

BIOMIMÉTISME MARIN

RAPPORT DE SYNTHÈSE
2018



Cette synthèse a été réalisée grâce au soutien de la région Nouvelle Aquitaine, la ville de Biarritz et la Communauté d'Agglomération Pays Basque.

Nous remercions Tarik Chekchak pour sa contribution à la relecture de ce document.

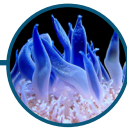
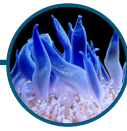


TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	4
Contexte : La Nouvelle-Aquitaine, une région pionnière	
Objectif de la démarche	
Histoire de l'océanographie	
Bénéfices apportés par l'océan	
Découvertes et prix Nobel	
Services écosystémiques	
Menaces sur la biodiversité marine	
OPPORTUNITÉS D'INNOVATIONS DE LA BIODIVERSITÉ MARINE.....	8
Quelques acteurs internationaux du biomimétisme marin	
Opportunités offertes par la biodiversité marine	
Diversité d'habitats marins	
Aperçu de la biodiversité marine	
Classification des organismes marins	
Bases de données biologiques marines	
Ressources en biodiversité et opportunités pour la France	
Spécificités du milieu océanique en termes de contraintes pour les espèces	
Taxonomie fonctionnelle, Fonctions biologiques et besoins fonctionnels de l'industrie	
Fonctions biologiques	
Besoins fonctionnels de l'industrie	
POTENTIEL D'APPLICATIONS DU BIOMIMÉTISME MARIN.....	15
Transport et Mobilité	
Information et communication	
Environnement	
Santé et biomédical	
Energie et éclairage	
Procédés industriels	
BIOMIMÉTISME MARIN ET CROISSANCE BLEUE.....	21
QUELQUES EXPERTISES FRANÇAISES LIÉES AUX RESSOURCES MARITIMES.....	22
COMPÉTENCES RÉGIONALES EN NOUVELLE-AQUITAINE.....	25
ANNEXE : SECTEURS INDUSTRIELS DE LA CROISSANCE BLEUE.....	29
A PROPOS DES AUTEURS.....	30
SÉLECTION DE RÉFÉRENCES.....	31
NOTES.....	32



INTRODUCTION

CONTEXTE: LA NOUVELLE-AQUITAINE, UNE RÉGION PIONNIÈRE

Depuis 2016, la Nouvelle-Aquitaine témoigne d'un positionnement affirmé sur le biomimétisme, ce qui en fait une région pionnière à l'échelle nationale.

La présente étude se positionne dans le contexte Économie Bleue¹ local de la Région Nouvelle Aquitaine. La Région Nouvelle-Aquitaine a initié en Février 2018 la création d'un cluster régional dédié à la croissance bleue pour fédérer les acteurs du maritime. Sa création s'inscrit dans une politique visant à anticiper et accompagner les mutations économiques et environnementales des activités liées à la mer.

Le biomimétisme marin est un axe de développement identifié par la Communauté d'Agglomération Sud Pays Basque. Sous l'impulsion du Maire de Biarritz, Michel Veunac, la ville de Biarritz et l'agglomération Sud Pays Basque souhaitent se positionner sur la thématique du biomimétisme marin via la préfiguration d'un pôle dédié à la démarche pour accompagner les mutations technologiques et économiques de l'économie bleue. L'agglomération souhaite étudier la faisabilité d'intégration de ce pôle

dans le cadre du développement d'Ocean Start, la future technopole dédiée à l'Économie de l'Océan.

Le projet du développement d'un pôle dédié au biomimétisme marin se construit dans un contexte de convergence entre les enjeux climats et biodiversité, et la volonté du cluster croissance bleue, promouvant le développement de technologies à moindre externalités négatives (sur-exploitation, pollution, empreinte carbone, etc.) et envisager la restauration et la régénération des milieux marins (infrastructures à biodiversité positive).

Ces enjeux font échos aux engagements de la France envers les Objectifs du Développement Durable (OOD / 2030) et des Objectifs de Lagoya (Aichi / 2020) sur la biodiversité. Nombreux des indicateurs de ces objectifs mondiaux ont une résonance marine et la démarche du biomimétisme tourné vers le monde marin, à la biodiversité riche et méconnue, pourrait être un levier d'innovation responsable pour atteindre ses objectifs.

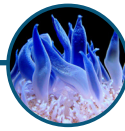
« L'océan est l'avenir de l'homme, c'est dans l'océan qu'on trouvera les ressources, les solutions pour répondre aux grands enjeux de l'homme. Si on sait le respecter, il saura nous montrer toute sa générosité ».

Michel Veunac, Maire de Biarritz

OBJECTIF DE LA DÉMARCHE

1. Favoriser une meilleure connaissance trans-disciplinaire des écosystèmes marins
2. Dédire de cette connaissance des principes d'innovation en éco-conception et ingénierie des organisations
3. Contribuer à répondre de façon synergique aux engagements de la Région et de la France sur le changement climatique, la crise de la biodiversité et les objectifs du Développement Durable des Nations Unies (ODD pour 2030)
4. Accompagner et former au biomimétisme marin les parties prenantes
5. Favoriser l'émergence de nouveaux emplois dans les filières concernées
6. Stimuler la réflexion autour de mécanismes innovants de financement de la protection de la biodiversité marine.

¹L'économie bleue est "l'utilisation durable des ressources océaniques pour la croissance économique, l'amélioration des moyens de subsistance et des emplois, tout en préservant la santé des écosystèmes océaniques", d'après la définition de la Banque mondiale.



HISTOIRE DE L'OcéANOGRAPHIE

La surface des océans représente plus de 70% de la surface du globe et 99% des espaces habitables (en volume). Actuellement, moins de 10% du relief des fonds marins, au-delà de 200 mètres de profondeur, est connu, alors qu'en parallèle, la NASA a soigneusement cartographié la Lune, Mercure, la quasi-totalité de Vénus, et même d'une planète rouge située à quelque 225 millions de km.

Les voyages d'exploration débutent en 1752 avec l'Académie de Marine. En 1854 naît l'océanographie.

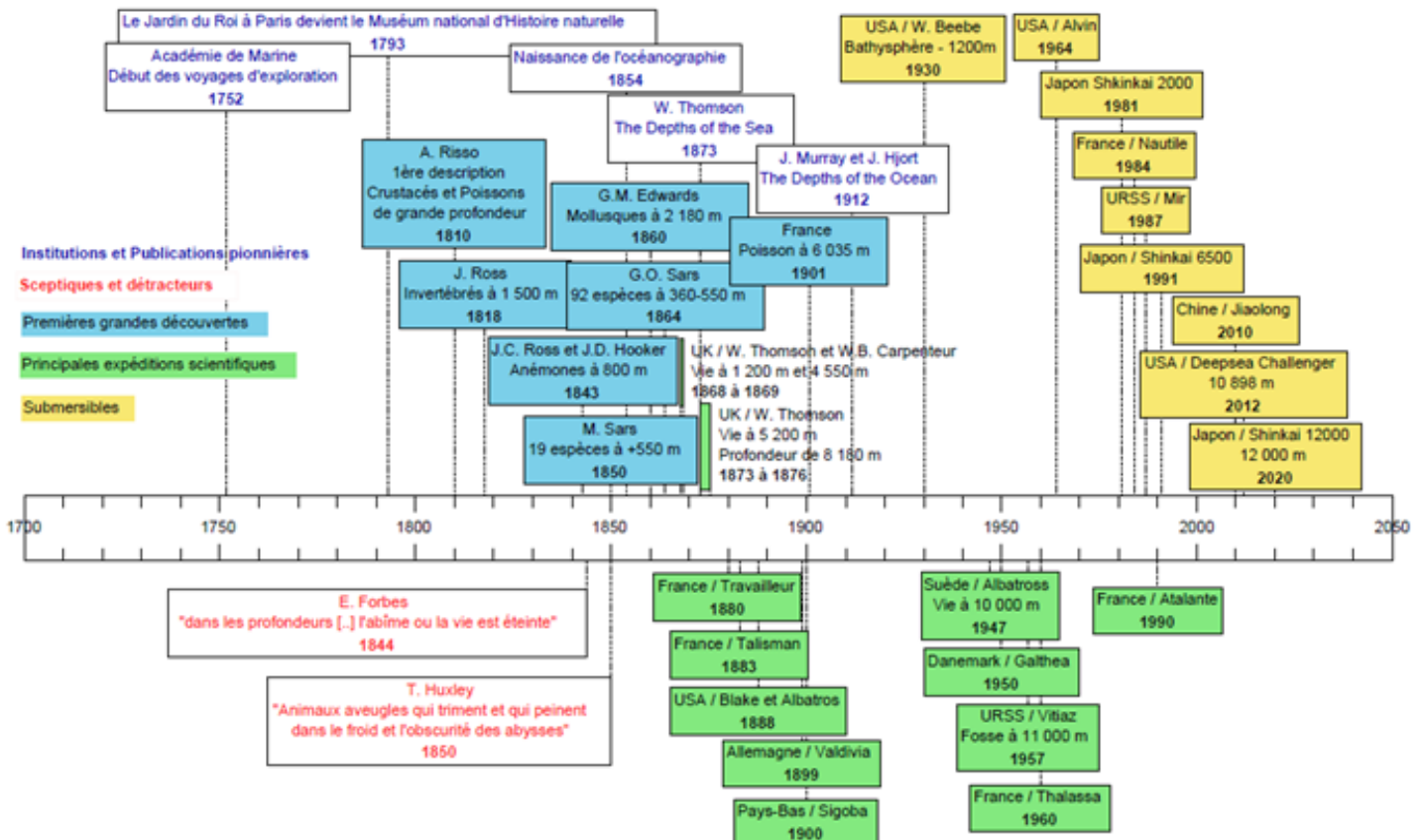
« Les teintes sous-marines sont indescriptibles d'après la gamme des couleurs terrestres et, de même, notre langage devient vague et limité si nous l'utilisons pour reconstituer des images sous-marines. »

W. Beebe, bathysphère (submersible) 1930. La frise ci-après, retrace les premières grandes découvertes

de biodiversité marine ainsi que les expéditions en submersible².

