

ELEMENTS D'ÉCOLOGIE MARINE

Les Océans, ce sont plus des $\frac{3}{4}$ de la surface de notre planète ! Grandes étendues d'eaux salées, en perpétuels mouvements, on les pensait dans l'Antiquité peuplés de créatures mythiques ou fantastiques, on les considérait avec crainte et respect. Ils ont été à la fois sources de vies, de nourritures, puis ont permis à l'Homme de communiquer, de conquérir, de commercer et d'échanger.



Notre planète possède deux poumons :

- la végétation avec l'assimilation chlorophyllienne, mais qui consomme tout l'oxygène qu'elle produit,
- et les Océans avec la production du phytoplancton (plancton végétal) et la photosynthèse.



Sources de vies donc, à l'origine de l'évolution des espèces dont l'Homme n'est qu'un des aboutissements, les océans sont cependant en grave danger suite à l'inconséquence de certains de nos choix de vie. Et pourtant, comment l'Homme peut-il imaginer de ne pas se sentir concerné ?



Quelques exemples montrent leur importance et la dépendance de l'Homme vis-à-vis de leur devenir.



Les quelques notions sur la « **classification du vivant** » illustrent l'évolution des espèces et, en particulier, celles présentes dans ou issues du milieu marin, plus nombreuses que celles vivant sur terre.



L'acidification des Océans, directement liée au réchauffement climatique et à l'émission de gaz carbonique dont l'homme est un des principaux acteurs. C'est un problème grave dont il nous faut prendre la mesure et être conscients des conséquences.



Autre côté sombre de la relation de l'Homme et des Océans, **les pollutions** dont deux exemples, celle par les matières plastiques et celle menant à l'invasion de certains littoraux par des algues vertes, montrent le danger de pratiques non réfléchies.



Mais les Océans sont aussi porteurs d'espoirs, espoirs de guérison de maladies graves, car sources de recherches pour la découverte, l'extraction et la production de molécules nouvelles. **De nouveaux horizons s'ouvrent pour la médecine.**



L'Océan est à l'origine de l'Homme, il est aussi son avenir !



CLASSIFICATION DU VIVANT

Un peu d'histoire



La classification nous permet de parler du monde vivant, puis de tenter de comprendre sa diversité d'aujourd'hui. La science des classifications est aussi appelée systématique.

Les premières ébauches de classifications apparaissent dès l'Antiquité. Les êtres vivants sont comparés en fonction des attributs qu'ils ont.



Dans la classification des espèces issue des travaux du naturaliste suédois **Carl von Linné** (1707-1778), tous les êtres vivants sont comparés à l'Homme qui en est placé au sommet. Les autres êtres vivants sont placés en dessous et regroupés en fonction de leurs attributs. Ils sont

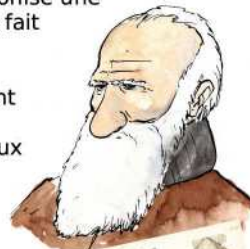
classés par règne, classe, ordre, famille, genre et espèce.

À cette époque, on pense que les espèces sont figées, qu'elles ont été créées par Dieu et qu'elles resteront telles quelles à jamais.



A partir du 19e siècle, **Charles Darwin** (1809-1882, naturaliste anglais) théorise une généalogie évolutive du vivant et préconise une classification qui en rend compte. Il ne fait plus référence à l'aspect divin dans l'élaboration de ses théories. La classification se fait alors exclusivement sur la présence d'attributs tels que mandibules, vertèbres, système nerveux dorsal, ... Par un jeu de déductions, on définit « qui est proche de qui ? » en termes de parenté, on imagine des cousinages restant cependant toujours hypothétiques.

C'est ce que Darwin appelait la généalogie, précurseur de la science moderne que l'on appelle aujourd'hui **la phylogénie**.



CLASSIFICATION DU VIVANT

Généalogie ou Phylogénie?

La **généalogie** induit les notions de descendance, d'ancêtres et de descendants clairement identifiés comme par exemple dans les registres d'état civil. Il est évident que ceci est inapproprié pour la plupart des êtres vivants !

La **phylogénie** s'attache à définir « qui est proche de qui » en termes de parenté. Son principe consiste à proposer une reconstitution de l'évolution à partir des espèces actuellement présentes. Des hypothèses de processus évolutifs conduisent à imaginer l'existence d'ancêtres hypothétiques. L'objectif final consiste à créer des groupes rassemblant tous leurs descendants.



