ISSN 1635-3064

INSTITUT PAUL RICARD OCÉANOGRAPHIQUE

LA LETTRE D'INFORMATION

DOSSIER

ET SI LA BIODIVERSITÉ *était la solution... ?*

N°18 - 2020/2021

BIODIVERSITÉ

Et si les solutions étaient sous nos yeux ?

La crise sanitaire mondiale à laquelle nous faisons face aujourd'hui vient nous rappeler à quel point notre existence est liée à la biodiversité.

Son appauvrissement, les scientifiques le rappellent, est l'un des facteurs majeurs qui expliquent l'émergence de maladies virales de plus en plus nombreuses. Son maintien est plus que jamais une question de survie pour lutter contre les pandémies à venir.

Pour contrer les virus, de tout temps en dormance dans la nature, et les empêcher de se propager, il faut préserver la biodiversité. Mais ce n'est pas suffisant. Il faut aussi conserver, pour chaque espèce, des populations nombreuses et une diversité génétique la plus grande possible. Elle seule est capable d'offrir une résistance aux virus en circulation. Face à eux, ils doivent trouver une multitude d'organismes capables de se défendre, ce qui passe aussi par la protection des habitats.

En octobre 2020, le Giec de la biodiversité, l'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) a publié un rapport qui met ainsi en lumière l'importance de la préservation des habitats, terrestres et marins. Il insiste également sur une nécessaire approche « One Health » (*« Une seule santé »*) dans les politiques nationales et internationales, une approche centrée sur les interconnexions permanentes entre la santé des personnes, des animaux, des plantes et de l'environnement.

Nous comprenons aujourd'hui les convergences entre l'Océan, le Climat et la Biodiversité, et c'est par la compréhension de ce nexus que nous trouverons des solutions d'adaptation et d'atténuation.

A l'heure où la conquête spatiale redémarre, nous pourrions reprendre l'exploration de la vie, ramener les sciences du vivant et les sciences de la terre au cœur de nos décisions. Notre rêve spatial a bâti une civilisation de technologie dont nous voyons les conséquences aujourd'hui. Il est urgent de remettre la biologie au cœur de nos enjeux.

Il est temps de changer nos consciences et d'accélérer notre connaissance du Vivant et l'interaction des écosystèmes à l'échelle planétaire dont nous dépendons, de comprendre que la protection du nexus Océan, Climat, Biodiversité doit devenir la feuille de route de toutes les activités humaines, d'accélérer les concertations et engagements internationaux.
Et il est surtout temps de comprendre que les solutions fondées sur la nature ou bio-inspirées sont les clefs de notre futur.

Nous avons rêvé de marcher sur la Lune.
Nous pourrions maintenant rêver de rester sur Terre.

Je laisse à Paul Eluard, qui avait compris sans la voir que la planète était bleue, le mot de la fin :
« Un autre monde existe, il est déjà dans celui-ci »

Ce monde s'appelle la vie.

Patricia Ricard
Présidente de l'Institut océanographique Paul Ricard

LETTRE D'INFORMATION
DE L'INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE PAUL RICARD
N°18 - 2020/2021

Institut océanographique Paul Ricard
île des Embiez
83140 Six-Fours-les-Plages
Tél : 04 94 34 02 49
E-mail : embiez@institut-paul-ricard.org
www.institut-paul-ricard.org

Couverture *- Image d'harmonie entre l'homme et la nature, un plongeur face à un banc de barracudas en mer Rouge (Ph. Adobe Stock/D. Brandelet).*

Directrice de la Publication : Patricia Ricard - **Rédacteur en chef :** Christian Frasson-Botton **Rédaction :** Claire Bertin, Isabelle Croizeau, Christian Frasson-Botton, Alain Riva, Nardo Vicente - **Comité de rédaction :** Patricia Ricard, Nardo Vicente, Christian Frasson-Botton, Alain Riva (consultant en biologie), Claire Bertin, Isabelle Croizeau, Jean-Luc Bonnefont - **Traduction de textes :** Michael Paul - **Maquette :** Ouvreboîte, Marseille - **Impression :** Groupe Taurrus Impression, Marseille. Papier 100% recyclé, label Imprim'vert 2009 - **Dépôt légal :** septembre 2021

INSTITUT PAUL RICARD OCÉANOGRAPHIQUE
www.institut-paul-ricard.org

Et si la biodiversité était la solution... ?

PAGE 6 | **FRANÇOISE GAILL**
Directeure de recherche émérite du CNRS
Vice-présidente de la Plateforme Océan et Climat

OCÉAN - CLIMAT - BIODIVERSITÉ
Le nexus d'une planète vivante
1 / Nexus Océan - climat - biodiversité : les principales interactions, leurs effets
2 / Renforcer la science, la connaissance sur le nexus Océan - climat - biodiversité
3 / Des solutions pour relever le défi climatique et préserver la biodiversité. Quels acteurs, quelles actions ?

PAGE 28 | **GILLES BOEUF**
Ancien président du Muséum national d'histoire naturelle (Paris)
Président du conseil scientifique de l'Agence française pour la biodiversité (AFB)

BIODIVERSITÉ
Effondrement ou nouvelle harmonie ?
1 / L'Océan primitif, berceau de la vie. Évolution et explosion de la biodiversité marine
2 / Effondrement de la biodiversité marine, les facteurs et leurs effets
3 / Les moyens d'enrayer l'effondrement de la biodiversité marine

PAGE 48 | **COLOMBAN DE VARGAS**
Directeur de recherche CNRS à la Station biologique de Roscoff
Coordinateur de l'Expédition Tara Oceans et du projet OCEANOMICS
Directeur de l'Unité CNRS Tara Oceans GO-SEE

PLANCTON OCÉANIQUE
Des découvertes fondamentales qui vont éclairer le monde et l'avenir du climat
1 / Expédition Tara Oceans – Le rêve fou de quantifier et de modéliser l'évolution et l'écologie du plancton océanique
2 / Traitement des échantillons de plancton – Une base de données exceptionnelle
3 / Premiers résultats – Révélation d'une biodiversité inconnue et insoupçonnée

PAGE 70 | **NARDO VICENTE**
Professeur émérite de biologie marine, Aix-Marseille Université (IMBE)
Responsable scientifique de l'Institut océanographique Paul Ricard

BIODIVERSITÉ MÉDITERRANÉENNE
« L'écosystème va évoluer, mais on ne peut pas dire s'il sera plus pauvre pour autant »

PAGE **80** | **Carnet de bord**
PAGE **92** | **L'*Ocean Literacy*, un enjeu majeur**

Ph. DR

DOSSIER

QUEL CADRE MONDIAL POUR PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ ?