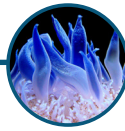
Régulièrement, grâce aux nouvelles technologies d'explorations d'habitats jusqu'alors inaccessibles, de nouvelles espèces sont découvertes dont des organismes microscopiques. Le taux de découverte et de description d'espèces marines est estimé à 1 600 espèces par an³. A part pour les mollusques, on dénombre peu de contributions d'amateurs avertis (alors qu'ils représentent 46% des nouvelles descriptions européennes terrestres).

Notre compréhension reste faible : 60% des espèces connues de poissons vivent de façon permanente en mer (plutôt que dans les océans) et parmi ceux-ci, 66% se trouvent en zone côtière jusqu'à 200m de profondeur



² La Recherche, Les plus grandes controverses scientifiques – La vie continue jusque dans les abysses, Hors-Série, Décembre 2017-Janvier 2018

³ Bouchet P., Duarte C. M., The Exploration of Marine Biodiversity: scientific and technological challenges, 2006



Discours de M. Edouard PHILIPPE, Premier Ministre
Assises de l'Economie de la Mer, Le Havre - Mardi 21 novembre 2017

« La mer est un espace de connaissances ou plutôt d'ignorance. Y compris dans le pays de Charcot, de Paul-Emile Victor, de Cousteau. C'est pourquoi nous avons besoin de notre recherche fondamentale. Parce qu'on exploite respectueusement que ce que l'on connaît de manière intime. Parce que le biomimétisme montre que nous avons beaucoup à apprendre de la mer. Parce que la mesure, l'observation, l'évaluation de la faune et de la flore marines seront à la fois notre boussole et notre baromètre. »

BÉNÉFICES APPORTÉS PAR L'OcéAN

DÉCOUVERTES ET PRIX NOBEL

La biodiversité marine a permis de nombreuses découvertes. Pas moins de treize prix Nobel de médecine⁴ ont récompensé des travaux de recherche effectués à partir de modèles aquatiques.

Citons quelques exemples⁵ :

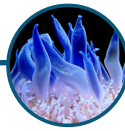
- La découverte de la phagocytose chez l'étoile de mer par Elie Metchnikoff en 1908
- Le choc anaphylactique à partir de venin de méduse sur des chiens par Charles Richet en 1913
- Les mécanismes anti-polyspermie (un seul spermatozoïde féconde un ovocyte) à partir d'oursin par Otto van Warburg 1931
- Les mécanismes fondamentaux de la transmission de l'influx nerveux à partir du gigantesque axone du calamar par Alan Hodgkin et Andrew Huxley en 1963
- Les bases moléculaires de la mémoire grâce à une limace de mer par Eric Kandel en 2000
- Les molécules clés impliquées dans le développement des cancers (cycline et kinase) à partir d'une étoile de mer par Timothy Hunt en 2001

De plus, la biodiversité marine constitue un riche réservoir pour l'identification et l'extraction de molécules d'intérêt pharmacologique et cosmétique. 25 000 molécules⁶ extraites du vivant et utilisées comme anti-cancéreux, antibiotiques, antiviraux, antifongiques...abondent. Pour le milieu marin, les éponges produisent à elles seules plus de 30 % de ces produits.



^{4,6} Mission économie de la biodiversité, Biodiv' 2050, 2016.

⁵ G. Bœuf, *Marine biodiversity characteristics*, Biodiversity, 334, 2011.



SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Les services écosystémiques désignent les bénéfices que la société extrait des écosystèmes naturels⁷. Les différents bénéfices apportés par l'océan peuvent être classés de la manière suivante :

- Approvisionnement : nourriture, médicaments, modèles, habitats
- Régulation : érosion côtière, climat, maladie
- Support : formation sédimentaire, séquestration de contaminants, cycles de nutriments
- Culturels : esthétique, loisir, spirituel, non matériel

Par exemple, le phytoplancton marin contribue pour la moitié de la production primaire mondiale, il fournit 99% de la matière organique disponible pour la chaîne alimentaire.



Millennium Ecosystem Assessment, Global synthesis reports, 2005 / World Ocean Review, How the sea serves us, 2015

MENACES SUR LA BIODIVERSITÉ MARINE

Les zones peu profondes sont fortement affectées par leurs relations avec les continents. Et ceci, d'autant plus que 60% de la population humaine vit dans une bande côtière de moins de 100km⁸. Les populations non côtières à proximité des rivières et des voies navigables génèrent également des impacts indirects sur la biodiversité marine.

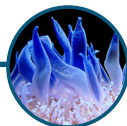
Les **pressions d'origine anthropique et environnementale** (pollution, surexploitation, changement climatique, destruction de l'habitat) modifient l'abondance et la répartition d'espèces marines. Dans les cinquante dernières années, la **surpêche** a été la **principale cause de déclin** des espèces⁹.

Au début du XXI^e siècle, la capacité biologique des stocks de poissons exploités commercialement était à un niveau historiquement bas. La FAO estime que trois quarts (75 %) des **stocks de poissons marins** exploités à des fins commerciales dans le monde sont soit **exploités à leur capacité maximale** et n'offrent aucune possibilité d'augmentation des prises (50 %), soit **surexploités** (25 %).

⁷2005 Millennium Ecosystem Assessment – Global Synthesis Reports MEA 2005.

⁸G. Bœuf et al., Biodiversité en environnement marin, Rapport à l'Ifremer, 2010.

⁹2005 Millennium Ecosystem Assessment – Global Synthesis Reports MEA 2005.



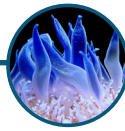
OPPORTUNITÉS D'INNOVATIONS LIÉES À LA BIODIVERSITÉ MARINE

QUELQUES ACTEURS INTERNATIONAUX DU BIOMIMÉTISME MARIN

Il n'existe actuellement pas d'institution dédiée de manière transversale au biomimétisme marin. A l'échelle internationale, on recense quelques projets. En France, il faut compter sur la mobilisation d'expertises en biologie / en océanographie / en sciences environnementales pour contribuer à une montée en puissance de cette approche (se reporter à la section « Expertises françaises liées aux ressources marines »).

UNIVERSITÉ	PROJET
JAPON Hokkaido University	« Biomimetics database ¹⁰ » Développement d'une base de données pour le biomimétisme, rassemblant notamment des images de surface d'espèces aquatiques.
USA Harvard University Lauder Laboratory	Biomécanique et hydrodynamique des poissons Robotique et biomimétisme Comportements collectifs et locomotion
USA MIT Center for Ocean Engineering	Biomimétisme Robotique marine Energie, acoustique, transport
USA (region de Boston) Biomimicry New England	Biomimicry Living Labs Cours pratiques de biomimétisme liés à la biologie marine et aux milieux aquatiques : "UMass Boston Green Harbor Projects"
USA University of Chicago Marine Biological Laboratory	Biologie fondamentale Biodiversité et environnement
Royaume-Uni University of Aberdeen Ocean Lab	Technologies sous-marines Etudes environnementales
CROATIE Université de Zadar	Biomimicry Living Lab en collaboration avec Biomimicry New England Cours « Coastal environment science »
BELGIQUE Université de Mons Biologie des Organismes Marins et Biomimétisme	Adhésifs biologiques Mécanismes moléculaires

