	229
6. Réserves et parcs naturels	231
7. Conditions du succès des aires marines protégées	232
8. Impact des aires marines protégées	233
9. Artefacts de l'effet réserve : concentration et comportement	235
10. Effets négatifs des aires marines protégées	236
11. Gestion des pêches : une conservation avortée	237
12. Bénéfices de la généralisation des aires marines protégées	238
13. Conservation des écosystèmes et aires marines protégées	238
14. Aspects conservatoires de l'aquaculture	239
15. Voies multiples de l'aménagement	239
16. Valeur économique de la nature	240
17. Empreinte écologique	243
18. Conclusion	244

CHAPITRE 13

Eaux continentales, eaux usées, eaux marines	249
1. Recyclage et auto-épuration au sein des écosystèmes aquatiques	249
2. Épuration et production biologique dans les eaux côtières	254
3. Une menace insidieuse et grave : la pollution invisible et non détectée	256
4. Conclusion	257

CHAPITRE 14

Écosystèmes aménagés et aquaculture traditionnelle en zone côtière	261
1. Typologie des eaux côtières abritées	261
2. Aquaculture en eaux côtières	262
3. Pisciculture traditionnelle en étangs et lagunes côtières	267
4. Élevages intensifs en cage	274
5. Devenir de l'aquaculture traditionnelle en zone côtière	274
6. Aquaculture fondée sur les captures	276
7. Pacage marin, repeuplement, renforcement des stocks	276
8. Conclusion	277

Les outils actuels de l'aménagement

CHAPITRE 15

Habitats ou récifs artificiels	283
1. Interfaces en milieu aquatique	283

2. Définition et rôle des habitats artificiels	283
3. Typologie et utilisation des récifs (habitats) artificiels	285
4. Création de récifs par précipitation électrochimique	304
5. Conclusion	305
CHAPITRE 16	
Dispositifs de concentration de poissons	311
1. Définition et fonction	311
2. Structure	312
3. Différents types de DCP	313
4. DCP et comportement des poissons	315
5. Conclusion	316
CHAPITRE 17	
Mise en mouvement des eaux	319
1. Une circulation naturelle des eaux parfois déficiente	319
2. Dispositifs passifs de maîtrise du mouvement des eaux	320
3. Mise en circulation forcée des eaux et aménagements	322
4. Mise en mouvement des eaux et collecte de plancton	328
5. Conclusion	329
CHAPITRE 18	
Écloserie et maîtrise du recrutement	331
1. Fécondité et survie des espèces marines	331
2. Obtention des juvéniles dans les activités traditionnelles	334
3. Révolution de l'écloserie-nourricerie	335
4. Situation nouvelle de l'exploitation des ressources marines	338
5. Repeuplements, pacage marin, transplantations... ..	339
6. Conclusion : des perspectives à très grande échelle	344
CHAPITRE 19	
Culture des algues	349
1. Microalgues	349
2. Macroalgues	350
3. Renforcement des champs d'algues naturels	356
4. Conclusion	357
CHAPITRE 20	
Mollusques filtreurs et aménagements	361
1. Recyclage de la production planctonique par le benthos	361
2. Bivalves, filtreurs dominants des eaux côtières	364
3. Bivalves et écosystèmes aménagés	366
4. Cultures en suspension en mer ouverte	368
5. Création de nouveaux écosystèmes productifs	369

6. Aquaculture multitrophique	370
7. Conclusion	370

CHAPITRE 21

Cages à poissons	373
1. Une technique éprouvée	373
2. Espèces élevées	375

Le potentiel des océans et des mers

CHAPITRE 22

Vivre en mer : pourquoi, comment ?	379
1. Changer de vision	379
2. Habiter en mer : survol des réalisations	381
3. Projets d'îles flottantes artificielles et autres constructions	384
4. Mégastructures flottantes	386
5. Acquis de l'aquaculture en mer ouverte	387
6. Utilisation éventuelle de déchets ou matériaux présents en mer	389
7. Réhabilitations et recyclage : de vrais opportunités économiques	389
8. Tourisme et loisirs en haute mer	390
9. L'embaras du choix sur les eaux	391
10. Pollution et dépollution	391
11. Perspectives économiques et financières	392
12. Conclusion	393

CHAPITRE 23

Sites favorables	397
1. Problème de la profondeur	397
2. Plateaux continentaux	397
3. Continent dispersé des guyots	398
4. Gyres, tourbillons et remous	400
5. Critères géographiques	400
6. Amarrage sur le fond	402
7. Protections contre vents et vagues	403
8. Contraintes biologiques	404
9. Utilisation des techniques de plongée	404
10. Autres utilisations des plateformes habitées	405
11. Conclusion	405