EN 2020, ALORS QU'UN VIRUS SEMAIT LA MORT SUR NOTRE PLANÈTE LA BIODIVERSITÉ ÉTAIT AU CŒUR DE L'ACTUALITÉ DANS LES GRANDES CONFÉRENCES INTERNATIONALES, À GRAND RENFORT, IL EST VRAI, DE REPORTS ET D'AJUSTEMENTS.

• **Le Congrès mondial de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)**, initialement prévu en juin 2020, puis en janvier 2021, aura finalement lieu du 3 au 11 septembre 2021, à Marseille. Aux côtés des institutions de recherche, l'Institut océanographique Paul Ricard apportera sa contribution.

• **La COP15 de la Convention sur la diversité biologique** devait se tenir à Kunming (Chine) en 2020. Elle se déroulera du 11 au 24 octobre 2021. Pour les États, l'enjeu est d'établir un cadre mondial pour la biodiversité à l'horizon 2030. La mesure phare est la préservation d'au moins 30% de la planète, dont au moins 10% sous stricte protection.

• **Le futur Traité sur la protection de la biodiversité en haute mer** devait être présenté à l'Assemblée générale des Nations unies, fin 2020. Mais selon certaines sources[*], cet accord ne devrait pas voir le jour avant deux ans minimum, après… 17 ans de négociations. L'attente est forte, avec notamment la création de nouveaux outils de préservation, en particulier des aires marines protégées.

(*) France Inter - *« Chroniques littorales »*, de José-Manuel Lamarque, 12 mai 2020.

Alors que ces événements sont inscrits dans l'agenda international, les Objectifs de développement durable (ODD) à l'horizon 2030 – adoptés par les Nations unies –, rappellent que la biodiversité, l'Océan, le climat et l'eau sont intrinsèquement liés et permettent le maintien de la vie sur Terre.

À travers le dossier de cette *Lettre d'information*, l'Institut océanographique Paul Ricard souhaite s'associer à cette dynamique avec la diffusion de connaissances sur la biodiversité marine. La démarche se place dans la ligne de ce que les instances onusiennes qualifient d'*Ocean literacy* et que nous appelons vulgarisation depuis la création de notre publication, en 1974.

Quatre scientifiques éminents apportent leurs éclairages bien documentés, parfois inédits et passionnés. Les propos reflètent la personnalité et l'engagement de chacun d'eux face à un défi majeur de notre civilisation, la préservation du vivant.

Ph. Adobe Stock/olavs

ENTRETIEN AVEC

FRANÇOISE GAILL

Directeure de recherche émérite du CNRS
Vice-présidente de la Plateforme Océan et Climat

> ***“Aujourd’hui, je pense qu’il est temps de relier la question climatique à celle de la biodiversité par rapport à ce qui représente un ensemble important : l’Océan”***

Ph. A. Wimmer

PARCOURS

1971
Maîtrise en zoologie.

1973
Intègre le laboratoire de recherches du CNRS.

1981
Doctorat d’État en biologie animale, Muséum national d’histoire naturelle/Sorbonne, Université Campus Pierre et Marie Curie, Paris.

1993
Développe une équipe spécialisée dans l’étude des environnements profonds et à l’adaptation aux milieux extrêmes.

2009
Crée l’Institut écologie et environnement du CNRS (INEE).

Depuis 2013
Est engagée aux Nations unies dans l’évaluation de l’état des océans et les objectifs du développement durable.

2014
Cofondatrice de la Plateforme Océan et Climat, coordonnatrice scientifique, puis vice-présidente.

OCÉAN - CLIMAT - BIODIVERSITÉ
LE NEXUS D’UNE PLANÈTE VIVANTE*

1 /
NEXUS OCÉAN - CLIMAT - BIODIVERSITÉ :
LES PRINCIPALES INTERACTIONS, LEURS EFFETS

2 /
RENFORCER LA SCIENCE, LA CONNAISSANCE
SUR LE NEXUS OCÉAN - CLIMAT - BIODIVERSITÉ

3 /
DES SOLUTIONS POUR RELEVER LE DÉFI CLIMATIQUE ET PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ.
QUELS ACTEURS, QUELLES ACTIONS ?

Les mots marqués d’un astérisque (*) sont définis dans un glossaire.

Nexus océanique

Le vivant au cœur de relations et d’interdépendances complexes

Ph. Adobe Stock/Serp - Adobe Stock/Jarrod - Adobe Stock/artifirsov

Glossaire

Nexus
Du latin, exprime l’idée de liens, d’interactions, de connexions entre les différentes composantes d’un ensemble complexe. C’est le cas pour l’Océan, le climat et la biodiversité.

1/ Nexus Océan - climat - biodiversité : les principales interactions, leurs effets

➔ DEPUIS LE SOMMET DE LA TERRE DE RIO, EN 1992, LES GRANDES CONFÉRENCES INTERNATIONALES SUR LE CLIMAT ET LA BIODIVERSITÉ ONT ÉVOLUÉ SÉPARÉMENT LES UNES DES AUTRES.
À LA COP21, EN 2015, À PARIS, VOUS SAVEZ PERSONNELLEMENT COMBIEN IL A FALLU D'ÉNERGIE ET D'ARGUMENTS POUR FAIRE INTÉGRER L'OCÉAN DANS LES ENJEUX CLIMATIQUES.
PENSEZ-VOUS QU'AUJOURD'HUI, L'OCÉAN, LE CLIMAT ET LA BIODIVERSITÉ SONT LES COMPOSANTES D'UN MÊME NEXUS ?

Aujourd'hui, je pense qu'il est temps de relier la question climatique à celle de la biodiversité par rapport à ce qui représente un ensemble important : l'Océan.

L'Océan fait partie du système climatique. C'est l'Océan qui régule, en fait, le changement climatique : de par son importance volumique, mais aussi de par ses relations avec l'atmosphère et avec les interfaces continentales. Et l'Océan, c'est aussi la plus grande partie de la biosphère*. Et donc, concernant le rapport entre l'Océan, le climat et la biodiversité, c'est sans doute dans l'Océan que se joue le cœur des processus qui lie ces trois instances.

Sur la Terre, on voit un certain nombre de conséquences concernant l'érosion de la biodiversité, par exemple. Mais les rapports avec le climat ne seront perceptibles, dans les années qui viendront, qu'à travers l'écosystème Océan.