¹⁰ <https://www-lmd.ist.hokudai.ac.jp/en/future/biomimetics>

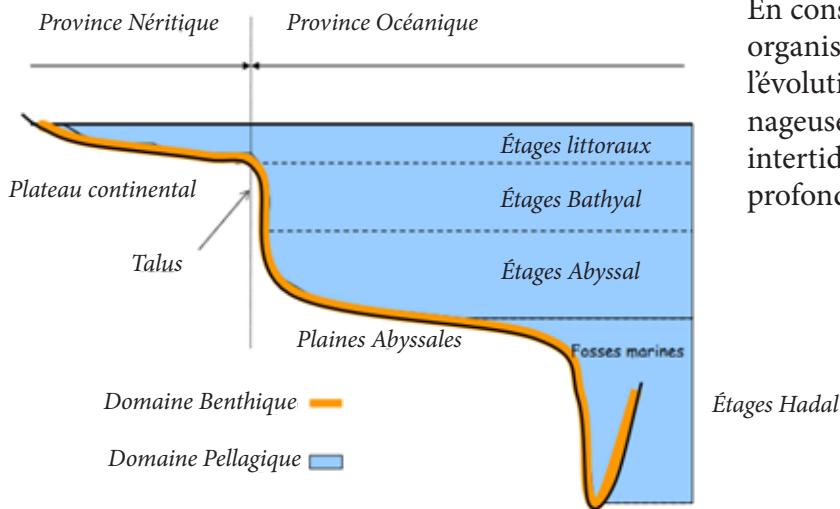


OPPORTUNITÉS OFFERTES PAR LA BIODIVERSITÉ MARINE

DIVERSITÉ D'HABITATS MARINS

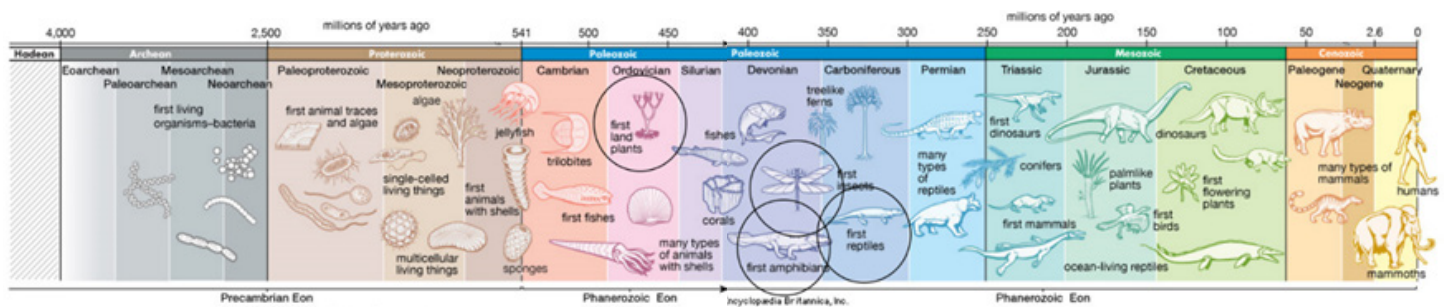
La Terre présente une grande diversité d'habitats marins, classifiés selon la distance à la côte continentale et selon la profondeur d'eau. Les domaines benthiques se situent à l'interface avec les dépôts sédimentaires du fond marin tandis que le domaine pélagique désigne les eaux océaniques libres.

La biodiversité marine est plus représentée dans les domaines benthiques que dans le domaine pélagique, et dans le domaine côtier plutôt qu'en haute mer ; avec des exceptions notables comme la faune associée aux monts sous-marins et aux récifs coralliens¹¹. Ces récifs couvrent 0,2% de la surface des océans mais hébergent 1/3 des espèces marines.



En conséquence de cette diversité d'habitats, les organismes marins ont développé au cours de l'évolution différentes stratégies : espèces flottantes, nageuses, exposition aérienne partielle en zone intertidale, adaptées aux sources hydrothermales profondes (3 500 m) ...

APERÇU DE LA BIODIVERSITÉ MARINE

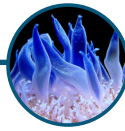


Frise chronologique de l'apparition des espèces; Encyclopédie Britannica, Inc; 2013

La biodiversité mondiale est estimée entre 3,6 et 100 millions d'espèces dont environ 10 % ont été décrites. Sur 1,5 millions d'espèces connues sur Terre, 280 000 sont des espèces marines¹². Et ceci malgré une réserve de biodiversité marine équivalente ou supérieure aux forêts tropicales et une vie marine plus ancienne (3,8 milliards d'années d'évolution des espèces dont 3 dans l'eau).

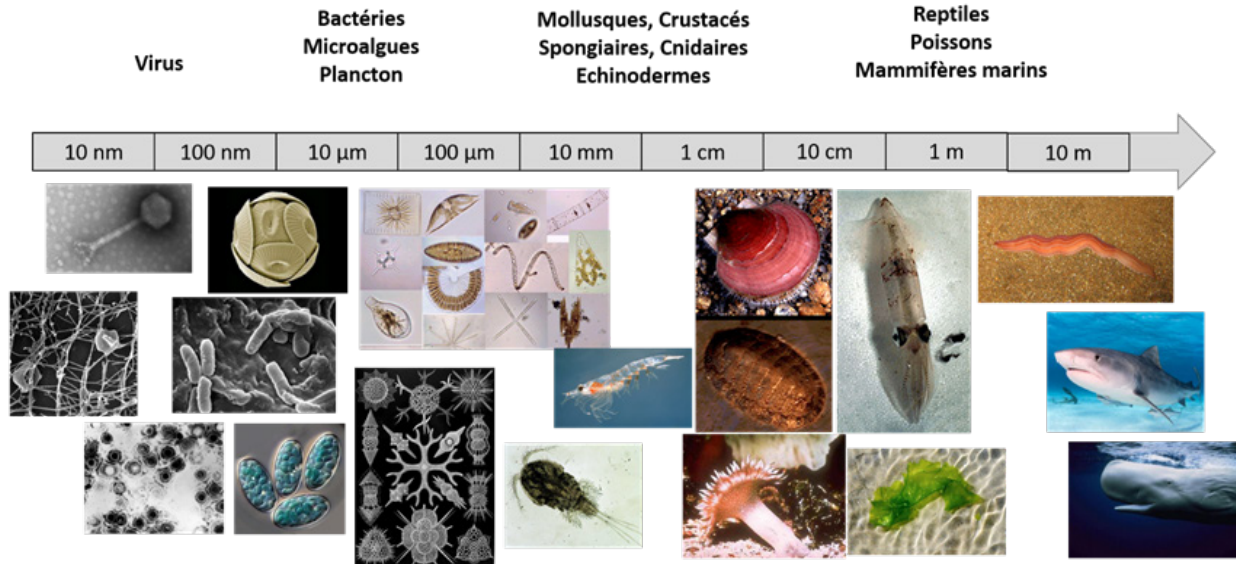
Les espèces marines connues sont listées dans le World Register of Marine Species (WoRMS <http://www.marine-species.org/>). La majorité des espèces marine connues vivent sur le plateau continental, le long du littoral, à moins de 200m de profondeur. Les poissons sont les mieux documentés : 48 000 espèces dont la grande majorité en eaux peu profondes (récifs coralliens).

¹¹ G. Bœuf et al., *Biodiversité en environnement marin*, Rapport à l'Ifremer, 2010.
¹² G. Bœuf, *Marine biodiversity characteristics*, Biodiversity, 334, 2011.



CLASSIFICATION DES ORGANISMES MARINS

La biodiversité marine regroupe des organismes de taille macroscopique de plusieurs mètres pour les grands cétacés à quelques dizaines de nanomètres pour les virus marins.



La biodiversité marine peut être classée selon trois domaines : les Bactéries, les Archées et les Eucaryotes. Les organismes formant deux des trois domaines, celui des Bactéries et celui des Archées, sont tous des Pro-caryotes. La plupart des Procaryotes sont unicellulaires et microscopiques. Le domaine des Eucaryotes est subdivisé en trois règnes dont celui des plantes et des animaux (eucaryotes multicellulaires) et les protistes (principalement unicellulaires).

La flore marine regroupe :

les algues : algues vertes ou Chlorophycées, algues rouges ou Rhodophycées, algues brunes ou Phéophycées)
les Phanérogames marines et le phytoplancton.

La faune marine regroupe :

les invertébrés marins (spongiaires, cnidaires, vers, mollusques, crustacés et échinodermes)

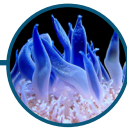
les vertébrés marins (poissons, reptiles, oiseaux de mer et mammifères marins).

Le plancton regroupe des organismes très diversifiés d'un point de vue taxonomique, appartenant à la fois aux

procaryotes et aux eucaryotes. Le plancton végétal est appelé phytoplancton. Il regroupe l'ensemble des espèces réalisant la photosynthèse (cyanobactéries, diatomées, coccolithophoridés...). Le phytoplancton séquestre le dioxyde de carbone atmosphérique et contribue pour la moitié de la production primaire mondiale ¹³.

Le plancton animal est appelé zooplancton. Il se nourrit de matière vivante, d'origine animale ou végétale. Les spongiaires, les cnidaires (méduses), les vers, les crustacés (krill, copépode), les échinodermes, les vertébrés ont des espèces planctoniques de manière permanente (holoplancton) ou seulement à un stade de développement (méroplancton).

¹³G. Bœuf et al., Biodiversité en environnement marin, Rapport à l'Ifremer, 2010



BASES DE DONNÉES BIOLOGIQUES MARINES

Des informations détaillées et spécifiques à une espèce peuvent être trouvées dans des bases de données générales comme « Tree of Life Project », « GBIF » (Global Biodiversity Information Facility), « EoL » (Encyclopedia of Life), Wikispecies), Bold System (Barcode of Life data system). Des bases de données spécialisées existent pour la biodiversité marine :

- WoRMS (World Register of Marine Species) répertorie l'ensemble des espèces marines connues
- OBIS (Ocean Biogeographic Information System) propose un géoréférencement d'espèces marines
- SeaLifeBase (Base de données pour l'ensemble des espèces marines et d'eaux douces)
- Biocean (Base de données Ecologie Benthique en Environnement Profond résultats des campagnes océaniques françaises, grandes profondeurs)
- ERMS (European Register of Marine Species)
- SCAR MarBIN (SCAR Marine Biodiversity Information Network – Antarctique)
- FishBase

RESSOURCES EN BIODIVERSITÉ ET OPPORTUNITÉS POUR LA FRANCE

Actuellement, plus de 10 millions d'espèces ont colonisé une multitude d'habitats, grâce à des solutions optimisées et adaptées aux contraintes de leur environnement à un instant donné. Seulement 10 % environ ont été décrites. Des facteurs écologiques expliquent la plus faible diversité de la biologie marine comparée à la diversité terrestre : Peu d'environnement sont propices à l'endémisme d'espèces et peu de spéciation en raison de conditions environnementales très stables. Il en résulte que la biodiversité marine est composée principalement de microorganismes.