Comme en généalogie, l'évolution est schématisée sous la forme d'un arbre, l'arbre phylogénétique, comportant des branches aux extrémités desquelles on trouve les espèces ou les groupes identifiés qui existent ou ont existé sur Terre. A chaque branche correspond une innovation évolutive, un nouvel attribut, et à chaque nœud correspond un ancêtre hypothétique ou un taxon*.

Les groupes paraphylétiques** :

Certains groupes, appelés paraphylétiques, comme les poissons et les reptiles, déjà répertoriés dans la classification de Linné, persistent dans la nouvelle classification dans laquelle leur appellation est « crâniates*** sans pattes ».

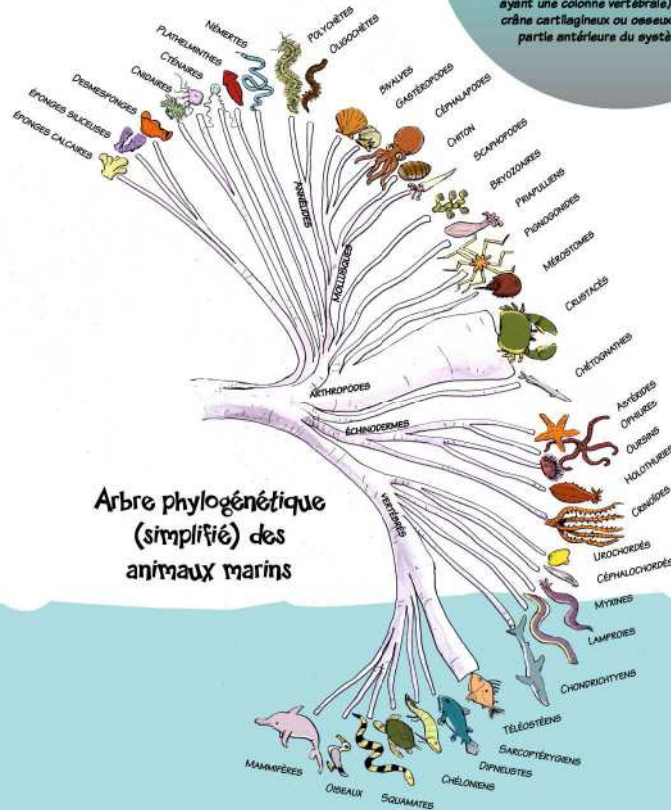


Lexique

* « Un taxon correspond à une entité d'êtres vivants regroupés parce qu'ils possèdent des caractères en commun du fait de leur parenté, et permet ainsi de classer le vivant à travers la systématique »

** « Paraphylétique se dit d'un groupe d'êtres vivants qui contient une partie (mais pas la totalité) des descendants d'un ancêtre (qui constitue leur ancêtre commun) ainsi que cet ancêtre »

*** Les Crâniates sont des Chordés (animaux ayant une colonne vertébrale) possédant un crâne cartilagineux ou osseux protégeant la partie antérieure du système nerveux.



ACIDIFICATION DES OcéANS

Le carbone est présent dans toutes les formes de vies animales ou végétales et dans de nombreux minéraux. Le cycle du carbone décrit son passage d'une forme à une autre, d'un domaine à un autre. Cet équilibre relativement stable pendant des millénaires est aujourd'hui perturbé par les activités humaines

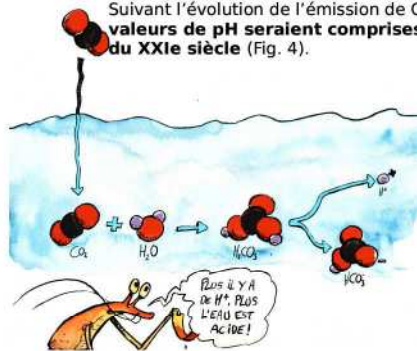
L'augmentation récente et rapide de la concentration du dioxyde de carbone CO_2 dans l'atmosphère (Fig. 1) résulte des activités humaines. Le CO_2 est l'un des principaux gaz à effet de serre avec pour conséquence une élévation de la température moyenne observée sur notre planète.



