

# VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement

Volume 5 Numéro 3 | décembre 2004

La biodiversité des océans : ses différents visages, sa valeur et sa conservation

Dossier: La biodiversité des océans: ses différents visages, sa valeur et sa conservation

---

## Biodiversité marine et exploitation biotechnologique des océans

YVES LE GAL

---

### *Résumés*

Français English

La grande biodiversité des océans est la conséquence, d'une part d'une très longue histoire évolutive qui a permis au vivant d'expérimenter de très nombreux modèles moléculaires ou solutions d'adaptations à des environnements très divers, mais aussi de la structure tridimensionnelle des multiples écosystèmes marins. A cela s'ajoute l'effet multiplicateur dû à l'imbrication d'une infinité d'écosystèmes de toutes tailles.

Cette biodiversité est, dans sa globalité, très différente de celle qui est observée sur l'espace terrestre, comme le montre la présence dans les océans de nombreux phylums endémiques mais aussi comme le suggère les mises au jour de nombreuses espèces de toutes tailles et de formes nouvelles d'organisation du vivant.

Tout ceci a des conséquences pratiques. Les biomasses marines et leur diversité constituent un ensemble de ressources exploitables et valorisables, utiles pour l'homme. Les secteurs de l'alimentation sont concernés, comme ceux de la santé. Un extraordinaire champ d'applications biotechnologiques est en cours d'ouverture.

The large marine biodiversity is the consequence, on one hand of a very long evolutionary history which allowed the primitive living organisms to experiment very numerous molecular models and exploit a large panel of adaptations to very different environments, but also of the three-dimensional structure of the multiple marine ecosystems. To that, one has to add the multiplicative effect created by the cross-interactions between infinity of ecosystems of any sizes.

This biological diversity is, in its global nature, very different from that observed on the continental space: as shown by the presence, in the oceans, of numerous endemic phylums but

also as suggested by the recent discovery of many “new” marine living organisms of any sizes and of new forms of organization of living systems.

This has practical consequences. The marine biomasses and their variety constitute a set of exploitable and up-gradable resources, many of them being potentially useful for man. The sectors of food industry are concerned as those of healthcare. An extraordinary field of biotechnological applications is now being opened.

---

## ***Entrées d'index***

**Mots-clés :** biodiversité, biomasses, biotechnologies, évolution, molécules, océans

**Keywords :** biodiversity, biomass, biotechnology, evolution, molecules, ocean

---

## ***Texte intégral***

- 1 Tous les systèmes vivants sont bâtis sur un même schéma général associant plusieurs catégories de molécules spécialisées dans certaines catégories de fonctions : aux acides nucléiques l'information, aux protéines les opérations de catalyse, aux lipides la délimitation des territoires, à l'ATP la gestion de l'énergie, etc. En réalité, les choses sont infiniment plus complexes mais, très schématiquement, tous les organismes vivants unicellulaires, plantes, animaux, ... répondent à un modèle quasi universel élaboré au cours des centaines de millions d'années qu'a duré l'évolution (Lecointre et Le Guyader, 2001).
- 2 Tout à fait paradoxalement, on peut également montrer que la vie marine est, par de nombreux aspects, très différente de celle des terres émergées mais aussi que la diversité génétique y est sans doute beaucoup plus grande que sur les continents (Heip, 1998). Encore faut-il considérer que seule une toute petite fraction de la vie marine a été, à ce jour, identifiée (Decker et O'Dor, 2002). Notre époque est, comme le fut la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, une époque de découverte de nouvelles espèces: 99% des bactéries marines restent, sans doute, à découvrir, en particulier dans les sédiments marins (Heip, 1998). On sait, aussi, que la quasi-totalité de la production de biomasse des océans provient de minuscules organismes photosynthétiques (picophytoplanton) encore inconnus il y a vingt ans. (Blanchot et coll., 1998). En 2004, 60 chercheurs de 13 nationalités différentes ont étudié la vie aux grandes profondeurs, le long de la dorsale médio-atlantique (Expédition Mar-Eco 2004), capturant des espèces rares et pour certaines jamais décrites de poissons, de calmars et d'organismes encore inclassables (<http://www.mar-eco.no/>). Même les campagnes de pêche rapportent régulièrement des espèces de poissons jusqu'alors totalement inconnues des scientifiques (Iglesias, 2004).