➔ PEUT-ON DIRE QU'IL Y A EU UN AVANT ET UN APRÈS RÉVOLUTION INDUSTRIELLE, AVEC LA RUPTURE D'UN ÉQUILIBRE NATUREL ?

Oui, parce que, qu'est-ce qui est massif aujourd'hui et qui n'est plus remis en cause par quiconque ? C'est l'évolution des concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère, qui est directement liée à la révolution industrielle*.

Quand on regarde la teneur en gaz carbonique atmosphérique – dite courbe de Keeling –, on voit qu'elle augmente inexorablement tous les ans (1).

➔ QUELS SONT LES EFFETS DE CETTE AUGMENTATION CONTINUE DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS L'ATMOSPHÈRE ?

Il y en a plusieurs. On voit tout de suite que si l'on a une élévation de la température de l'Océan – conséquente de l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre* –, il va y avoir un changement de la physico-chimie de l'eau (2) : changement qui va modifier les nombreuses interactions du système océanique avec l'atmosphère et la biosphère.

➔ CONCRÈTEMENT, COMMENT S'OPÈRENT LES MODIFICATIONS CHIMIQUES DE L'OCÉAN ET QUE CAUSENT-ELLES ?

L'absorption du gaz carbonique atmosphérique qui se fait au niveau de la surface de l'Océan par ses contacts avec l'atmosphère et grâce au vent, en général, entraîne plus ou moins de dissolution de gaz carbonique dans l'eau de mer.

Et cette augmentation va aboutir à un processus d'acidification* de l'eau (3).

>>

(1) En savoir + : « Nous avons mis un grand bazar dans le système climatique et l'Océan » – *Le carbone dans tous ses états… Entretien avec Laurent Bopp, directeur de Recherche du CNRS au Laboratoire de météorologie dynamique (LMD), à l'Institut Pierre-Simon Laplace, Paris.* Lettre d'information de l'Institut océanographique Paul Ricard *n° 17, 2019, p. 6.*

(2) En savoir + : Océan, le maître du climat - *Entretien avec Françoise Gaill, Directeure de recherche émérite du CNRS, vice-présidente de la Plateforme Océan et Climat,* Lettre d'information de l'Institut océanographique Paul Ricard *n° 14, 2015.*

(3) L'acidification de l'eau de mer a augmenté de 30 % en 250 ans, soit depuis le début du développement industriel, avec une baisse de pH de 8,2 à 8,1. Elle affecte la calcification des organismes marins à squelette calcaire (huîtres, moules, coraux, plancton…) et a un impact sur les écosystèmes marins et les services qu'ils fournissent.
En savoir + : Acidification de l'Océan – *Fiches d'information sur les interactions entre l'Océan et le Climat, 2015, www.ocean-climate.org*

Ph. Adobe Stock/carlacastagno

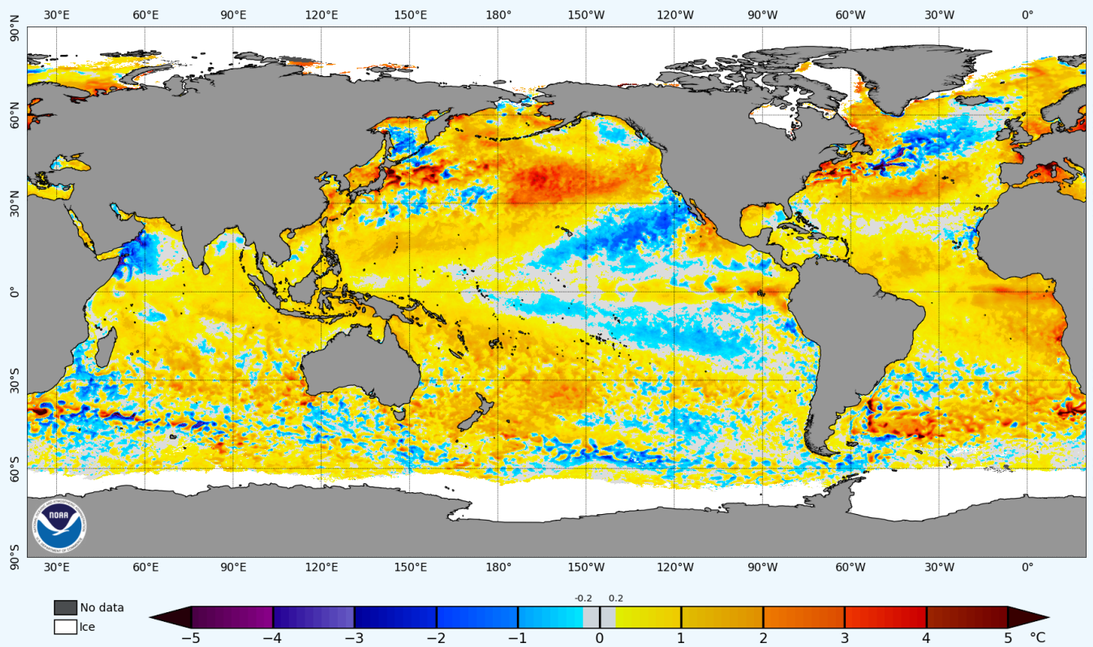
Glossaire

Biosphère
Part du vivant présente sur la planète.

Révolution industrielle
Période de forte et rapide croissance économique qui a débuté en Grande-Bretagne pendant la seconde moitié du XVIIIe siècle. Elle s'est étendue en Europe, puis dans d'autres pays comme les États-Unis d'Amérique. Une seconde révolution industrielle a eu lieu à partir de 1896. C'est le début d'une augmentation importante de l'utilisation des combustibles fossiles : charbon, pétrole…

Gaz à effet de serre
Réchauffée par le soleil, notre planète renvoie vers le ciel une partie de l'énergie sous forme de rayons infrarouges porteurs de chaleur. Les gaz à effet de serre, dont le gaz carbonique, vont empêcher une partie de ces rayons émis de rejoindre l'atmosphère. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère est à l'origine du réchauffement climatique.

Acidification
Diminution progressive du pH de l'eau de mer qui est légèrement basique (pH > 7). On parle d'acidification des océans dès lors que le pH devient moins basique.