CHAPITRE 24

Énergies marines	409
1. La mer, source d'énergie	409
2. Autres sources d'énergie utilisables	412
3. Conclusion	413

CHAPITRE 25	
Enrichissements des eaux	415
1. Création d'upwellings artificiels en mer	415
2. Autres types d'enrichissements et fertilisations	418
3. Fertilisation et géo-ingénierie	418
4. Conclusion	419
CHAPITRE 26	
Substrats, habitats flottants, dispositifs de concentration de poissons, capteurs	421
1. Habitats flottants naturels	421
2. Habitats artificiels flottants ou en pleine eau	422
3. Substrats dérivants	424
4. Création de récifs électrochimiques	424
5. Conclusion	425
CHAPITRE 27	
Cultures d'algues	427
1. Cultures de microalgues	427
2. Macroalgues	428
3. Cultures en îlots satellites	430
4. Conclusion	431
CHAPITRE 28	
Filtreurs	433
1. D'énormes capacités filtrantes	434
2. Cultures de filtreurs en suspension en mer ouverte	434
3. Conclusion	438
CHAPITRE 29	
Élevage des poissons en cage au large	441
1. Une technique opérationnelle	441
2. D'autres perspectives	442
3. Conclusion	442
CHAPITRE 30	
Potentiel des nouvelles pêches	445
1. Pêches traditionnelles	445
2. Collectes de zooplancton	445
3. Des perspectives gigantesques	448
4. Conclusion	449
CHAPITRE 31	
Autres grands types de valorisations	451
1. Vacances, tourisme et loisirs	451
2. Exploitation des ressources minérales des fonds océaniques	451
3. Géo-ingénierie	452

Conclusion générale	453
1. Océan, biologie, hydrologie et climat imbriqués	453
2. Les menaces anthropiques sur l'océan	454
3. L'inestimable valeur économique des océans	456
4. Les potentiels de l'aménagement	457
5. L'aménagement, rempart contre la pollution	459
6. Ajouter la dimension de l'aménagement aux études : priorité à l'action	459
7. Changer de paradigme : habiter la mer	460
Glossaire	463
Index	471

L'étude des écosystèmes marins est devenue une thématique de recherche majeure pourtant, malgré la profusion des données, il est difficile de se faire une idée précise sur l'état des océans et des mers, leur fonctionnement, leur rôle et leur devenir. C'est l'objectif de cet ouvrage pluridisciplinaire de synthèse, qui expose **le fonctionnement des écosystèmes marins, les interactions que l'humanité entretient avec eux et l'incroyable potentiel des océans pour notre futur**. Il s'articule autour de cinq parties qui développent successivement :

- les interactions entre océanographie physique, écologie et biologie marine ;
- les rapports entre l'homme et les eaux marines (habitat, loisirs, tourisme, pollution, pêche, aquaculture) ;
- la multiplicité des interventions réalisées par l'homme dans les eaux côtières pour les conserver ou les aménager ;
- les outils actuels capables de s'intégrer au fonctionnement des océans et des mers (récifs artificiels, dispositifs de concentration de poissons, écloseries, cultures d'algues...) ;
- le fort potentiel des océans pour la production de ressources vivantes, l'élimination des pollutions et la régulation du climat, et des propositions pour « vivre en mer ».

L'écologie marine, l'halieutique, l'aquaculture, les loisirs, le tourisme et l'économie circulaire sont impliqués dans cette coopération entre l'espèce humaine et la mer pour permettre la protection, l'aménagement et une valorisation durable des eaux marines. Les données bibliographiques permettent toujours d'aller plus loin, transformant cette synthèse en un portail d'accès au monde des mers et des océans. De nombreux schémas explicatifs et les remarquables clichés de spécialistes du monde marin illustrent ces propos.

Cet ouvrage s'adresse à un public diversifié d'étudiants, de biologistes, écologistes, halieutes, géographes, ainsi qu'aux planificateurs et aux décideurs, mais aussi aux pêcheurs et aux plongeurs, à travers un vaste champ d'intérêts et d'usages.

Gilbert Barnabé est Professeur honoraire à la faculté des sciences de Montpellier. Il est l'auteur ou le coordonnateur d'ouvrages de référence en aquaculture et écologie. Ses travaux et ceux de ses étudiants ont porté sur l'élevage du Loup et de la Daurade (300 000 tonnes/an) et les études en mer.