Autre conséquence : Environ 30% du CO_2 émis par l'Homme depuis le début de l'ère industrielle a été absorbé par l'océan. Une conséquence en est une sensible diminution du pH de l'eau de mer, phénomène que l'on appelle « l'acidification des océans » (voir fig. 2 et 3).

Le pH est défini par $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$, où $[\text{H}^+]$ est la concentration molaire des ions hydrogène dans une solution.
Solution basique : $\text{pH} > 7$; solution acide : $\text{pH} < 7$

De l'ordre de 8,2 avant le début de l'ère industrielle, le pH moyen de la surface des océans n'est aujourd'hui que de 8,08. Suivant l'évolution de l'émission de CO_2 dans l'atmosphère, les valeurs de pH seraient comprises entre 7,8 et 8,05 à la fin du XXI^e siècle (Fig. 4).



Ce sujet très complexe a suscité depuis 10 ans la mise en place de nombreux programmes de recherche et collaborations internationales. La composition des océans évolue par une dynamique d'équilibres chimiques interagissant les uns avec les autres. La température, la pression, les concentrations des divers constituants les définissent.

UNE AUGMENTATION DE LA TENEUR EN CO_2 DANS L'EAU DE MER A POUR CONSÉQUENCE LA LIBÉRATION D'IONS CARBONATES (CO_3^{2-}) CORRÉLÉE À UNE DIMINUTION DU pH. CE QUI PEUT ÊTRE SCHEMATISÉ PAR UNE PREMIÈRE SÉRIE DE RÉACTIONS D'ÉQUILIBRE :



UNE AUTRE RÉACTION D'ÉQUILIBRE, QUI SE DÉVELOPPE DANS LES CONDITIONS DE pH ACTUELLES DES OcéANS, CONSOMME DES IONS CARBONATES :

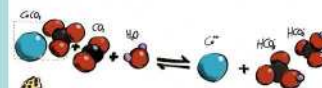


Les ions carbonates (CO_3^{2-}) sont nécessaires à la fabrication des coquilles et squelettes des coraux, des coquillages, des crustacés ou de certains organismes planctoniques marins. Ces ions étant moins disponibles dans l'eau de mer, la formation de ces éléments calcaires est donc impactée.

Des organismes se développant sous formes larvaires planctoniques sont sensibles à l'acidification alors que d'autres pourraient bénéficier des teneurs élevées en CO_2 (Fig. 5 et 6).

D'ici le milieu de notre siècle, les taux de calcification des massifs coralliens tropicaux sont susceptibles de baisser d'environ un tiers, et celui de leur érosion sera alors supérieur à celui de leur croissance. L'acidification des océans gêne également la calcification des écosystèmes coralliens d'eaux froides qui constituent l'habitat, les aires d'alimentation et les zones de reproduction et de croissance de nombreux organismes vivant. Les larves de poissons, de crustacés et de mollusques sont particulièrement vulnérables.

Dernière considération pessimiste : l'absorption d'une partie du CO_2 atmosphérique participe à une diminution de l'effet de serre. Mais ... le réchauffement climatique entraîne une diminution du CO_2 dissous (une augmentation de température de l'eau de 2°C entraîne une baisse de 10% de la quantité de CO_2 dissoute) ... ce qui participe à l'augmentation de l'effet de serre !



ACIDIFICATION DES OcéANS

FIGURE 1 : Evolution de la concentration atmosphérique de CO₂ depuis 10 000 ans. Depuis 1750 dans la fenêtre. (d'après GIEC 2007 p. 38)

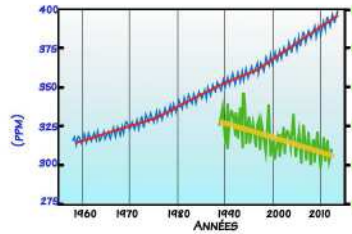
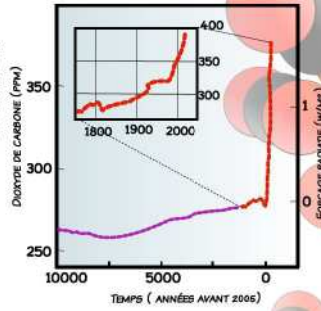


FIGURE 2 : corrélation entre la teneur en CO₂ dans l'atmosphère et le pH des eaux marines de surface à Hawaii (d'après R. Feely, P. Tana et R. Keeling, Scripps Institution of Oceanography et GIEC 2013 p. 10)