À partir de données satellitaires, l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA) élabore des cartes sur les anomalies thermiques, mettant en évidence les températures anormales et supérieures à la moyenne observées à la surface de l'Océan (de +5 °C à -5 °C). Ici, carte au 17 juin 2021. En blanc, les zones de glace (Source : NOAA/NESDI 50 km Global Analysis: SST Anomaly/).

Polype de Pocillopora damicornis *– un corail constructeur de récifs –, vu au microscope confocal et grossi 10 fois. Il a été prélevé à Orpheus Island, sur la Grande Barrière de corail (côte Est de l'Australie).*
Cette observation est effectuée dans le cadre du projet européen Epoca (CNRS). Elle porte sur l'impact de l'acidification des océans en rapport avec la croissance de certaines espèces de cnidaires.
Sur l'image : en vert, des algues symbiotiques ; en rouge, des amas de mitochondries* au niveau des zones de calcification ou de croissance du squelette.*

Glossaire

Symbiotiques (algues)
Microalgues unicellulaires pouvant vivre en symbiose avec des animaux marins (corail, anémones, méduses, nudibranches…). Elles fournissent différents nutriments qui font défaut à leur hôte en zone tropicale (source : www.encyclopedie-environnement.org/vivant/coraux-ingenieurs-oceans-menaces/).

Mitochondries
Granules intracellulaires, dont le rôle est très actif dans tous les phénomènes de respiration et dans les réactions énergétiques de la vie de la cellule végétale ou animale.

Anoxie (ou milieu anoxique)
Désigne le manque d'oxygène d'un milieu. La réduction d'oxygène est si élevée qu'elle entraîne l'asphyxie des organismes vivants.

Des centaines de poissons morts échoués sur une plage de Zorritos, au Pérou (2018). La cause de cet évènement n'a pas été clairement identifiée. On peut cependant rapprocher ce cas du phénomène d'anoxie rencontré très fréquemment en milieu aquatique, lors d'épisodes très chauds accompagnés de fortes dépressions atmosphériques, conditions favorables à la désoxygénation de l'eau.*

>>

➔ LE RÉCHAUFFEMENT DE L'EAU A-T-IL D'AUTRES ASPECTS ?

Dans certaines zones, le réchauffement de l'eau va avoir une conséquence majeure : des concentrations d'oxygène qui diminuent, entraînant une anoxie*. Depuis les vingt dernières années, on a constaté un accroissement de ces zones d'anoxie et de leur surface.

Qu'est-ce qui se passe dans ces cas-là ? Toutes les espèces qui traversent ces espaces vont mourir, parce qu'elles ont besoin d'oxygène.

Sur les côtes californiennes, par exemple, il y a des moments où des plages sont recouvertes, soit de poissons morts, soit quelquefois de crustacés déficients, et ce sont vraiment là les conséquences d'une diminution de la teneur en oxygène de l'eau de mer.

On peut observer aussi que l'accroissement de la température de l'eau [4] va entraîner une stratification des zones marines suivant la profondeur [voir ci-contre : *Une stratification thermique qui isole*]. La circulation thermohaline découlant de la dynamique océanique va se faire beaucoup plus lentement, ce qui va avoir aussi des conséquences considérables sur le changement climatique [voir en page 12 : *De puissants courants océaniques qui régulent le climat*].

Il y a des rapports assez complexes entre la température, le gaz carbonique et l'oxygène. Et ce dont on n'a pas parlé, parce que l'on en connaît encore mal les conséquences, c'est l'intégration de la salinité dans ces phénomènes.

➔ POURQUOI LA SALINITÉ EST-ELLE IMPORTANTE ?

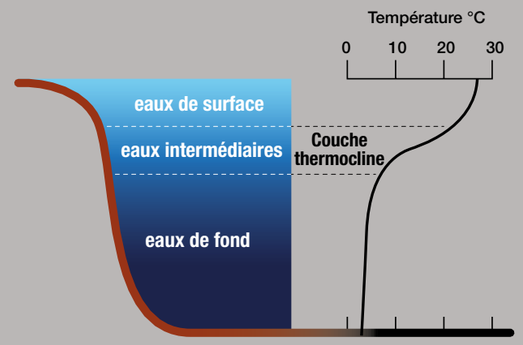
Avec l'augmentation de la température de l'eau de mer et de l'atmosphère, la fonte des glaces est inévitable et va causer une différence dans la répartition de la salinité de l'eau due à la différence de densité.

Ainsi, l'eau non salée reste en surface et ne va pas être entraînée de la même façon vers le fond. Ce phénomène empêche le recyclage de l'ensemble des éléments de la matière organique en profondeur, comme il se passait avant ce changement climatique.

>>

(4) La température moyenne de l'eau à la surface de l'Océan s'est accrue de 0,9% entre 1901 et 2012, selon le Pr. Callum Roberts du département de l'Environnement et de Géographie – Université York, Toronto (Canada).

UNE STRATIFICATION THERMIQUE QUI ISOLE



L'Océan présente naturellement une stratification liée à la température. Les eaux relativement chaudes en surface sont séparées des eaux froides profondes par une zone de variation thermique rapide appelée thermocline.

Le réchauffement des eaux de surface augmente la stratification en contribuant à intensifier la différence verticale de température. Il isole davantage les eaux de fond et donc diminue les échanges, en particulier :

- en sels nutritifs indispensables aux producteurs primaires que sont les végétaux chlorophylliens (diatomées, plantes, algues marines, macrophytes*, phytoplancton…) qui transforment la matière minérale en matière organique ;

- en oxygène, rendant inhabitables les eaux profondes pour certaines espèces.