## **Une longue évolution**

- 3 La première raison de ceci tient à l'ancienneté de la vie marine. On s'accorde à penser aujourd'hui que la vie est née dans les océans : profondeurs abyssales ou lagunes littorales, il y a près de 3,8 milliards d'années. Cette durée doit être mise en perspective avec les 400 millions d'années de la vie continentale.
- 4 Ces premières formes de vie ont évolué au cours de tentatives réussies – ou avortées – d'amplification de gènes, de mutations, de symbioses, d'adaptation. Cette longue période de plusieurs milliards d'années a été le théâtre d'une multitude d'essais, de diversifications, d'extinctions massives suivies d'explosions diversifiantes imposant de nouvelles solutions et favorisant l'accès à des niches écologiques nouvelles, comme par exemple, la montée en puissance de la biominéralisation calcique (Marin & coll., 1996), suite ou conséquence des extinctions massives (Janvier, 2000; Boureau, 1976) survenues au précambrien.
- 5 Ainsi, le paysage de la biodiversité de la planète s'est-il forgé dans les océans, seuls quelques exemplaires ayant réussi leur passage vers l'univers terrestre pour, ensuite, se

diversifier.

- 6 On peut illustrer le résultat actuel de cette dynamique au moyen de deux exemples. Le premier concerne l'univers végétal. Le monde marin abrite trois ou quatre groupes devégétaux distincts (Perez, 2000) : vert, rouge, brun, (sans parler des « algues » bleues qui sont des bactéries) alors que le monde terrestre est surtout (mais pas uniquement) un monde végétal vert. Les végétaux verts sont les plus anciens, dérivant de premiers microorganismes photosynthétiques sans doute voisins de nos cyanobactéries actuelles. Ils ont pu coloniser, depuis les océans, les rivières et les eaux douces, puis les terres émergées. Plus récentes sont les algues rouges qui sont essentiellement aquatiques. Les dernières venues, les algues brunes sont essentiellement marines : elles n'ont pas eu le temps d'aborder l'espace terrestre (Tableau 1).

**Tableau 1. Les trois mondes végétaux (D'après Kornprobst, 2005).**

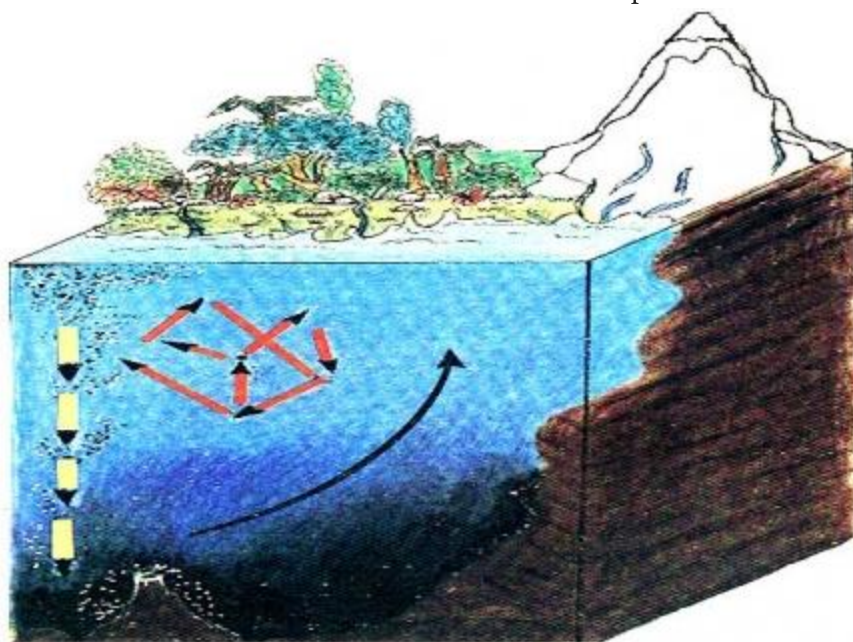
Les trois mondes végétaux			
Pigments	Vert Chl. a & b Caroténoïdes	Rouge Chl. A Caroténoïdes	Brun Chl. a & c Caroténoïdes Phycobilines
Réserves	Amidon ( $\alpha$ -1,4 glucanes)	Amidon Floridéen ( $\alpha$ -1,4 glucanes)	Laminaranes ( $\beta$ -1-3 glucanes)
Parois	Cellulose ( $\beta$ -1,4 glucans)	Carraghénanes Agars (galactanes sulfatés)	Acides alginiques (poly-mannuronates) Acides fuciniques (fucanes sulfatés)