La France possède le deuxième plus grand espace maritime au monde (zone économique marine ZEE), avec 11 millions de km², des milliers de kilomètres de côtes, trois façades maritimes - la Manche/Mer du Nord, l'Atlantique et la Méditerranée - et une présence dans tous les océans du monde¹⁴. La France abrite 10 % de la biodiversité mondiale connue avec ses territoires d'Outre-mer. La part de la biodiversité mondiale représentée en France :

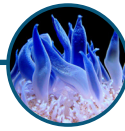
- Au moins 50 % des mammifères marins
 - 20 % des échinodermes et des cnidaires (coraux, méduses, etc.)
 - 25 % des oiseaux
 - 20 % des poissons marins et d'eau douce
 - Plus de 10 % des mammifères terrestres
 - 7 % des insectes connus au niveau mondial.
- Les insectes représentent la moitié de la faune française.

Le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris possède près de 70 millions de spécimens, soit l'une des trois plus grosses institutions mondiales. C'est une opportunité pour la France en termes de ressources en biodiversité et connaissances académiques.

Cette géographie favorable doublée d'atouts industriels indéniables, permet à la France de bénéficier d'un potentiel de développement parmi les plus importants d'Europe, sources de nombreux emplois et de retombées économiques, en particulier dans les régions littorales.



¹⁴ La biodiversité marine : une richesse à préserver, MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, 10 Juillet 2015.



SPÉCIFICITÉS DU MILIEU OCÉANIQUE EN TERMES DE CONTRAINTES POUR LES ESPÈCES

Au cours de l'évolution, les organismes marins ont développé des stratégies pour survivre dans le milieu océanique et s'adapter aux contraintes qu'il impose.

- Milieu continu
- Pression et turbulences
- Dispersion par les courants

- Oxygène et nutriments dissous
- Corrosion par le sel

- Milieu absorbant ou diffusant selon la longueur d'onde
- Rayonnement UV près de la surface
- Obscurité des abysses

D'une part, l'oxygène et les nutriments sont dissous dans l'eau. Les organismes ont ainsi développé des systèmes de respiration performants leur permettant d'extraire l'oxygène de l'eau (par les branchies des poissons et la peau de serpents par exemple), ainsi que des molécules de transport du dioxygène efficaces.

En effet, l'hémoglobine extracellulaire des vers marins *Arenicola marina* permet de transporter 40 fois plus de dioxygène que l'hémoglobine humaine grâce à une affinité pour l'oxygène 10 fois supérieure¹⁵. Les organismes marins ont développé certains modes de nutrition qui requièrent des dispositifs de filtration par une mise en circulation de l'eau comme chez certaines éponges marines¹⁶.

D'autre part, les courants et les turbulences imposent des contraintes hydrodynamiques aux organismes. Cela concerne en premier lieu leur survie. En effet, les organismes ancrés au sol doivent réduire le risque d'être arrachés par les courants.

Chez les algues, cela se traduit par des touffes compactes de taille réduite accrochées au sol ou chez les grandes algues qui atteignent la surface de l'eau, cela se traduit par des structures flexibles capables de se déformer dans les courants pour réduire la traînée¹⁷.

Ces contraintes concernent en second lieu les modes de déplacement des organismes marins. Ils se sont dotés de structures souples capables d'onduler et de se déformer : battements ciliés, ondulation des anguilles, oscillation des nageoires...

Le milieu marin est salé par nature, ce qui oblige les organismes à lutter contre la corrosion par le sel.

De plus, la dispersion des molécules par les courants influe sur les stratégies de communication mises en place par les organismes.

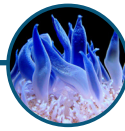
Enfin, l'eau absorbe ou diffuse les rayons lumineux différemment selon leur longueur d'onde. Cela se traduit par une filtration des rayons par l'eau et une stratification du milieu marin : le rayonnement ultra-violet près de la surface contraste avec l'obscurité des abysses.

En conséquence, certains organismes ont développé des stratégies de protection contre les rayons ultra-violets grâce à la synthèse de molécules actives protectrices ; tandis que certains organismes photosynthétiques ont développé à l'inverse des dispositifs qui permettent de focaliser la lumière incidente collectée. Dans les eaux profondes, 80 à 90 % des espèces ont développé la capacité d'émettre de la lumière afin d'assurer des fonctions essentielles telles que se nourrir, trouver un partenaire pour la reproduction, se protéger contre les prédateurs. De tels organismes sont soit bioluminescents soit phosphorescents.

¹⁵Rousselot et al., *Arenicola marina* extracellular hemoglobin: a new promising blood substitute, *Biotechnol. J.* 1, 333-345, 2006.

¹⁶Anderson I.A., Vincent J.F.V. & Montgomery J.C., *Ocean Innovation – Biomimetics beneath the waves*, CRC Press, Chapter 1 (2016)

¹⁷Vogel S., Drag and flexibility in sessile organisms, *American Zoologist*, 24(1): 37-44, 1984



TAXONOMIE FONCTIONNELLE : FONCTIONS BIOLOGIQUES ET ENJEUX INDUSTRIELS

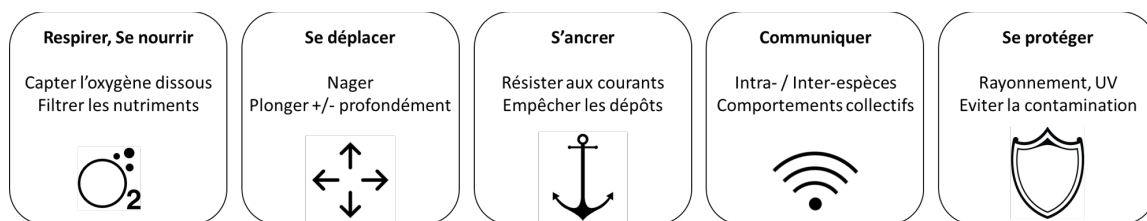
Les contraintes imposées par le milieu marin à la biodiversité marine sont celles imposées aux secteurs de l'économie de la mer : corrosion des coques de bateaux, encrassement par des microorganismes et des coquillages, résistance au mouvement...

Les organismes ont développé au cours de l'évolution une grande diversité de stratégies pour s'adapter à ces contraintes.

Cette convergence des contraintes entre monde biologique et monde industriel justifie l'approche du biomimétisme qui consiste à développer des solutions industrielles inspirées de modèles biologiques, ayant développé des stratégies efficaces et durables face à des contraintes similaires.

FONCTIONS BIOLOGIQUES

Les grandes fonctions biologiques peuvent être résumées en cinq catégories : respirer, se nourrir, se déplacer, s'ancrer, communiquer et se protéger.



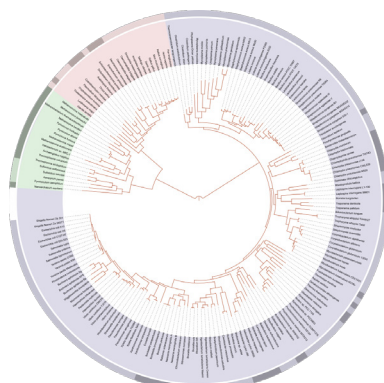
BESOINS FONCTIONNELS DES SECTEURS D'APPLICATION

De nombreuses fonctions offertes par la biodiversité convergent vers les propriétés recherchées par l'industrie : en termes de filtration, mise en circulation de fluides, déplacement, adhésion, anti-adhésion, anticorrosion, communication, protection...

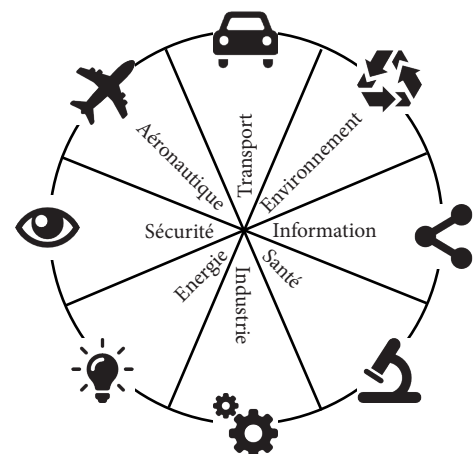
La taxonomie fonctionnelle consiste à raisonner en termes de fonctions. L'objectif est d'effectuer des rapprochements entre besoins fonctionnels de l'industrie et fonctions biologiques, de manière transverse aux secteurs d'activités et aux familles d'organismes biologiques.