FIGURE 3 : Corrélation entre l'augmentation de la teneur en CO₂ dans les océans et le pH de l'eau de mer (d'après UNEP 2009 p. 32)

FIGURE 4 : Evolution estimée de la valeur du pH moyen relevé en surface des océans. Courbe bleue : maîtrise de très faibles émissions de CO₂. Courbe rouge : quantités de CO₂ voisines des émissions actuelles (d'après GIEC 2013 page 19)

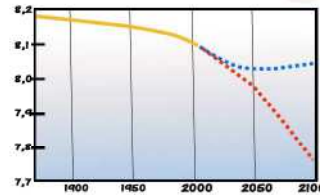


FIGURE 5 : Schématisation des effets de l'acidification des océans sur différents groupes taxonomiques :

Augmentation ou diminution moyennes de la réponse donnée (en %), ou absence d'une réponse positive ou négative (d'après Kroeker et al., 2013)

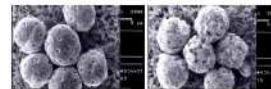


FIGURE 6 : Cellules de coccolithophores* observées au microscope électronique.

À gauche une cellule bien formée cultivée dans des conditions normales. À droite une cellule malformée de coccolithes cultivés dans des conditions de concentration importante en CO₂ (cours de didactique et épistémologie des Sciences Naturelles (UCL Louvain la Neuve))

*Les coccolithophores sont des algues unicellulaires protégées par une enveloppe calcaire appelée coccolithe

Quelques chiffres

40 %

Augmentation de la teneur en dioxyde de carbone CO₂ dans l'atmosphère depuis le début de la révolution industrielle.

26 %

Augmentation de la concentration en ions H⁺ dans les océans depuis le début de l'ère de développement industriel (et donc début du processus dit d'acidification des océans).

170 %

Augmentation prévue de la concentration en ions H⁺ dans les océans d'ici à 2100 par rapport aux niveaux préindustriels si les émissions de CO₂ évoluent au rythme actuel.

X 10

Le rythme actuel d'augmentation de la concentration en ions H⁺ dans les océans est plus de 10 fois plus important qu'à aucun autre moment au cours des derniers 55 millions d'années.

24 MILLIONS

Nombre de tonnes de CO₂ que l'océan absorbe chaque jour



POLLUTION DES OcéANS

Les micro-plastiques,
la pollution invisible...

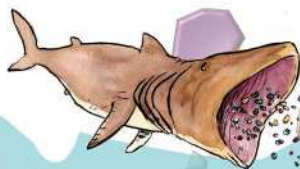


L'accumulation de déchets de toutes origines dans les océans est une cause importante de la dégradation du milieu marin. Il convient d'y inclure les déchets visibles et les micro-déchets. Les déchets visibles les plus spectaculaires sont constitués par tous les rejets d'objets divers dont des matières plastiques aux compositions variables. La quantité rejetée chaque année dans le milieu marin est de l'ordre de dix millions de tonnes.

Les matériaux plastiques se dégradent sur des périodes comprises entre quelques mois et des centaines d'années, donnant naissance avant dégradation complète à une myriade de micro-éléments.



Les déchets polluants consistent donc en des éléments visibles ainsi qu'en des micro-éléments invisibles tout aussi dangereux pour l'environnement.



- Les masses de déchets volumineux formant d'épaisses couches flottantes sont parfois désignées par le terme de sixième continent dérivant au gré des courants marins. Ces gros éléments ont des conséquences très visibles sur les animaux marins en les tuant par asphyxie ou, simplement, par ingestion ;



- Les micro-particules ont des conséquences encore mal connues. Outre le fait que les organismes marins peuvent les ingérer, ils peuvent aussi devenir des vecteurs potentiels de microorganismes dont certains peuvent être pathogènes (ces derniers pouvant se fixer aux micro-plastiques et se trouver véhiculés dans différents milieux) et de polluants chimiques (additifs liés aux plastiques à la conception, ainsi que des polluants de natures minérales ou organiques adsorbés à leur surface)



Toutes ces micro-particules sont en suspension dans l'eau, mais finissent aussi par se déposer dans les sédiments et les plages des zones côtières. Le traitement de ces dernières est impossible actuellement, raison supplémentaire de ne plus faire de rejets dans les océans ! N'oublions pas non plus tout les rejets chimiques divers et variés de nos activités économiques, parfois il y a même des radios-éléments présents de façon accidentelle, voire même autorisés par certains pays.