- 7 Ces distinctions d'âge et de couleur des différents règnes végétaux se retrouvent dans leur composition biochimique: pigments photosynthétiques, substances de réserve (amidon :  $\alpha$  -1-4 glucanes) chez les verts et laminarane ( $\beta$ -1-3 glucanes) chez les bruns, constituants des parois cellulaires et extracellulaires : cellulose chez les verts, alginates chez les bruns (Kornprobst : 2005). Ce sont réellement des mondes végétaux différents qui peuplent les océans, l'espace terrestre n'en représentant alors qu'une facette appauvrie et tronquée en dépit du succès des plantes multicellulaires.
- 8 Observations analogues chez les animaux : lorsque l'on dénombre les phylums animaux on dénombre 28 phylums marins (Mollusques, Echinodermes, Chordés, Arthropodes, Cnidaires, etc) mais seulement 11 phylums terrestres (Grassle, 1991). Encore faut-il remarquer que parmi les 28 phylums marins, 13 sont endémiques, c'est à dire qu'ils sont uniquement marins. C'est le cas, par exemple, des Echinodermes : oursins, étoiles de mer, holothuries, ...). Le monde terrestre ne compte qu'un seul phylum endémique : les Onychophores. Ici encore une longue évolution a permis une diversification étendue des espèces. La colonisation des espaces terrestres, plus récente, a ouvert moins de possibilités. La réalité de la biodiversité marine va sans doute au-delà de ces observations classiques. Les missions de découverte et d'observation des fonds marins laissent parfois apercevoir, fugitivement, des êtres vivants parfaitement inconnus, inclassables. Peut-être certains d'entre eux représentent-ils des phylums ignorés et, sans doute pour longtemps, hors de notre champ d'investigations.
- 9 Parfois, l'opportunité ou le hasard d'une découverte met en lumière des pans entiers de vie jusque là inconnus. Ainsi en est-il des organismes peuplant les écosystèmes qui entourent les « fumeurs » des fosses abyssales, révélant, en particulier pour les microorganismes, l'importance de la vie chimio-synthétique jusque là considérée comme relativement marginale au regard de la vie photosynthétique et de l'ensemble des symbioses qui lui sont associées.
- 10 Encore faut-il se rappeler que la vie marine est en grande partie faite d'organismes unicellulaires procaryotes : bactéries, cyanobactéries, prochlorophytes, qui jouent un rôle majeur dans l'économie des grands cycles biogéochimiques.
- 11 Très clairement, la plus grande partie de la biodiversité de la vie sur la planète Terre se situe dans les océans (Heip, 1998). Les terres émergées n'en représentent qu'un échantillon raccourci et limité. Il faudrait, selon ce schéma, attendre quelques centaines

de millions d'années supplémentaires pour que la biodiversité terrestre atteigne le même niveau de richesse et de complexité.

## Un espace tridimensionnel

- 12 Un autre aspect majeur de la vie marine doit être pris en compte. Nous devons considérer l'espace océanique comme un espace à trois dimensions (figure 1). Sur les terres émergées, la vie (Le Gal, 1991) se développe essentiellement selon 2 dimensions. Ce n'est que dans les zones de forêts tropicales qu'une troisième dimension prend de l'importance. Dans ces espaces où des arbres peuvent atteindre 60 ou 80 m, cette troisième dimension constitue effectivement un facteur amplificateur de la biodiversité.