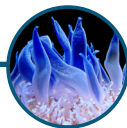
Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2012). *Marine Biodiversity—One Ocean, Many Worlds of Life*. Montreal, 77 pages



Phylogenetic tree ; Ivica Letunic: Iletunic. Retraced by Mariana Ruiz Villarreal: LadyofHats
Cette image a été générée par iTOL : Interactive Tree Of Life



Secteurs d'activité, Ceebios; 2018

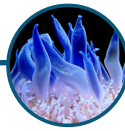


Le biomimétisme marin met à profit les enseignements tirés de l'approche comparative de taxonomie fonctionnelle.

Le biomimétisme marin concerne à la fois les approches d'innovation inspirée de la biodiversité marine, mais également les opportunités de développement de technologies bio-inspirées pour les secteurs de l'économie de la mer.

Ci-dessous un panorama des opportunités d'innovations inspirées des grandes fonctions biologiques et leurs applications potentielles :

FONCTION BIOLOGIQUE	MÉCANISME	MODÈLES BIOLOGIQUES	APPLICATIONS
Respirer Se nourrir	Capter l'oxygène Filtrer les nutriments	Anémones Branchies de poisson, Hémoglobine des vers de sable Diatomées	Désalinisation Filtration Transplantation d'organes
Se déplacer	Se déformer Interactions fluide/ structure entre l'eau et les organes de locomotion	Anguilles Poulpe Raie Nageoires de baleine	Aéronautique Robotique Energie
S'ancrer Ne pas adhérer	Bio-adhésifs mécaniques Colles biologiques	Ventouses du poulpe, Byssus de la moule Colle du vers tubulaire, peau de requin, antifouling	Médecin Revêtements antibactérien Antifouling
Communiquer	Signaux acoustiques/ chimiques Communication Inter- espèces ou intra-espèces Camouflage	Comportements collectifs des bancs de poissons, dauphins, sèches	Télécommunication Défense Capteurs
Se Protéger	Biosynthèse de molécules actives Matériaux composites Structure hiérarchique	Carapaces des crustacés, poissons de récifs, algues, cyanobactéries	Santé, biomédical Pharmacologie Cosmétique Agro-alimentaire


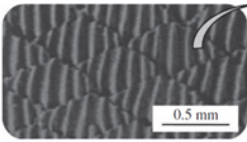
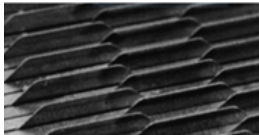

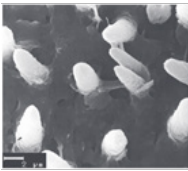


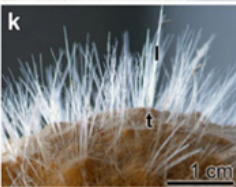
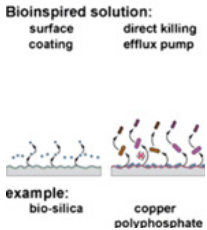


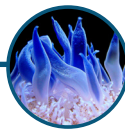
POTENTIEL D'APPLICATIONS DU BIOMIMÉTISME MARIN

Cette partie explicite le potentiel du biomimétisme marin dans un grand nombre de secteurs : transport et mobilité, information et communication, environnement, santé et biomédical, énergie et éclairage et enfin, dans le domaine des procédés industriels.





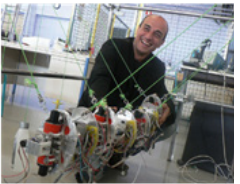
Pour chacun de ces secteurs, l'entrée dans le tableau sur la gauche se fait par enjeu industriel. L'enjeu est ensuite rapproché d'une grande fonction biologique : respirer/se nourrir, se déplacer, s'ancrer, communiquer ou se protéger. La fonction biologique identifiée permet ensuite d'orienter la recherche d'organismes modèles, ayant développé des stratégies qui convergent vers la problématique industrielle. Des exemples d'applications s'inspirant de ces stratégies sont présentées.

TRANSPORT ET MOBILITÉ

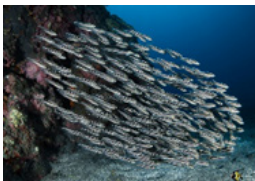

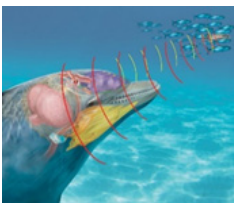
ENJEU INDUSTRIEL	FONCTION BIOLOGIQUE	EXEMPLE	MÉCANISME	APPLICATION
Diminuer la consommation de carburant	Se déplacer <i>Réduction de la traînée</i>	 Requin des Galapagos <i>Carcharhinus galapagensis</i>	 <i>Reif 1985</i> Microstructuration de surface et flexibilité des denticules diminuent les turbulences	 <i>Bechert 1997</i> Surface des ailes des avions, des coques des bateaux
Lutter contre l'encrassement biologique dans l'industrie navale (augmente la friction et réduit la vitesse)	Se protéger Ne pas adhérer <i>Autonettoyage des surfaces</i>	 Crabe <i>Cancer pagurus</i>	 <i>Bers 2004</i> Microtopographie de la surface de la carapace empêche l'adhésion de barnacles	 Revêtement de bateaux qui s'auto-débarassent des salissures Bayer "Green Ocean Coating Heavy Duty"
	Se protéger Ne pas adhérer <i>Toxicité de substances chimiques contre les bactéries</i>	 Eponge marine <i>Suberites domuncula</i>	 <i>Müller 2013</i>	 Bioinspired solution: surface coating direct killing efflux pump example: bio-silica copper polyphosphate

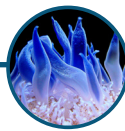


TRANSPORT ET MOBILITÉ

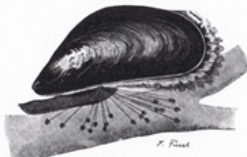
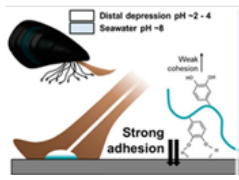


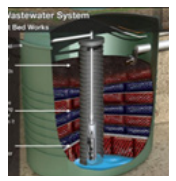





ENJEU INDUSTRIEL	FONCTION BIOLOGIQUE	EXEMPLE	MÉCANISME	APPLICATION
Lutter contre l'encrassement biologique dans l'industrie navale (augmente la friction et réduit la vitesse)			Spicules de silice à la surface sécrètent des composés qui causent la mort cellulaire des bactéries	Filaments de silice à la surface et toxicité du cuivre ingéré par les bactéries
Lutter contre la corrosion dans l'industrie navale	Se protéger <i>Substances chimiques protectrices</i>	 Molécules d'intérêt synthétisées par des microorganismes	Exopolysaccharides bactériens protègent de la corrosion	 Procédé de sélection de souches bactériennes et de criblage
Développer des robots capables de se déplacer dans l'eau	Se déplacer <i>Ondulation, oscilation, nage à réaction</i>	 Mantabot	 Robot Poulpe Octopus	 Robot Anguille RAAMO

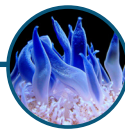
INFORMATION ET COMMUNICATION

ENJEU INDUSTRIEL	FONCTION BIOLOGIQUE	EXEMPLE	MÉCANISME	APPLICATION
Eviter la collision entre éléments se déplaçant de manière autonome	Se déplacer		Contrôler la présence d'obstacles dans l'environnement immédiat du groupe	 NISSAN
Développer des systèmes de localisation	Communiquer	 <i>Anderson 2016</i>	Echolocation	



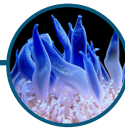
ENVIRONNEMENT

ENJEU INDUSTRIEL	FONCTION BIOLOGIQUE	EXEMPLE	MÉCANISME	APPLICATION
Améliorer la qualité de l'air intérieur en développant des alternatives de colles non toxiques (sans formaldéhyde)	Adhérer	 <p>Moule s'ancre sur les rochers humides par le byssus</p>	 <p><i>Flammang 2015</i> Adhésion par des filaments de tyrosine</p>	 <p>Assemblage par des protéines de soie</p>
Traiter les eaux usées	Se nourrir	 <p>Vers de sable <i>Lumbrinereis sp.</i></p>	Décomposition organique par l'activité biologique des vers	 <p>Biolytix Wastewater Naturally</p> <p>Bioprocédés de traitement des eaux usées</p>
Améliorer l'intégration environnementale des ouvrages en mer Restaurer des habitats pour la biodiversité sur les sites côtiers abimés	S'ancrer Se nourrir	 <p>Oursin diadème <i>Echinothrix diadema</i></p>  <p>Herbier à Posidonie <i>Posidonia oceanica</i></p>	L'implantation progressive d'organismes marins permet de nourrir les juvéniles qui s'y installent.	 <p>Module Oursin ©</p>  <p>Module Roselière ©</p> <p>SEABOOST</p> <p>Reconstitution de récifs à partir de matériaux biosourcés (fibres de coco, coquilles d'huitres et de moules)</p>
Diminuer la présence de résidus de crème solaire dont les nanoparticules dans les sites côtiers et les récifs	Se protéger	<p>Algues (algue rouge) Poissons de récifs</p> 	Molécules bioactives (mycosporine-like amino acids)	<p>Fonctionnalisation de biopolymères avec des molécules bioactives</p> <p>Fernandes et al. 2015</p>