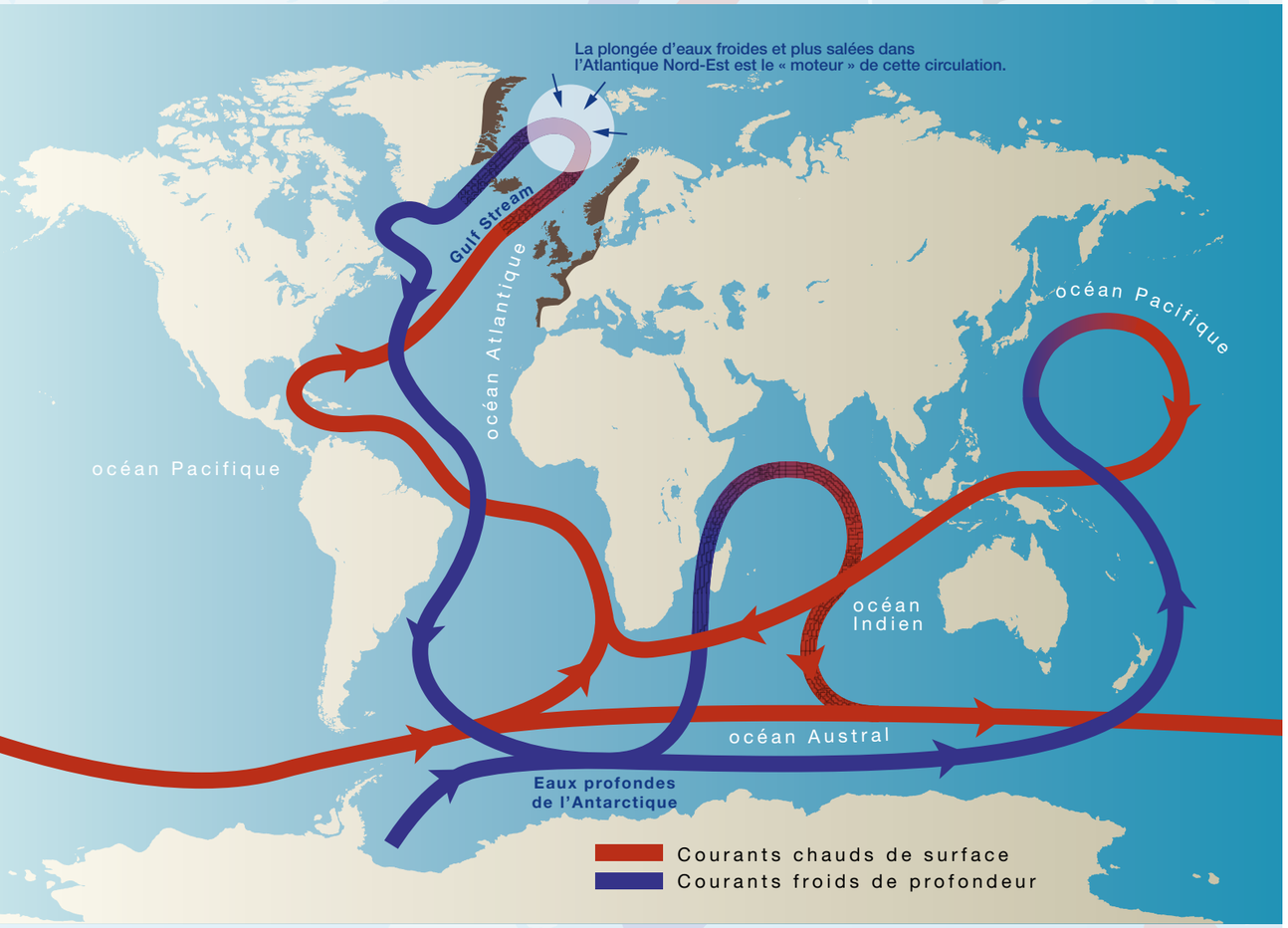
Source principale : Glossaire de l'ouvrage - L'Océan à découvert, *sous la direction de Agathe Euzen, Françoise Gaill, Denis Lacroix, Philippe Cury, CNRS Éditions, 2017.*

Macrophytes
Ensemble des plantes aquatiques de grande dimension (taille macroscopique).

DE PUISSANTS COURANTS OCÉANIQUES
QUI RÉGULENT LE CLIMAT

Les eaux chaudes de surface *(en rouge)* et les eaux froides profondes *(en bleu)* se déplacent et créent de grands courants océaniques qui sont engendrés par les différences de densité de l'eau de mer provenant des écarts de température *(thermo)* et de salinité *(halo)*. C'est ce que l'on appelle la circulation thermohaline. Les eaux froides et plus salées plongent en profondeur. Le Gulf Stream est un courant chaud qui s'écoule d'est en ouest dans l'Atlantique Nord : *en marron*, sa zone d'influence.

La circulation thermohaline a des répercussions très importantes sur l'évolution du climat, notamment dans les échanges avec l'atmosphère et les écosystèmes marins, à plusieurs échelles.



Sources : Broeker, 1991 ; Jean-Marc Jancovici, 2003.

>>

➔ LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE PEUVENT-ILS AVOIR UN EFFET CUMULATIF SUR L'OCÉAN ET LA BIODIVERSITÉ MARINE ?

C'est une hypothèse et une probabilité non nulle qu'il y ait une synergie entre les différents stress.
On n'en connaît pas encore tous les effets, mais on peut observer, par exemple, que l'accroissement de la température va provoquer – nous l'avons déjà évoqué –, une stratification des zones marines suivant la profondeur et que la circulation thermohaline découlant de la dynamique océanique va se faire beaucoup plus lentement. Ce qui va engendrer aussi des conséquences considérables sur le changement climatique.

➔ L'ÉVOLUTION RAPIDE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SES EFFETS ONT DES RÉPERCUSSIONS SUR LA BIODIVERSITÉ MARINE. COMMENT LES ESPÈCES RÉAGISSENT-ELLES ?

Il faut considérer différentes espèces : celles que l'on appelle vagiles, comme les poissons qui peuvent se mouvoir dans l'Océan, donc migrer vers des contrées plus clémentes. Par exemple, des espèces de poissons de l'hémisphère Nord vont migrer vers l'Arctique [(5)].

Du point de vue de la latitude, le déplacement est donc possible, mais c'est beaucoup plus difficile, de façon verticale, pour les espèces proches de la surface. En effet, la pression [(6)] fait que l'on ne peut pas descendre au-delà de la profondeur à laquelle on a l'habitude de vivre.

Il y a aussi tous les organismes du fond que l'on appelle benthiques. Ils n'ont pas le choix et sont obligés de rester là où ils sont. Mais chez certains, il existe un cycle de vie avec une phase adulte, où les animaux sont fixés comme le sont les moules par leur byssus ou les huîtres, et une phase larvaire [(7)] au cours de laquelle les larves voyagent dans tout l'espace océanique avant de revenir à leur point d'origine.

Concernant la phase larvaire, on a très peu de données pour comprendre les conséquences réelles du changement climatique, excepté celles recueillies en aquarium. Mais ce que l'on obtient *in vivo*, du point de vue expérimental, et ce qui se passe dans l'Océan – vraiment *in situ* –, n'est évidemment pas comparable.

>>

En raison du réchauffement des eaux de l'Atlantique, le crabe royal – ressource vivante d'un grand intérêt économique – envahit la marge continentale de la péninsule antarctique. Cette espèce pourrait prochainement causer d'importants dégâts sur la biodiversité de cette région.