**Figure 1. Trois dimensions pour l'écosystème océanique**

- 13 L'espace océanique est vaste (70% de la surface de la planète sont occupés par les océans) et d'une manière générale, la biodiversité d'un système dépend largement de sa taille. Mais l'espace océanique est aussi constitué d'assemblages d'espaces tridimensionnels interdépendants, certains de grande dimension, d'autres plus restreints ou caractérisés par des ensembles de contraintes physiques et chimiques tout à fait spécifiques. En particulier, gradients de lumière ne laissant passer, dans les eaux les plus claires, à 100 mètres que du bleu, puis, au-delà, obscurité totale.
- 14 C'est dans ces environnements profonds que se rencontrent des espèces tout à fait originales comme ces poissons des grands fonds pourvus d'organes lumineux actifs dans le rouge pour voir sans être vus.
- 15 Les grands fonds marins (Zal, 2002) dont la profondeur moyenne se situe vers 3800 m sont aussi le domaine des fortes pressions auxquelles répondent tout un ensemble d'adaptations au niveau de la structure des catalyseurs enzymatiques ou des lipides membranaires. Ces zones des extrêmes: fortes températures à proximité des fumeurs ou, au contraire, basses températures des zones marines polaires sont génératrices d'adaptations moléculaires: enzymes thermophiles, psychophiles dont on prospecte aujourd'hui les capacités pour des finalités biotechnologiques.
- 16 Autre exemple dans une longue liste : l'océan est salé, comme chacun le sait. Les eaux marines sont riches en halogènes : chlore, brome, iode, mais aussi en sulfates. Ces caractéristiques chimiques conditionnent les équipements enzymatiques de nombreux microorganismes : de nombreuses molécules marines sont halogénées et il existe des halogénoxydases capables de synthétiser ces substances, des halogénases capables d'éliminer chlore ou brome ou iode de molécules organiques naturelle ou artificielles comme le sont certains pesticides nés du « génie humain ».

- 17 La richesse de la vie océanique se situe tout autant sur ses pourtours. Les zones littorales profitent de l'effet de frontière : séparation mais aussi échanges avec l'espace terrestre, avec les fleuves côtiers. Les gradients de profondeur des plateaux continentaux qui accompagnent la descente depuis la terre vers les grandes fosses abyssales sont encore ici facteurs de diversification des espèces.
- 18 Enfin, il ne faut pas passer sous silence les zones rocheuses littorales : situées en zone euphotique, chaque rocher constitue un substrat âprement disputé par la multitude des algues de toutes tailles et les invertébrés fixés. Les forêts de laminaires et de fucus des zones tempérées n'ont rien à envier aux forêts terrestres les plus riches. Ailleurs, ce sont les récifs coralliens, eux-mêmes produits du vivant qui génèrent et supportent une grande biodiversité.



**Au pied des laminaires, la vie foisonnante des récifs bretons (photo C. Michel)**

- 19 Bien d'autres facteurs doivent être pris en compte pour comprendre la nature spécifique de la biodiversité marine. C'est donc tout un complexe de contraintes physico-chimiques et de relations biologiques qui encadre chaque organisme. Pression, absence de lumière aux très grandes profondeurs, îlots chimiosynthétiques près des

fumeurs abyssaux (Laubier, 1992) ou tout simplement le fait que la mer soit salée: chlore, brome, iode sont incorporés dans des structures moléculaires organiques tout à fait originales créées puis détruites par des mécanismes enzymatiques eux aussi originaux. Il faut aussi mentionner les relations biologiques aussi complexes et variées que la prédation, la symbiose (coraux), la compétition, le parasitisme etc. qui forgent la biodiversité marine.