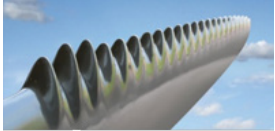




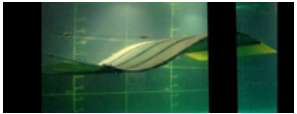









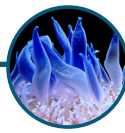
SANTÉ ET BIOMÉDICAL

ENJEU INDUSTRIEL	FONCTION BIOLOGIQUE	EXEMPLE	MÉCANISME	APPLICATION
<p>Développer des colles non toxiques, capables de se solidifier dans le corps humain, soit dans un milieu humide</p>	<p>Adhérer</p>	 <p>Ver marin <i>Phragmatopoma californica</i> construit un tube en sable autour de lui</p>	 <p>Park 2017 Les grains de sable adhèrent les uns aux autres grâce à une colle sécrétée par le ver (nanoparticules)</p>	 <p>GECKO BIOMEDICAL</p>
<p>Lutter contre le cancer</p>		 <p>Huitre creuse <i>Crassostrea gigas</i></p>	<p>Delisle 2018 L'huitre est capable d'activer ou de désactiver l'effet Warburg, impliqué dans la prolifération des cellules cancéreuses chez l'Homme.</p>	 <p>Ifremer</p>
<p>Conserver les greffons d'organes privés d'oxygène avant de les transplanter</p>	<p>Respirer</p>	 <p>Ver arénicole marin <i>Arenicola marina</i></p>	<p>Hémoglobine extracellulaire s'avère transporteur d'oxygène universel. Molécule utilisée comme adjuvant de solutions de préservation commerciales.</p>	  <p>HEMARINA Meilleure oxygénation des greffons</p>
<p>Diminuer les risques de contaminations liés à la formation de biofilms dans les cathéters, les implants...</p>	<p>Se déplacer</p>	 <p>Requin des Galapagos <i>Carcharhinus galapagensis</i></p>	 <p>Reif 1985 Rapide circulation d'eau sur la peau diminue la probabilité d'implantation des microorganismes, + Taille des « Riblets » vs. bactéries défavorise la colonisation</p>	  <p>Surfaces antibactériennes</p>


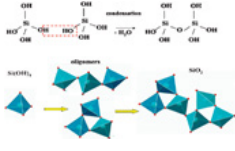
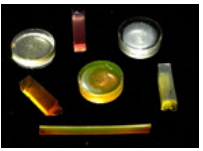

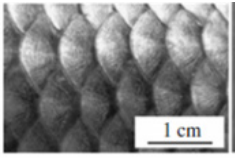
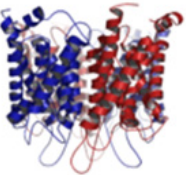

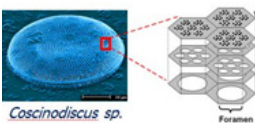

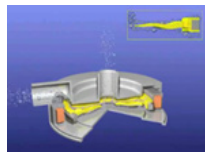


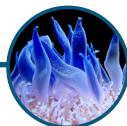
ENERGIE ET ÉCLAIRAGE

ENJEU INDUSTRIEL	FONCTION BIOLOGIQUE	EXEMPLE	APPLICATION
Améliorer le rendement énergétique des éoliennes	Se déplacer <i>Reduction de la résistance aux mouvements et de la traînée</i>	 <p>Baleine à bosse <i>Megaptera novaeangliae</i> Contour des nageoires présente une succession de protubérances qui facilite l'écoulement d'eau</p>	 <p> WHALEPOWER MULTI-SCALE TEST PROJECTS & STUDIES IN A MILLION YEARS OF WHELP TESTS</p> <p>Pâles d'éoliennes reproduit la forme des nageoires Rendement énergétique amélioré de 20 %</p>
		 <p>Mouvement de la queue de poisson</p>	 <p>Eolienne urbaine dont le système d'actuation est un rotor épicycloïdal.</p>
Convertir de l'énergie des vagues ou des courants en électricité	Se déplacer	 <p>Anguille tigre <i>Myrichthys maculosus</i> Couplages fluide/structure ondulante</p>	 <p> EEL ENERGY</p> <p>Hydrolienne à membrane ondulante qui convertit l'énergie des vagues en électricité via un système électromécanique (1 MW pour 2,5 m/s)</p>
	Se déplacer	 <p>Comportements hydrodynamiques collectifs</p>	 <p> BioPower Systems</p> <p>Réseau de systèmes de conversion de l'énergie des vagues en électricité</p>
Eclairer	Communiquer	 <p>Bioluminescence des méduses <i>Aurelia aurita</i></p>	 <p> TANGRAM ARCHITECTES</p> <p>Système passif sans électricité</p>



PROCÉDÉS INDUSTRIELS

ENJEU INDUSTRIEL	FONCTION BIOLOGIQUE	EXEMPLE	MÉCANISME	APPLICATION
Fabrication de verre dans des conditions de chimie douce	Se nourrir Se protéger	 <p>Frustules siliceuses des Diatomées</p>  <p>Fibres des Eponges <i>Euplectella sp.</i></p>	 <p>Silice fabriquée à partir de précurseurs présents en solution aqueuse</p>	 <p>Procédé Sol-gel de formation de couches minces, sphères, incluant des molécules organiques...</p>
Lutter contre l'encrassement biologique (qui augmente les pertes de charge et le risque pathogène)	Ne pas adhérer	 <p>Poisson <i>Micropterus</i></p>	 <p>Surface superoléophile</p>	
Purifier l'eau pour la rendre potable avec un procédé efficace	Se nourrir	 <p>Protéines aquaporines filtrant l'eau à travers les membranes des cellules</p>	Protéines transmembranaires qui filtrent sélectivement les molécules d'eau à travers la membrane	 <p>AQUAPORIN Membranes filtrantes</p>
Filtrer	Se nourrir	 <p><i>Coscinodiscus sp.</i> Anderson 2016</p>	Architecture à porosité graduelle	
Pomper Mettre en mouvement	Se déplacer	 <p>Anguille tubicole <i>Gorgasia preclara</i></p>	Déplacement par ondulations du corps	 <p>wavera Pompe à membrane ondulante</p>



BIOMIMÉTISME MARIN ET CROISSANCE BLEUE

La croissance bleue recouvre l'ensemble des opportunités de développement durable de nouveaux produits, services, procédés et activités à partir des ressources et services rendus à la société par les écosystèmes marins et côtiers¹⁸.

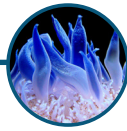
Ces innovations permettent d'assurer la pérennité et l'adaptation de l'économie maritime aux principaux défis sociétaux : création de valeur ajoutée et d'emplois durables, transition énergétique, prévention des risques littoraux et adaptation au changement climatique, enjeux alimentaires et sanitaires, protection de l'environnement marin, etc.

Les enjeux de développement de l'économie bleue résident non seulement dans le maintien des activités maritimes traditionnelles (aquaculture, conchyliculture, transport maritime, tourisme littoral, industries nautiques et navales), mais se trouvent également dans les secteurs émergents tels que les énergies marines renouvelables, l'utilisation des bio-ressources marines, les biotechnologies marines, l'aquaculture offshore, les ressources minérales profondes et les plateformes multi-usages profondes.

Le tableau suivant croise les opportunités d'innovations offertes par la biologie marine (en colonne) et les applications par secteur économique de l'économie bleue (en ligne).

	Pêche et aquaculture marines	Industries nautiques et navales	Tourisme Littoral	Ports et infrastructures portuaires	Protection et surveillance du littoral	Energies marines renouvelables	Bio-technologies marines	Plateformes Offshore Multi-Usage
Filtres et membranes	x	x					x	
Robotique		x			x	x		x
Energies renouvelables						x		
Science des matériaux		x				x		x
Bio-adhésifs		x		x				
Gestion du biofouling	x	x	x	x	x	x		x
TIC	x	x	x	x	x	x		x
Biodiversité moléculaire							x	

¹⁸ CESER de l'Atlantique Conseils économiques sociaux environnementaux des régions Normandie, Bretagne, Pays de la Loire et Nouvelle Aquitaine



QUELQUES EXPERTISES FRANÇAISES LIÉES AUX RESSOURCES MARITIMES

INSTITUTS DE RECHERCHE

Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER)

L'Ifremer, souvent cité comme la plus grande communauté océanographique d'Europe, contribue, par ses travaux et expertises, à la connaissance des océans et de leurs ressources, à la surveillance du milieu marin et du littoral et au développement durable des activités maritimes. À ces fins, il conçoit et met en œuvre des outils d'observation, d'expérimentation et de surveillance, et gère des bases de données océanographiques.



Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN)

Le Muséum intervient dans les sciences marines essentiellement via l'unité mixte de recherche **BOREA** (Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques). Il s'appuie également sur deux stations de biologie marine en Bretagne : le Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers (CRESCO), fruit d'un partenariat avec l'Ifremer à Dinard, et la station de biologie marine de Concarneau, gérée en concertation avec le collège de France.



Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

Le CNRS co-anime sur la façade, en partenariat avec d'autres établissements, de très nombreuses unités mixtes de recherche et deux principales stations de biologie marine à Roscoff et Arcachon.



Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

L'IRD est un organisme pluridisciplinaire reconnu internationalement, travaillant principalement en partenariat avec les pays méditerranéens et intertropicaux. Il regroupe une dizaine d'unités de recherche en lien avec la biodiversité marine (LEMAR, BOREA, GRED, ISE-M, IMBE, EIO, MARBEC, ENTROPIE).



Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO)

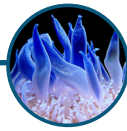
L'Institut Méditerranéen d'Océanologie est un laboratoire de recherche en Océanologie des Universités d'Aix Marseille, de Toulon, sous la tutelle du CNRS et de l'IRD. Ses thématiques de recherche concernent l'océan, ses interfaces avec le continent et l'atmosphère, avec pour objectifs de mieux comprendre le système océanique et son évolution en réponse au changement global.



Institut Océanographique Paul Ricard

L'Institut Océanographique Paul Ricard a la double vocation de faire connaître et protéger la mer et d'être un centre de recherche sur le milieu marin, en particulier en Méditerranée. Les travaux des scientifiques portent principalement sur l'écologie littorale, la microbiologie marine, l'aquaculture, la lutte antipollution et la préservation de la biodiversité marine.





Agence pour la Recherche et la Valorisation Marines (ARVAM)

L'Agence pour la Recherche et la VALorisation Marines assure un relais entre la Recherche Scientifique et les responsables de l'Environnement et du Développement dans la zone Océan Indien et plus particulièrement à la Réunion.



Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE)

Le Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement est l'un des plus éminents laboratoires français pour l'étude des systèmes coralliens et le développement de technologies bioinspirées autour du corail. Il est implanté sur deux sites géographiques principaux, le campus de l'Université de Perpignan et la station de terrain sur l'île de Moorea en Polynésie française.



D'autres organismes nationaux comme l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) ou l'Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA) consacrent une partie de leurs travaux de recherche à des problématiques liées à la mer et au littoral.

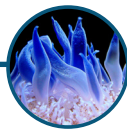
ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE RECHERCHE

Les universités de la façade Atlantique (Rouen Normandie, Le Havre Normandie, Caen Normandie, Rennes 1 et 2, Bretagne Occidentale, Bretagne Sud, Nantes, Angers, Maine, La Rochelle, Bordeaux et Pau et Pays de l'Adour) sont toutes investies, à des degrés divers, dans les sciences et techniques de la mer, via des laboratoires et équipes qui leur sont propres¹⁹. L'Université parisienne Pierre et Marie Curie est également représentée sur la façade, notamment via la station biologique de Roscoff.

D'autres établissements d'enseignement supérieur, dont les écoles d'ingénieurs, mènent également des travaux de recherche dans le domaine des sciences et techniques de la mer :

- L'École Nationale Supérieure Maritime (Le Havre, Saint-Malo, Nantes)
- l'École Navale (basée à Brest)
- l'Institut national supérieur des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage dit « Agrocampus Ouest » (Rennes, Beg-Meil et Angers)
- l'École Centrale de Nantes
- l'École Nationale d'Ingénieurs de Brest
- l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Caen
- l'École Supérieure d'Ingénieurs des Travaux de la Construction de Caen
- l'École Nationale Supérieure de Techniques Avancées de Bretagne (basée à Brest)
- l'Institut Mines-Télécom Atlantique Bretagne-Pays de la Loire (à Brest, Rennes et Nantes)
- l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (dont deux sites à Angers et Bordeaux)
- l'Institut national des sciences et techniques de la mer (Cnam-Intechmer) de Cherbourg-en-Cotentin.

¹⁹Innovation et économie maritime : un océan d'opportunités pour les régions de la façade atlantique française, Conseils Economiques Sociaux et Environnementaux de l'Atlantique, 2017.



La plupart de ces instituts de recherche nationaux et de ces établissements d'enseignement supérieur sont fédérées via des groupements de recherches, dont on peut citer :

Milieus et Ressources Aquatiques (MIRA)

Créée par l'Université de Pau et des Pays de l'Adour en janvier 2011, cette Structure Fédérative de Recherche associe huit laboratoires et équipes de recherche de l'UPPA, du CNRS, de l'Ifremer et de l'INRA. L'objectif général de MIRA est de fédérer les compétences et les moyens dédiés aux milieux aquatiques au sein de ces laboratoires, autour du thème des « Pressions anthropiques et des enjeux de durabilité des milieux aquatiques ».



Groupe de Recherche Energies Marines Renouvelables (GdR EMR)

Le GdR EMR vise à structurer la communauté académique sur les Energies Marines Renouvelables et à favoriser la mise en place de collaborations entre partenaires du GDR et le tissu industriel.



Groupe de Recherche Des micro-algues aux risques pour l'Homme et l'écosystème (GdR Phycotox)

Le GdR Phycotox regroupe les équipes françaises travaillant sur les zones côtières fréquemment touchées par les algues toxiques ou nuisibles. Ce GdR vise à mieux comprendre les risques sanitaires posés par les toxines, évaluer l'impact des algues toxiques sur l'écosystème marin et quantifier les risques socio-économiques.



STRUCTURES D'ACCOMPAGNEMENT DE L'INNOVATION

Cluster Maritime Français

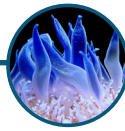
Le Cluster Maritime Français (CMF) est un réseau d'entreprises créé en 2006 par et pour les professionnels afin de rassembler tous les secteurs du maritime et développer les opportunités d'innovation et de marchés (Construction et activités navales, Défense et actions de l'Etat en mer, Energies marines renouvelables, Formation maritime, Nautisme et plaisance, Oil & gas offshore, Pêche, aquaculture, produits de la mer, biotechnologies, Ports de commerce et services portuaires, Recherche scientifique et océanographique marines, Ressources minérales marines, Transport maritime).



Pôle Mer Bretagne Atlantique et Pôle Mer Méditerranée

Le Pôle Mer est un pôle de compétitivité dédié à l'innovation dans l'économie maritime et littorale. Il se décline en pôle Mer Bretagne Atlantique et Pôle Mer Méditerranée, selon la façade maritime concernée. En 2017, il compte 350 adhérents dont 200 TPE-PME. Le pôle a identifié six domaines d'action stratégique : Sécurité et sûreté maritimes, Naval et nautisme, Ressources énergétiques et minières marines, Ressources biologiques marines, Environnement et aménagement du littoral, Infrastructures portuaires et transports maritimes.





COMPÉTENCES REGIONALES EN NOUVELLE AQUITAINE

ACTEURS INSTITUTIONNELS

Communauté d'Agglomération Pays Basque

Sous l'impulsion du Maire de Biarritz, Michel Veunac, l'Agglomération Pays Basque souhaite étudier la faisabilité d'intégration d'un pôle dédié au biomimétisme marin dans le cadre du développement d'une future technopole dédiée à l'Economie de l'Océan.



ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE RECHERCHE



Institut des Sciences Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux (IPREM)

Université de Pau et des Pays de l'Adour

Physico-chimie des surfaces et matériaux polymères

Matériaux biosourcés d'origine marine, Biomatériaux pour la santé, cosmétique et packaging

Laboratoire des sciences pour l'ingénieur appliquées à la mécanique et au génie électrique (SIAME)

Université de Pau et des Pays de l'Adour

Interactions vagues-structures, écoulement complexes et énergétique

Laboratoire Ressources halieutiques Aquitaine (IFREMER-LRHA)

Laboratoire de Chimie des polymères organiques (CNRS-LCPO)

Université de Bordeaux

Polymères biosourcés, Autoassemblage de polymères et sciences du vivant

Institut Européen de Chimie et Biologie (CNRS-IECB)

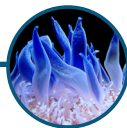
Université de Bordeaux

Chimie supramoléculaire biomimétique

Centre de Recherche Paul Pascal (CNRS-CRPP)

Université de Bordeaux

Matériaux fonctionnels par ingénierie colloïdale



ChemBioPharm (INSERM U1212)

Université de Bordeaux

Ingénierie biomédicale, chimie organique, nanotechnologies, matériaux bio-inspirés pour des applications thérapeutiques

Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles (CNRS-LCSN)

Université de Limoges

Molécules d'intérêt issues de la biodiversité marine

Laboratoire Littoral, Environnement et Sociétés (CNRS-LIENSs)

Université de la Rochelle

Biodiversité et Fonctionnement des Ecosystèmes littoraux, Biotechnologies et Chimie des Bioressources pour la Santé

Observatoire PELAGIS, Systèmes d'Observation pour la Conservation des Mammifères et Oiseaux Marins (CNRS)

Université de la Rochelle

Ingénierie pour les Transports et l'Environnement (Institut P')

Université de Poitiers

Robotique, biomécanique, sport et santé

Aquapôle-INRA

Aquaculture/Croissance bleue

ESTIA

Ingénierie, Innovation, Textile

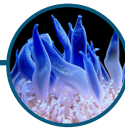
CENTRES DE RECHERCHE ET DE RESSOURCES



Institut des Milieux Aquatiques

Ecologie des eaux maritimes et fluviales, inventaires de biodiversité, Etudes d'incidences sanitaires et environnementales

Centre de la Mer de Biarritz s'articule autour de deux axes principaux : des activités pédagogiques/sensibilisation, et des recherches scientifiques/expertises concernant la biodiversité marine et les risques côtiers.