POLLUTION DES OcéANS



Les algues vertes

Les marées vertes sont provoquées par la prolifération puis l'accumulation d'une algue, *Ulva* ou *Ulve*, appelée aussi "laitue de mer". Elle foisonne en certains endroits sur les côtes depuis les années 70.

Trois conditions sont nécessaires pour qu'une marée verte puisse se former :

- la lumière et la température doivent être suffisantes car la croissance des algues dépend de la photosynthèse. Les fonds sablonneux et peu profonds renvoient la lumière en augmentant ainsi l'exposition des ulves aux rayons ultraviolets. Une hypothèse met également en cause le phénomène d'acidification des océans ;
- la présence de nitrates qui sont des éléments nutritifs pour ces algues ;
- le mouvement des masses d'eau doit être suffisamment faible pour permettre aux nutriments de se concentrer.

Le mouvement des marées

On pourrait croire que les baies maritimes ouvertes sur le large ne sont pas soumises au confinement et pourtant c'est parfois le cas. L'effet de la "dérive résiduelle" (mouvement de l'eau à chaque marée) peut être très atténué quand la profondeur est faible. C'est pourquoi on trouve une forte concentration de nutriments sur ces sites, et donc une prolifération des ulves.

Les nitrates

Les nitrates sont très solubles dans l'eau. Ce sont des sels contenant l'ion nitrate (NO_3^-), souvent associé au sodium sous forme de nitrate de sodium NaNO_3 . Leur abondance dans le milieu provoque une croissance fulgurante des algues à certaines périodes de l'année, lorsque les conditions environnementales (lumière, température, ...) et géographiques y sont propices.



Les marées vertes en France



RESSOURCES MARINES POUR LA MÉDECINE

Depuis des siècles, les algues marines sont utilisées par l'homme, en tant qu'aliments, engrais, désinfectants, mais aussi comme médicaments.



Avec ses 500 000 espèces répertoriées, la biodiversité du milieu marin, bien plus riche que celle du milieu terrestre, est une source inépuisable de molécules dont la majeure partie reste à découvrir. Ce n'est que depuis quelques dizaines d'années que des recherches sont menées pour identifier celles pouvant être à la source de molécules aux propriétés thérapeutiques exploitables. Aujourd'hui, si quelque 5 000 produits issus de la mer sont reconnus en pharmacologie, seulement quelques dizaines de médicaments sont disponibles et commercialisés du fait de la durée et du coût du processus d'autorisation d'emploi (cf. figure 1).

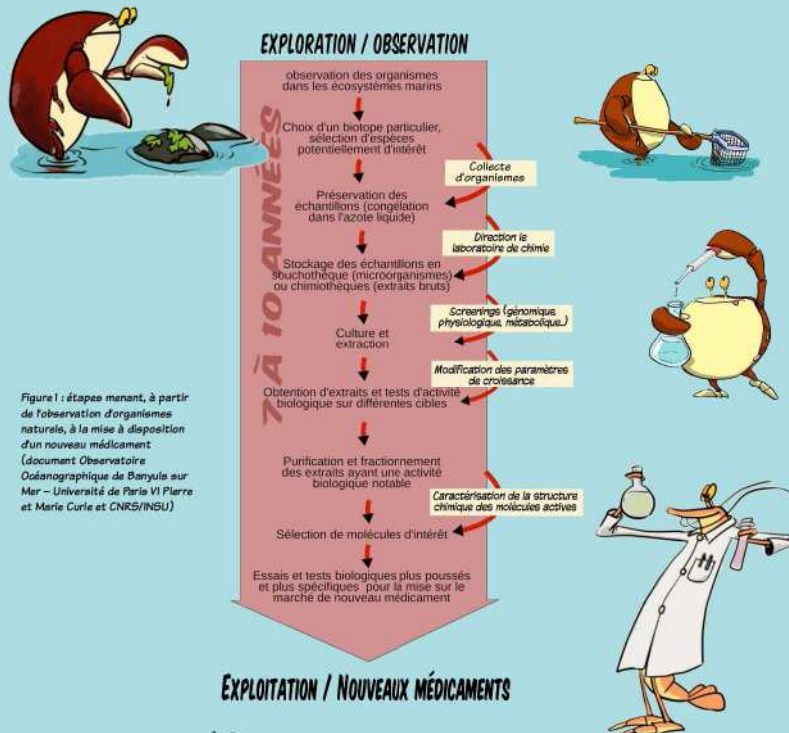


Figure 1 : étapes menant, à partir de l'observation d'organismes naturels, à la mise à disposition d'un nouveau médicament (document Observatoire Océanographique de Banyuls sur Mer - Université de Paris VI Pierre et Marie Curie et CNRS/INSU)