## Les biomasses marines

- 20 Au total, les océans représentent la force biogéochimique majeure de la planète. Ainsi, les diatomées marines assurent plus du quart de la production primaire terrestre (Behrenfeld et Falkowski, 1997). Leur rôle est équivalent à celui de toutes les forêts réunies. Ce sont également les algues unicellulaires marines, les coccolithophorides qui sont responsables du piégeage, sous forme de carbonate de calcium, de milliers de tonnes de gaz carbonique par an. Le résultat, à l'échelle géologique, est impressionnant : les formations calcaires de l'ère Jurassique en témoignent (Westbroek, 1998).
- 21 Les océans produisent également une biomasse bien supérieure à celle provenant des terres émergées, mais celle-ci est, en réalité, fort peu accessible car, en pratique, seule une partie minime, issue des activités de pêche, est directement exploitable. Cela représente, tout de même, près de 100 millions de tonnes de produits divers : poissons, mollusques, crustacés, etc. débarqués par an (FAO, 2000). Poissons, crustacés et mollusques assurent ainsi environ 10 % de nos besoins en protéines animales. Cette ressource cependant, n'est pas infinie. On assiste même aujourd'hui à un tassement des captures : nous sommes dans de nombreux cas, dans une situation de surpêche. (Pauly et coll., 2002)
- 22 En réalité, l'homme consomme moins de la moitié de ce qu'il tire des océans, tout au moins directement. Peut-on alors, si l'on pêche moins, mieux utiliser ces ressources ? Les déchets comme les peaux, les têtes, les viscères, les os ou les cartilages de poissons sont généralement dirigés vers l'industrie des aliments pour animaux ou la production d'huiles. On sait tout l'intérêt que présentent, dans le domaine de la santé, les acides gras polyinsaturés de type oméga 3. Les poissons d'un faible intérêt culinaire, ou trop petits, doivent également trouver des débouchés autres que l'alimentation humaine et, à cet égard, l'homme a inventé de multiples manières de tirer parti des produits secondaires de la pêche C'est ainsi que l'on peut dire que, dans le poisson, tout est bon ! (Le Gal et Stenberg, 1998).
- 23 C'est ainsi que l'élastine des ligaments de la queue de thon, les mucopolysaccharides extraits de la peau de certaines raies, les poudres de cartilage de sélaciens (raies, requins) sont devenus des matières premières très recherchées pour les industries pharmaceutiques ou cosmétiques. On note cependant quelques différences: ainsi, les élastines de poissons sont plus faiblement réticulées que celles des vertébrés supérieurs et leurs propriétés structurantes originales peuvent affecter leurs utilisations.



**Nous n'utilisons qu'une faible part des ressources marines collectées (photo Iglesias)**

- 24 Les macromolécules marines exploitables ne se résument pas aux agents de texture. On exploite de plus en plus fréquemment les propriétés fonctionnelles des enzymes, essentiellement des protéases, présentes dans les viscères de poissons. Le choix est immense : avec plus de 20 000 espèces osseuses (téléostéens) et environ 7 000 espèces cartilagineuses (chondrichthyens), les poissons forment le plus important et le plus diversifié des groupes de vertébrés. En outre, leurs enzymes présentent de nombreux avantages sur celles des sources classiques. Bien que possédant des fonctions catalytiques similaires à celles des protéases d'origine bactérienne, végétale ou animale couramment utilisées dans l'industrie, les enzymes marines se distinguent par leurs conditions optimales d'activité : elles sont fonctionnelles dans des solutions fortement salines, et surtout, pour les espèces d'importance industrielle majeure, possèdent une forte activité catalytique à basse température. Revers de la médaille, elles résistent mal à la chaleur, mais ceci rend leur inactivation plus aisée.
- 25 Des enzymes telles que les aminopeptidases de thon ont pu être utilisées pour réduire l'amertume de produits à usage alimentaire. Les protéases de poisson servent également à éliminer les peaux des seiches et de calmars ou les membranes entourant les poches d'œufs de poissons pour la préparation du « caviar » de saumon. Cela évite l'intervention manuelle, trop fastidieuse, ou mécanique, trop destructrice. De même, l'épluchage des crevettes de pêche industrielle est facilité par une action enzymatique préalable.
- 26 Mais le grand domaine de valorisation des sous-produits de la pêche est celui de l'obtention d'hydrolysats, produits de la dégradation enzymatique des molécules biologiques. Les Romains fabriquaient déjà le Garum, sauce de poisson salée et odorante. Les conditions extrêmes d'élaboration (milieu hyper-salé) permettent une préservation et une conservation à long terme du produit.
- 27 De nos jours, on a recourt à des techniques d'hydrolyse mieux contrôlées pour dégager les arômes de certains crustacés ou les fumets de poissons qui seront ensuite utilisés pour la confection des soupes, l'aromatisme du surimi, etc.
- 28 L'hydrolyse incomplète des protéines (chairs) ou des polysaccharides (mucopolysaccharides, chitine de la carapace des crustacés) produit respectivement des peptides ou des oligosaccharides de tailles diverses, dont certains peuvent avoir conservé une structure spatiale reconnue par des récepteurs cellulaires, et donc une activité biologique.