(5) Selon Elvira Poloczanska, du Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), *l'équivalent australien du CNRS, le déplacement des espèces marines vers des latitudes plus élevées, au nord comme au sud, s'effectue* « à une moyenne de 72 km par décennie ». *On note plus précisément 470 km par décennie pour le phytoplancton, 277 km pour les poissons osseux… Les crustacés, les mollusques et les grandes algues sont les plus lents dans leurs déplacements* (sources : Sciencesetavenirfr, Nature et environnement, 2013/Nature Climate Change, 4 août 2013).

(6) La pression atmosphérique mesurée à la surface de la Terre est de 1 bar, soit 100 000 Pa (pascal). La pression hydrostatique varie selon la profondeur et augmente de 1 bar tous les 10 mètres d'eau.

(7) À titre d'exemple, la phase larvaire du cycle de reproduction de la moule dure de 3 semaines à 1 mois.

Éclairage

L'Océan, c'est :

71% de la surface de la planète

97% de l'eau sur Terre

50% de l'oxygène de l'air que nous respirons

L'Océan est un régulateur essentiel du climat de la Terre. Il absorbe depuis 1970 :

94% de la chaleur accumulée dans l'atmosphère par l'effet de serre

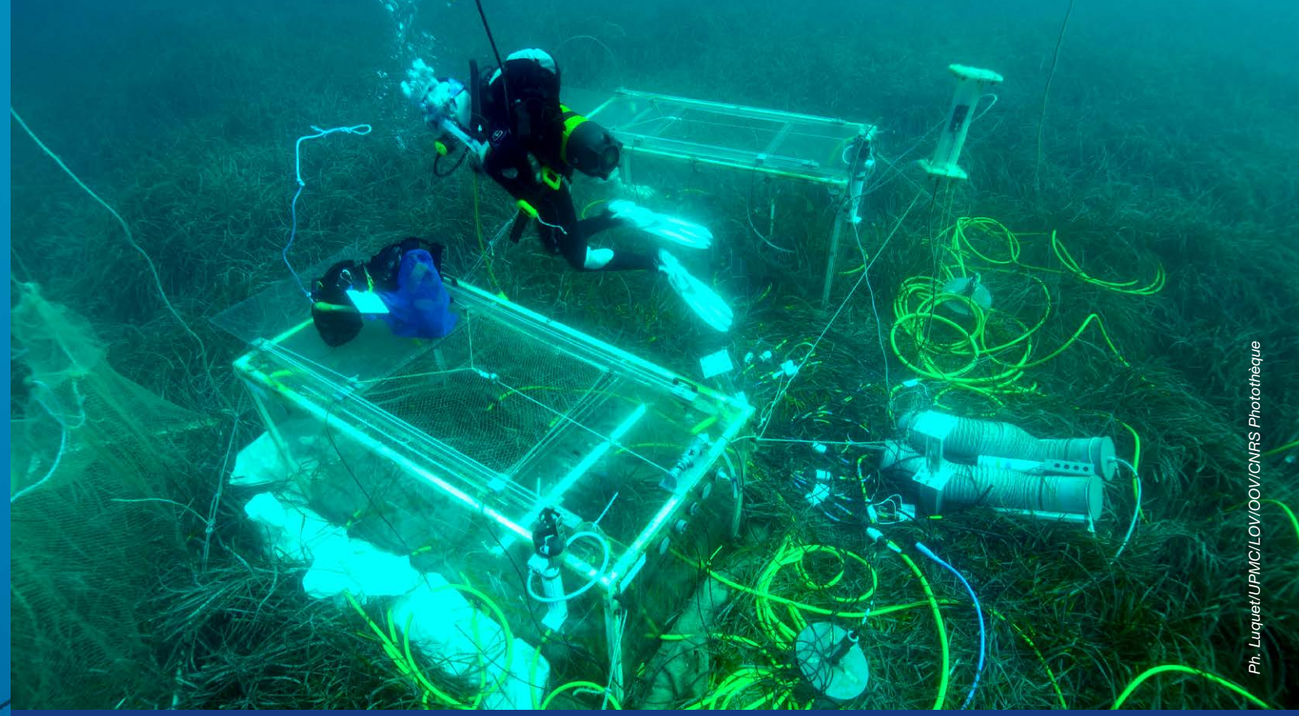
30% du gaz carbonique produit par les activités anthropiques

Source : *Océan et climat, 2019* – Fiches scientifiques. www.ocean-climate.org

Ph. D. Luquet/UPMC/LOV/CNRS photothèque

Mésocosme, sorte de grand tube à essai flottant, déployé en Méditerranée, dans la baie de Villefranche-sur-Mer pour une expérience test. Formé d'un grand sac en plastique de 50 m3, il emprisonne l'ensemble du plancton. La concentration de gaz carbonique dans ce sac peut être modifiée. Une cinquantaine de paramètres chimiques et biologiques peuvent être mesurés, et des échantillons prélevés.

Dans le cadre du projet MedSeA (Mediterranean sea acidification in a changing climate)*, l'objectif est de définir si l'acidification de l'eau de mer aura des effets sur le fonctionnement et la structure des communautés planctoniques côtières.*



Ph. Luquet/UPMC/LOV/OOV/CNRS Photothèque

Projet eFOCE (European free ocean carbon enrichment) *– Cet ensemble de chambres est implanté à une profondeur de 12 m pour étudier l'impact de l'acidification de l'eau de mer sur l'herbier de Posidonie méditerranéen.*

Ph. C. BRUNET/CNRS Photothèque

Mise à l'eau d'une rosette à bord du Marion Dufresne. Le but des campagnes de mesure OISO (Océan Indien Service d'Observation), menées dans le sud de l'océan Indien, est de mieux connaître la répartition des puits et des sources de gaz carbonique à la surface des océans.

2/ Renforcer la science, la connaissance sur le nexus Océan-climat-biodiversité

➔ DES PROGRAMMES SCIENTIFIQUES PORTENT-ILS SUR LES INTERACTIONS ENTRE LE CLIMAT ET LA BIODIVERSITÉ OCÉANIQUE ?

Du point de vue de la recherche fondamentale, il y a un certain nombre de programmes internationaux qui sont mis en œuvre actuellement. Il est vrai qu'il y a une différence entre les océanographes qui ont une vision du phénomène Océan plutôt sur un plan biophysique, alors que les biologistes ou écologues voient les interactions du vivant dans un milieu naturel.