Quelques exemples

1964 : la céphalosporine, antibiotique isolé à partir d'un champignon marin. Synthétisée chimiquement, elle représente 2,5% du marché mondial des médicaments !



Les éponges, à l'origine de composés chimiques utilisés dans le traitement des leucémies, des zozos ou de l'herpès. Potentiellement, traitements du sida ou de la maladie d'Alzheimer.

Les requins et les ascidies (petits mollusques), seuls organismes à ne pas être touchés par le cancer grâce à des molécules telle la squalamine (figure 2). Traitement de plusieurs types de cancers (cerveau, seins, prostate, ovaires, côlon, etc).



Figure 2. Polydora caeca (ascidie coloniale) d'où sont issues les molécules schématisées qui sont exploitées dans la lutte contre les virus et contre le cancer.



L'efficacité de la **roscovitine** pour inhiber le développement de cellules a été découverte à la Station Biologique de Roscoff sur une enzyme d'étoile de mer, et ensuite a été prouvée sur l'homme. Protocole en cours sur la mucoviscidose.

RESSOURCES MARINES POUR LA MÉDECINE

Les organismes marins doivent vivre et survivre dans un environnement pouvant être hostile, soumis éventuellement à de très fortes pressions, et ne pouvant se défendre contre leurs prédateurs que par l'émission de molécules (les métabolites).

Ce sont de ces composés que les scientifiques cherchent à extraire des « principes actifs » dont il faut ensuite apprécier l'efficacité ainsi que leur acceptation par les organismes humains lorsqu'ils sont ingérés. Mais seulement, en moyenne, une molécule sur dix mille aboutit à un nouveau remède!

Ensuite ... deux possibilités. Soit les méthodes d'extraction permettent d'isoler des quantités significatives des molécules identifiées comme exploitables, soit il faut traiter d'énormes quantités d'organismes marins pour ne rassembler que de très faibles échantillons. Dans le premier cas, on peut imaginer de produire les quantités nécessaires d'organismes marin par culture dans des « fermes », alors que dans l'autre cas on est bien souvent obligé de chercher à synthétiser les molécules identifiées. Mais ces molécules sont le plus souvent complexes et difficiles à reproduire artificiellement.



Autres perspectives

Les grands fonds marins, encore mal connus, présentent un énorme potentiel de découvertes sur des espèces animales qui vivent en milieu extrême auprès des sources hydrothermales (fortes pressions, fortes chaleurs, sans lumière, présence de CO et de H₂S). L'Ifremer possède une collection de plus de 1 500 micro-organismes prélevés par le « Pourquoi pas ? » (figure 3). Des polymères d'origines bactériennes ont ainsi été isolés menant à des solutions en particulier dans les domaines des maladies cardiovasculaires ou des maladies de la peau.

Figure 3 : Le Pourquoi Pas ? navire pluridisciplinaire d'environ 108 m de long, peut ainsi mener à bien des missions d'hydrographie, hauturière ou côtière, de géosciences, d'océanographie physique, chimique et biologique
- photo @Ifremer - S. Lesbats



Autre développement issu de la Station Biologique de Roscoff, **le ver « Arenicola Marina » est source d'hémoglobine** avec, pour application, la production de substituts du sang pour la préservation des organes en attente de greffes.

Les bactéries marines qui développent des fonctions de protection contre les radiations ultra-violet ou la lutte contre les prédateurs sont exploitées dans des domaines de la cosmétique (antirides, écrans solaires, ...) ou dans des traitements médicaux (paludisme, ...).

L'étude des génomes de l'oursin a permis la compréhension du développement cellulaire de l'homme et l'étude de ses défenses immunitaires et, en conséquence, le développement de nouveaux moyens de protection contre les infections.