29 On a ainsi détecté des activités de type hormonal (gastrines, calcitonine) (Fouchereau-Peron, 1998) ou anti-stress (analogue à celles des hydrolysats de caséine), voire des facteurs de croissance cellulaire, dans des hydrolysats de morue, de thon ou de sardine. L'hydrolyse enzymatique partielle des protéines de poisson ou des chitines produit aussi des fragments immunostimulants, dont l'utilisation permettrait de réduire notablement la charge en antibiotiques dans les élevages de salmonidés.

30 Ces techniques très anciennes constituent, en fait, un champ très dynamique de recherche et d'applications. C'est ainsi que différents projets européens tel le Programme intégré « Seafood plus » qui associe 81 laboratoires autour des bénéfices pour la santé liés à la consommation de produits de la mer ou bien le projet Interregional « Valbiomar » qui met l'accent sur le transfert des technologies de valorisation des produits de la mer vers les industriels sont maintenant entrés dans une phase opérationnelle. La complexité des mécanismes biochimiques mis en œuvre pour la fabrication des sauces de poissons déroutent cependant encore les chercheurs. Il ne s'agit pas, pour autant, de procédés anecdotiques : même à une époque où règne la chaîne du froid, une très large partie de l'humanité a besoin de produits conservés et de haute qualité nutritive, moins dépendants de technologies sophistiquées, et parfois défectives, que le sont nos aliments surgelés.

## Biodiversité marine et biotechnologies

31 Les organismes marins, nous l'avons vu, sont, en raison à l'ancienneté de la vie marine (plus de 3,5 milliards d'années), de la multiplicité de niches et de situations écologiques qui ont permis l'émergence de formes et de structures biologiques, biologiquement beaucoup plus diversifiés que ne le sont les organismes terrestres.

32 Dans cet ensemble, chaque organisme vit en interaction avec son environnement physico-chimique, mais aussi avec son environnement biologique. Des communications s'établissent entre individus d'une même espèce ou entre représentants d'espèces différentes. Il faut communiquer pour se reproduire, pour se déplacer, pour s'établir, pour attaquer ou se défendre.

33 Les moyens de communication font appel à des techniques différentes. Celles-ci peuvent être sonores: les poissons, les crustacés et les mammifères marins émettent des traces sonores tout à fait spécifiques. Des signaux lumineux sont utilisés dans les profondeurs obscures. Dans cet ensemble, c'est, sans doute, la communication chimique entre organismes marins qui est sans doute la plus étudiée, car la chimie moderne apporte les moyens techniques nécessaires à la purification des molécules et à l'élucidation des structures.

34 L'intérêt porté à ces substances est aussi plus pratique. Les facteurs chimiques de colonisation, de répulsion, correspondent à la demande actuelle en substances naturelles bioactives car nombre de ces molécules sont de possibles agents thérapeutiques susceptibles de renforcer ou de diversifier les gammes existantes en antibiotiques, anti-tumoraux, pesticides, etc.