Donc, ces deux approches scientifiques diffèrent. Mais, justement, l'intérêt de ce que nous sommes en train de réaliser au travers du nexus Océan-climat-biodiversité, c'est de mutualiser les ressources et de développer une connaissance interdisciplinaire afin de déterminer les points de catastrophe possibles, les points de non retour* – *tipping point*, en anglais –, qu'il nous faudrait éviter d'atteindre.
C'est complexe, et dès maintenant, nous devons porter nos efforts sur cet aspect.

➔ ON EXPLIQUE PARFOIS QUE LA CONNAISSANCE EST MISE EN SILO PAR LES DISCIPLINES SCIENTIFIQUES. EST-CE QUE VOUS NE PENSEZ PAS QU'AUJOURD'HUI CE NEXUS OCÉAN-CLIMAT-BIODIVERSITÉ APPELLE À UNE NOUVELLE SCIENCE TRANSVERSALE QU'ON POURRAIT APPELER LA SCIENCE DE LA DURABILITÉ ?

C'est toute la question de l'interdisciplinarité que vous posez, ce que l'on qualifie de *sustainibility science*, toujours difficile à traduire en français. Mais l'idée, qui vient d'ailleurs de la stratégie du développement durable, c'est : *« Posons-nous les questions qui nous préoccupent au niveau de notre mode de vie et de la société, et regardons comment, nous, scientifiques pourrions y répondre. »*

➔ ... ALORS, COMMENT Y RÉPONDRE ?

Cela ne peut être qu'en sortant de notre académisme, parce que – et cela se comprend –, la puissance de la recherche scientifique est d'être dans un contexte où les règles de fonctionnement et de production de la connaissance sont balisées par l'histoire, des concepts, et suivent une démarche. C'est à cette condition-là, que l'on peut avancer.

Donc, ainsi que je l'ai déjà dit, il faut essayer avec cette science de la durabilité de regarder plutôt quelle est la question posée et de voir ce que l'on peut apporter en réponse avec notre savoir qui est toujours infime par rapport à l'immensité du champ des possibles.

Cette nouvelle approche fait que nous ne pouvons qu'avancer ensemble, avec d'autres disciplines, et autour d'un projet. Quand on est océanographe, on le sait parce que l'on n'a jamais pu organiser une grande campagne sans avoir toute une équipe avec soi, des laboratoires différents et de plusieurs pays.

La science de la durabilité va beaucoup plus loin [(8)] par rapport à des grands problèmes que nous, humains, devons absolument solutionner comme le changement climatique, la perte de biodiversité, la pollution et la dégradation des terres et des milieux aquatiques.

Les Suédois, avec l'Institut de la résilience [(9)], ont été parmi les premiers à progresser sur cette question. Ils sont très en avance, les Américains aussi. En Europe, nous devons maintenant faire un saut. Nous sommes prêts, et je pense que nous pourrons y arriver. Cette science de la durabilité, c'est demain.

(8) Selon l'Institut de recherche pour le développement (IRD), « Il ne s'agit pas seulement d'apporter des réponses techniques ou scientifiques pour faire face aux crises environnementales. La science de la durabilité intègre également la dimension éthique, prend en compte notre responsabilité vis-à-vis des générations futures. »

(9) Le Stockholm Resilience Centre *est un institut international de recherche sur la résilience et la science de la durabilité. Sa mission est de promouvoir la recherche sur la gouvernance et la gestion des systèmes socio-écologiques afin de garantir les services écosystémiques pour le bien-être humain et la résilience pour la durabilité à long terme (source : www.stockholmresilience.org)*

➔ JUSTEMENT, VOUS ÊTES, AVEC LA PLATEFORME OCÉAN ET CLIMAT, UN DES ACTEURS DE LA DÉCENNIE DES NATIONS UNIES POUR LES SCIENCES OCÉANIQUES AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE. QU'ATTENDEZ-VOUS PLUS PARTICULIÈREMENT DE CETTE DÉCENNIE ?

D'abord, je veux simplement dire que le fait même que cette Décennie ait été énoncée a déjà entraîné une dynamique absolument extraordinaire.
La communauté scientifique s'est enfin reconnue comme porteuse de valeurs qui dépassaient la recherche académique. Déjà, cette conscience est extraordinaire. La deuxième chose, c'est que la France, grâce à cette Décennie, a attiré l'attention du monde politique sur l'Océan, et que le président de la République française a pu aussi annoncer l'existence d'un programme prioritaire de recherche sur l'Océan.

Il y a 10 ans, jamais cette chose n'aurait été imaginable. Les idées avancent. C'est la première fois, à ma connaissance, que la France a réuni l'ensemble des acteurs de la société, engagés dans la mise en œuvre des Objectifs de développement durable : la communauté scientifique – autour de la recherche académique, plus appliquée, environnementale –, et le monde politique. L'objectif était de proposer une feuille de route Océan pour la Décennie [voir en page 18 : *Quel développement durable à l'horizon 2030 ?*].
Nous avons déjà beaucoup avancé en seulement six mois de temps, certainement parce que nous avons bénéficié de dix ans de travail en amont.

Le lancement de cette Décennie a été un point de cristallisation et un acte symbolique. Toute la communauté est en effervescence en ce moment pour faire des feuilles de route, s'organiser, s'entendre, travailler avec d'autres. Je pense que c'est extrêmement important.
Maintenant, nous avons aussi au niveau européen une autre instance qui est en train d'imaginer comment la société pourrait intégrer l'Océan dans une vision du futur.

C'est la mission Lamy qui est centrée sur l'Océan, les mers, les eaux côtières et continentales, c'est-à-dire que, là, c'est le grand cycle de l'eau – où l'Océan est majeur –, qui doit être abordé du point de vue de la recherche : non pas pour avoir de nouveaux résultats en tant que tels, mais pour faire que la recherche sur l'Océan soit portée au plus haut niveau et alimente l'imaginaire d'une société européenne des individus, des citoyens…

>>

Point de non retour *(ou de* ***basculement****) du système climatique.*

Selon des climatologues, le réchauffement pourrait dépasser un seuil à partir duquel se produiraient des effets irréversibles, des répercussions en cascade, qui s'amplifieraient sans limitation possible.

Ph. Adobe Stock/Jaro

Éclairage

QUEL DÉVELOPPEMENT DURABLE À L'HORIZON 2030 ?