Certains coraux sont utilisés comme substituts de greffons osseux en chirurgie réparatrice.

Les crustacés (langoustes, crabes, araignées de mer, crevettes ...) sont utilisés pour leurs propriétés immunologiques, anti-tumorales, cicatrisantes ou anticoagulantes.



ÉCOLOGIE MARINE

« **Objet Mobile de Découverte** »



projet porté par **C'est dans l'aire**, Territoires de la culture scientifique

L'association **C'est dans l'aire**, lauréate du programme des Investissements d'Avenir, fédère 6 centres de science de 6 régions, qui ont l'ambition commune de porter les actions de culture scientifique, technique et industrielle vers des territoires et des publics éloignés, dans une démarche de mutualisation des moyens : **ArmorScience** (Pleumeur-Bodou, Bretagne), le **Carbet des Sciences** (Saint-Joseph, Martinique), **Centre Sciences** (Orléans, Centre), **Lacq Odyssee** (Mourenx, Aquitaine), la **Nef des sciences** (Mulhouse, Alsace) et le **Pavillon des sciences** (Montbéliard, Franche-Comté).

Comité de pilotage du Projet :




-  **Elise AUMONT**, Médiatrice Scientifique ArmorScience, chargée de la conception initiale et des recherches de partenaires ;
-  **Michel URIEN**, membre du CA d'ArmorScience, en charge du suivi du projet ;
-  **Yves-Marie PAULET**, membre du Conseil Scientifique d'ArmorScience, Professeur des Universités à l'Institut Universitaire Européen de la Mer IUEM/UBO/CNRS (Brest Plouzané), référent scientifique du Projet ;
-  **Thierry PILORGE**, membre du Conseil Scientifique d'ArmorScience, responsable du service communication, médiation et édition scientifiques, Station Biologique de Roscoff CNRS/UPMC, conseiller scientifique du projet ;
-  **Eric MILLOUR**, enseignant relais du Rectorat auprès d'ArmorScience, en charge du suivi pédagogique du Projet.

Les partenaires directs associés à la réalisation de chacun des outils :

Valise n°1 « **Classification et Hérité** »

-  Le **CNRS**, pour l'autorisation d'utiliser son tableau de classification du Vivant.


Valise n°2 « **Acidification des Océans** »

-  **Sophie MARTIN**, Chargée de Recherche CNRS à la Station Biologique de Roscoff, auteur du scénario de l'application « laboratoire virtuel acidification des océans » et conseiller scientifique ;
-  **Vincent BARREAUD**, **ENSSAT/IRISA**, professeur à l'ENSSAT Lannion ;
-  **Thomas BYGODT**, étudiant à l'ENSSAT, réalisateur de l'application « laboratoire virtuel ».

Valise n°3 « **Pollution des Océans** »

-  **Les élèves d'une classe du Collège Charles le Goffic** de Lannion, auteurs d'un scénario de développement des algues vertes en laboratoire.

Valise n°4 « **Ressources marines pour la Médecine** »

-  **Sandrine RUCHAUD**, Chargée de Recherche CNRS à la Station Biologique de Roscoff.



Les partenaires Enseignement Supérieur et Recherche

-  **Institut Universitaire Européen de la Mer** (IUEM, Université de Bretagne Occidentale/CNRS) ;
-  **ENSSAT Lannion** (École Nationale Supérieure des Sciences Appliquées et de Technologie/Université de Rennes 1) ;
-  **Station Biologique de Roscoff** (Université Paris VI Pierre et Marie Curie/CNRS) ;
-  **Collège Charles Le Goffic**, Lannion ;
-  **IFREMER** (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) Brest ;
-  **CEVA** (Centre d'Étude et de Valorisation des Algues) Pleubian.

Réalisation :

-  **Gilles MACAGNO** (gilles.macagno@orange.net), mise en page des panneaux, création des dessins des panneaux et des laboratoires virtuels ;
-  **PPA** (www.ppa-pub.fr), réalisation des panneaux ;
-  **Groupe de travail de bénévoles ArmorScience** pour la réalisation finale :

Jean-Marie HAUSSONNE ;	Michel TREHEUX ;
Michel BODIN ;	Gérard POULAIN ;
Hervé SIZUN ;	Michel URIEN ;
Pierre DAGORN ;	Michel DONTENWILLE.