35 Parmi ces organismes marins, certaines formes végétales (algues vertes, rouges ou brunes) ou animales ou encore microorganismes (bactéries, champignons) retiennent plus particulièrement toute l'attention des pharmacochimistes. Ainsi, certains animaux comme les éponges, les coraux, les tuniciers, etc., ont, au cours de l'évolution, développé des systèmes de défense basés sur la production de substances chimiques qui s'ajoutent aux molécules servant à la lutte contre, notamment, les infections par les pathogènes. Ces métabolites secondaires sont étudiés pour la recherche de nouvelles structures chimiques à activité biologique (Hill et Murphy, 1998 ; Guyot, 1998). Ils constituent aujourd'hui, un domaine privilégié de recherche et un champ immense d'investigation pour les chimistes des substances naturelles. Ainsi, plus de 6000 nouveaux métabolites marins sont identifiés à ce jour et beaucoup présentent *in vitro*, des activités biologiques: ils sont antiviraux, antitumoraux, immunomodulateurs, antibiotiques, antifongiques, anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques ; ils peuvent aussi agir au niveau du système cardiovasculaire ou du système nerveux



(Jensen et Fenical, 1994; Kornprobst, 2005). Ces métabolites dits « secondaires » présentent un réel intérêt au plan de la pharmacologie mais aussi dans d'autres domaines : pesticides, substances anti-salissures, etc.

36 Les champs d'applications dépassent donc le cadre strict de la pharmacologie et touchent maintenant d'autres domaines : la néreistoxine du ver *Lumbrineris brevicirra* est un insecticide puissant, les substances allélopathiques extraites de différentes algues marines sont des anti-salissures potentielles.

37 Ce domaine de diversité biochimique des organismes marins fait l'objet d'un traitement très différent de celui des biomasses. En effet, les ressources spécifiques peuvent être parfois limitées, se résumant parfois à quelques individus sur un récif et il ne peut être question de procéder à des collectes massives. La démarche suivie est donc, le plus souvent de procéder à l'extraction des algues ou substances, de réaliser des purifications suivies au moyen de biotests adaptés, élucider les structures et, si elles ne sont pas trop compliquées, en tenter la synthèse totale ou partielle. Ainsi, les molécules naturelles deviennent essentiellement des modèles qu'il s'agit de recopier, éventuellement en les modifiant pour les rendre plus actifs ou moins toxiques. Dans ce contexte, la biodiversité marine offre bien un extraordinaire potentiel biotechnologique.

Ce travail a été partiellement soutenu par l'Union Européenne (Programme Intégré SeafoodPlus : Food -CT-2004-506359)

## Biographie

38 Yves Le Gal, Sous-Directeur au Collège de France a réalisé de nombreux travaux sur les mécanismes de l'adaptation enzymatique des organismes marins et sur les aspects biotechnologiques associés à la valorisation des ressources marines.

---

## Bibliographie

Behrenfeld M.J., P.G. Falkowski, 1997, Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentrations, *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.  
DOI : 10.4319/lo.1997.42.1.0001

Blanchot J., L. Guillou, F. Partensky, N. Simon et D. Vaulot, 1998, Le petit peuple du grand large, *Biofutur*, 179, 22-24.  
DOI : 10.1016/S0294-3506(98)80007-0

Boureau E., 1976, *La Recherche*, 68, 541-551.

Decker C.J. et R. O'Dor, 2002, The census of marine life : unknowable or just unknown ?, *Oceanologica Acta*, 25, 179-186.  
DOI : 10.1016/S0399-1784(02)01208-2

FAO, 2000, *Yearbook, Fishery statistics. Commodities*, 91, 208pp.

Fouchereau-Peron M., 1998, Le double jeu de la cathepsine, *Biofutur*, 179, 47-48.  
DOI : 10.1016/S0294-3506(98)80139-7

Grassle J.F., 1991, *Biology International. Special issue*, 23, 19 pp.

Guyot M., 1998, Les molécules marines modèles et outils, *Biofutur* 179, 52-54.

Heip C., 1998. Un océan de diversité, *Biofutur* 179, 12-17.  
DOI : 10.1016/S0294-3506(98)80005-7

Hill R.T. et P. Murphy, 1998, L'océan pharmacien, *Biofutur* 179, 34-37.  
DOI : 10.1016/S0294-3506(98)80011-2

Iglesias S.P., N. Nakaya et M. Stehmann, 2004, *Apristurus melanoasper*, a new species of deep-sea catshark from the North Atlantic, *Cybium*, 28, 345-356.