STRUCTURES D'ACCOMPAGNEMENT DE L'INNOVATION



Cluster Eurosima

EuroSIMA (Association Européenne des industriels des actions sports) réunit les acteurs de l'industrie de la glisse.

Comité Interdépartemental des Pêches et des Elevages Marins 64-40 (CIDPMEM 64-40)

Le comité local du quartier de Bayonne est la structure qui supervise toute l'interprofession de la pêche de Hendaye à Capbreton avec les délégués des métiers du poisson : marins, armateurs, mareyeurs, conserveurs, saleurs, ouvriers de criée, cultures marines. Il intervient sur tous les domaines : réglementation pêche, arrangements entre professionnels, formation et innovation.

Cluster Croissance bleue

Le Cluster régional Croissance bleue réunit les acteurs du maritime néo aquitain pour co-construire la politique régionale maritime et favoriser la réussite et l'accélération des projets.

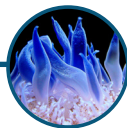
STRUCTURES DE DIFFUSION



Aquarium de Biarritz

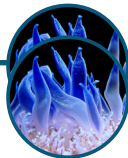
La Cité de l'Océan de Biarritz contribue à la promotion du biomimétisme marin. A ce titre, elle a organisé l'évènement « L'Océan, Source d'inspiration et d'Innovation » en partenariat avec la Région Nouvelle-Aquitaine et le CEEBIOS avec le 18 mars 2017.





ENTREPRISES

ENTREPRISE	SECTEUR D'ACTIVITÉ	THÉMATIQUES
	Sports de glisse	Dérive de planches de surf inspirée du déplacement des poissons pour plus de maniabilité
	Sports de glisse	Textiles et Matériaux
	Sports de voile	Textiles et Matériaux
	Energie	Equipement des navires de fret d'ailes pour diminuer jusqu'à 30 % leur consommation de pétrole
	Chimie / Dermo-cosmétique	Algues utilisées en formulation
	Biotechnologies	Puits de carbone urbains utilisant l'activité de microalgues photosynthétiques
	Biotechnologies	Protection des cultures contre les agents pathogènes grâce à des micro-algues marines
	Environnement littoral et océanographie	Exploration des ressources biologiques et énergétiques
	Energie	Eolienne urbaine dont le système d'actuation est inspiré du mouvement de queue des poissons (rotor épicycloïdal)
 <p>Filiale du groupe Suez</p>	Environnement	Innovations pour la gestion des déchets et suivi du littoral
	Energies marines renouvelables	Eolien offshore, énergie thermique des mers, hydrolien, houlomoteur



ANNEXE : SECTEURS INDUSTRIELS DE LA CROISSANCE BLEUE

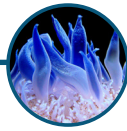
SECTEURS INDUSTRIELS DE LA CROISSANCE BLEUE

La croissance bleue recouvre l'ensemble des opportunités de développement durable de nouveaux produits, services, procédés et activités à partir des ressources et services rendus à la société par les écosystèmes marins et côtiers¹⁰.

Ces innovations permettent d'assurer la pérennité et l'adaptation de l'économie maritime aux principaux défis sociétaux : création de valeur ajoutée et d'emplois durables, transition énergétique, prévention des risques littoraux et adaptation au changement climatique, enjeux alimentaires et sanitaires, protection de l'environnement marin, etc.

Les enjeux de développement de l'économie bleue résident non seulement dans le maintien des activités maritimes traditionnelles (aquaculture, conchyliculture, transport maritime, tourisme littoral, industries nautiques et navales), mais se trouvent également dans les secteurs émergents tels que les énergies marines renouvelables, l'utilisation des bio-ressources marines, les biotechnologies marines, l'aquaculture offshore, les ressources minérales profondes et les plateformes multi-usages profondes.





A PROPOS DES AUTEURS

Le CEEBIOS se positionne en structure d'intérêt général, visant à catalyser la richesse des compétences nationales du monde académique, de l'enseignement et de la R&D industrielle dans le domaine de la bio-inspiration autour de 6 axes :

1. Fédérer le réseau de compétences en biomimétisme,
2. Accompagner les projets innovants,
3. Développer les outils méthodologiques et de gestion de la donnée
4. Contribuer à la Formation,
5. Communiquer, influencer,
6. Contribuer au développement de plateformes et démonstrateurs.

Des grands groupes tels que Air Liquide, Eiffage, ICADE, Renault, L'Oréal, LVMH, Rabot Dutilleul, Mäder, EGIS, RTE, EDF, Decathlon, Elan, Engie et de nombreuses PME ont déjà adhéré à l'association CEEBIOS et plusieurs acteurs industriels et universitaires manifestent leur volonté de s'engager dans cette voie sur des enjeux à fort impact sociétal : éco-matériaux innovants, chimie verte, gestion de l'énergie et de l'eau, économie circulaire et nouveaux modèles agricoles.

Le CEEBIOS répond ainsi aux recommandations du Commissariat Général du Développement Durable en 2012²⁰, et celles du Conseil Economique Social et Environnemental en 2015²¹ pour la structuration et mise en œuvre d'une feuille de route nationale du biomimétisme.

Le CEEBIOS accompagne la Région Nouvelle-Aquitaine depuis 2017 dans le déploiement du biomimétisme sur son territoire^{22,23} : par la cartographie des acteurs du territoire pertinents pour le biomimétisme, par une étude d'impacts économiques autour de l'innovation bio-inspirée et par la mise en place de groupes de travail régionaux.



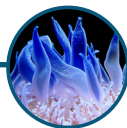
<http://ceebios.com>

²⁰ S'inspirer de la nature pour innover durablement – La Région Nouvelle - Aquitaine sur la voie du biomimétisme - CEEBIOS, 2016.

²¹ La Nouvelle - Aquitaine, une région bio-inspirée – Cartographie des acteurs et évaluation des retombées socio-économiques – CEEBIOS, 2018

²² Commissariat Général au Développement Durable, Etude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France, H. Durand, 2012.

²³ Conseil Economique, Social et Environnemental, Le biomimétisme : s'inspirer de la nature pour innover durablement, P. Ricard, 2015.



SÉLECTION DE RÉFÉRENCES

La biodiversité marine : une richesse à préserver - MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, 10 juillet 2015.

La Recherche, Les plus grandes controverses scientifiques – La vie continue jusque dans les abysses, Hors-Série Décembre 2017-Janvier 2018.

G. Bœuf & J.M. Kornprobst, Biodiversité et chimiodiversité marines, *Biofutur* 301 (2009).

G. Bœuf, Marine biodiversity characteristics, *Biodiversity*, 334 (2011).

Mission Economie de la Biodiversité, *Biodiv' 2050*, n°10 (2016).

G. Bœuf et al., Biodiversité en environnement marin, Rapport à l'Ifremer (2010).

W. Appeltans et al., The magnitude of global marine species diversity, *Current Biology*, 22 (2012).

I.A. Anderson, J.F.V. Vincent & J.C. Montgomery, *Ocean innovation – Biomimetics beneath the waves*, CRC Press (2016).

A. Guillot & J.A. Meyer, *Poulpe fiction – Quand l'animal inspire l'innovation*, Dunod, Chapitres 1,5,6 (2014).

S. Henrion, T. Vercruyssen & U.K. Müller, *Swimming, swarming and sensing – Bio-inspired water robotics*, Hydro International (2014).

J.O. Dabiri, Renewable fluid dynamic energy derived from aquatic animal locomotion, *Bioinspiration and Biomimetics*, 2 (2007).

J. Venkatesan & S.K. Kim, Marine biomaterials, *Biomedical Applications*, 53 (2015).

D.W. Green, W.F. Lai & H.S. Jung, Evolving Marine Biomimetics for Regenerative Dentistry, *Marine Drugs*, 12 (2014).

P. Flammang & R. Santos, Biological adhesives: from biology to biomimetics, *Interface Focus*, 5 (2015).

K.A. Park et al., Advances in medical adhesives inspired by aquatic organisms, *Biomaterial Research*, 21:16 (2017).

G.D. Bixler & B. Bushan, Biofouling: lessons from nature, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 370 (2013)

W.E.G. Müller et al., Principles of biofouling protection in marine sponges: a model for the design of novel biomimetic and bio-inspired coatings in the marine environment? *Marine Biotechnology* (2013).

G.J. Bakus, N.M. Targett & B. Schulte, Chemical ecology of marine organisms: an overview, *Journal of Chemical Ecology*, 12 (1986).

G. Bœuf, Océan et recherche biomédicale, *Journal de la Société de Biologie*, 201 (1), 5-12 (2007).

D.H. Ngo et al., Biological activities and potential health benefits of bioactive peptides derived from marine organisms, *International Journal of Biological macromolecules*, 51 (2012).

R.K. Jha & X. Zi-Rong, Biomedical compounds from marine organisms, *Marine Drugs*, 2 (2004).

S.K. Kim et al., Prospective of the cosmeceuticals derived from marine organisms, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 13 (2008)

S.C.M. Fernandes, A. Alonso-Varona, T. Palomares, V. Zubillaga, J. Labidi and V. Bulone Exploiting mycosporines as natural molecular sunscreens for the fabrication of UV-absorbing green materials, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7 (30): 16558–16564, 2015