Janvier P., 2000. D'une extinction à l'autre, *La Recherche* 333, 52-56.

Jensen P.R. et W. Fenical, 1994, Strategies for the discovery of secondary metabolites from marine bacteria : ecological perspectives, *Ann. Rev. Microb.*, 48, 559-584.  
DOI : 10.1146/annurev.mi.48.100194.003015

Kornprobst J.M., 2005, *Substances naturelles d'origine marine (chimiodiversité, pharmacodiversité, biotechnologies)*, ISBN 2-7430-0721-4 Tec. Et Doc., 1500 pp.

Laubier L., 1992, *Vingt mille vies sous la mer*, O. Jacob, 335 pp.

Lecointre G. et H. Le Guyader, 2001, Classification phylogénétique du vivant, ISBN 2-7011-2137-X Belin, 543 pp.

Le Gal Y., 1991, Un milieu propice aux échanges, Biofutur, 106, 18-20.

Le Gal Y. et E. Stenberg, 1998, Tout est bon dans le poisson, Biofutur, 179, 61-63.

Marin F., M. Smith, Y. Isa, G. Muyzer et P. Westbroek, 1996. Skeletal matrices, mucin, and the origin of invertebrate calcification, Proc. Natl. Acad. Sc., USA n° 93. 1554-1559.

DOI : 10.1073/pnas.93.4.1554

Pauly D., R. Watson et V. Christensen, La Recherche, 355, juillet/aout, 2002, 80-83.

Perez R., 2000, Ces algues qui nous entourent, Editions Ifremer ISBN 2-9055434-75-9, 253 pp.

Seafoodplus, Programme Intégré 6ème PCRD. Coordinateur : T. Borresen. [www.Seafoodplus.org](http://www.Seafoodplus.org).

Valbiomar, Projet Interreg 3B Espace Atlantique, Coordinateurs : J.M. Piot & Y. Le Gal. [www.valbiomar.org](http://www.valbiomar.org)

Westbroek P., 1998, Vive la Terre – ISBN 2-02-032382-6, Seuil, 213 pp.

Zal F., 2002, Les sources abyssales, berceau de la vie ?, La Recherche, 355, 22-25



## Table des illustrations

	<b>Titre</b>	Tableau 1. Les trois mondes végétaux (D'après Kornprobst, 2005).
	<b>URL</b>	<a href="http://vertigo.revues.org/docannexe/image/3356/img-1.png">http://vertigo.revues.org/docannexe/image/3356/img-1.png</a>
	<b>Fichier</b>	image/png, 27k
	<b>URL</b>	<a href="http://vertigo.revues.org/docannexe/image/3356/img-2.jpg">http://vertigo.revues.org/docannexe/image/3356/img-2.jpg</a>
	<b>Fichier</b>	image/jpeg, 92k
	<b>URL</b>	<a href="http://vertigo.revues.org/docannexe/image/3356/img-3.jpg">http://vertigo.revues.org/docannexe/image/3356/img-3.jpg</a>
	<b>Fichier</b>	image/jpeg, 188k
	<b>URL</b>	<a href="http://vertigo.revues.org/docannexe/image/3356/img-4.jpg">http://vertigo.revues.org/docannexe/image/3356/img-4.jpg</a>
	<b>Fichier</b>	image/jpeg, 256k

## Pour citer cet article

### Référence électronique

Yves Le Gal, « Biodiversité marine et exploitation biotechnologique des océans », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 5 Numéro 3 | décembre 2004, mis en ligne le 01 décembre 2004, consulté le 29 octobre 2017. URL : <http://vertigo.revues.org/3356> ; DOI : 10.4000/vertigo.3356

## Auteur

### Yves Le Gal

Station de Biologie Marine - Muséum National d'Histoire Naturelle, BP 225 – F-29182 Concarneau – France, [ylegal@mnhn.fr](mailto:ylegal@mnhn.fr)

## Droits d'auteur



Les contenus de *Vertigo* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.