NOUVELLE FEUILLE DE ROUTE POUR LA FRANCE

Ph. G. Bounaud

Conférence scientifique de haut niveau, au siège de l'UNESCO, à Paris, en préparation de la Décennie des Nations unies pour les sciences océaniques au service du développement durable. De dr. à g., *Françoise Gaill, directeure de recherche émérite du CNRS, et Patricia Ricard, présidente de l'Institut océanographique Paul Ricard sont intervenues au titre de modératrices de sessions.*

UN Photo/Cia Pak

Avant le Sommet des Nations unies pour le développement durable (2015), présentation de l'Agenda 2030 et ses 17 Objectifs de développement durable (ODD), au siège des Nations unies, à New York.

UN Photo/Rickey Felipe

*Forum politique de haut niveau sur le développement durable, le 25 septembre 2019, à l'ONU – Tijjani Muhammad-Bande (*au centre, sur l'estrade*), président de la 74e session de l'Assemblée générale des Nations unies, met l'accent sur l'accélération de la mise en œuvre du Programme de développement durable à l'horizon 2030.*

En septembre 2015, les 193 États membres de l'Organisation des Nations unies (ONU) se sont engagés à contribuer à la réalisation de l'Agenda 2030 et de ses 17 Objectifs de développement durable (ODD) – en anglais : Sustainable Development Goals, ou SDGs.

Cet Agenda a été adopté après plusieurs années de négociations incluant les gouvernements comme la société civile. Il aborde les défis mondiaux actuels, liés notamment à la pauvreté, aux inégalités, au changement climatique, à la dégradation de l'environnement, à la paix et à la justice.

Les Objectifs de développement durable prennent la suite des **Objectifs du millénaire pour le développement (OMD)** qui couvraient les grands enjeux humanitaires – réduction de la pauvreté, de la faim, des maladies, accès à l'éducation –, et qui étaient destinés aux pays en développement pour la période 2000-2015.

Alors qu'il ne reste que 10 ans avant l'échéance de 2030, on constate que des avancées ont été accomplies dans certains domaines, mais elles demeurent insuffisantes.

En septembre 2019, le secrétaire général de l'ONU a invité tous les secteurs de la société à se mobiliser en faveur d'une **Décennie d'action** audacieuse afin d'atteindre les objectifs dans les délais impartis.

À la suite de cet appel, la France a publié une **nouvelle feuille de route** pour la mise en œuvre des 17 objectifs de développement durable (ODD) de l'Agenda 2030. Le plan d'action retient six orientations prioritaires : en particulier, une transition juste, une société bas carbone et l'économie des ressources naturelles, pour agir en faveur du climat et de la planète, ainsi que de sa biodiversité.

Cette feuille de route propose d'accélérer les trajectoires de progrès pour faire évoluer notre société vers un modèle à la fois plus prospère, plus inclusif et plus respectueux de notre environnement, afin que la France soit au rendez-vous des Objectifs de développement durable en 2030.

RECONNAISSANCE DU RÔLE DE L'OCÉAN

Autre événement important dans l'agenda international et en lien avec les précédents, le lancement le 3 février 2021 de la **Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable** (2021-2030).

Cette décision confirme l'intérêt croissant de la communauté internationale pour l'Océan et la reconnaissance de son rôle majeur dans la régulation du climat. Elle appelle au soutien des sciences océaniques pour mettre en œuvre l'**Accord de Paris** et atteindre les Objectifs de Développement durable fixés par l'Agenda 2030.

La Plateforme Océan et Climat et la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO (COI-UNESCO) ont organisé les 10 et 11 septembre 2018 une Conférence scientifique de haut niveau*. C'était un premier événement de la phase préparatoire de la Décennie des Nations unies pour les sciences océaniques au service du développement durable.

Source : *unenvironnement.org*
En savoir + : *un.org., Le monde.fr (15 novembre 2019).*

(*) En partenariat avec l'Agence française pour la biodiversité, l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi), le Gouvernement canadien, le Centre national de la recherche scientifique, le Fonds français pour l'Environnement mondial, l'IFREMER, l'IRD, l'Institut océanographique Paul Ricard, l'Alliance d'initiatives Océan et climat, et l'Université de Bretagne Occidentale.

Ph. Adobe Stock/peangdao

>>

➔ ALORS QUE LA DÉCENNIE DES NATIONS UNIES POUR LES SCIENCES OCÉANIQUES AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE EST LANCÉE, COMMENT SE SITUE LE NIVEAU DE CONNAISSANCE DE L'OCÉAN ? SELON CERTAINS SPÉCIALISTES, ON CONNAÎT MIEUX LA PLANÈTE MARS…

On connaît 5% de la topographie des fonds marins, donc pratiquement rien. Il est vrai que pour aller dans l'Océan, il faut avoir les moyens de le faire et engager des investissements particuliers. La réalisation de tout projet n'est pas si facile.
Mais je pense que pour la durabilité et la stratégie des Objectifs de développement durable 2030, l'Océan va pouvoir amener énormément par l'entrée scientifique, c'est-à-dire que la connaissance de cet environnement, qui représente la plus grande partie de la biosphère*, va permettre d'avancer, et sur les scénarios du changement climatique et sur la manière de travailler [voir en page 18 : *Quel développement durable à l'horizon 2030 ?*].

Il s'agit de faire en sorte que l'on assiste à une diminution de l'érosion de la biodiversité, voire à une manière d'avoir le vivant comme un outil de promotion de la qualité de la vie sur Terre.

> *“Voir le vivant comme un outil de promotion de la qualité de la vie sur Terre”*

➔ QUELS SONT LES ÉCOSYSTÈMES OCÉANIQUES QUI SOUFFRENT LE PLUS D'UN MANQUE DE DONNÉES ?

Le profond, bien sûr !
Nous avons une très bonne connaissance des 700 premiers mètres sous la surface. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) les a d'ailleurs vraiment bien balisés.

Avec le développement des nouvelles bouées *Argo* et des systèmes divers d'observation, on commence à avoir quelques données jusqu'à 2000 mètres. Mais après, il y a un manque de connaissances – *knowledge gap*, en anglais.
À 3 000 mètres, on ne connaît rien du tout ! Rien ! Je dirais presque qu'à 4 000 mètres on en sait un peu plus à cause du fait qu'il faut connaître la topographie des fonds océaniques pour poser des câbles sous-marins.

> ***Sub-surface***
> *Zone se trouvant immédiatement sous la surface d'un sol.*

➔ VOUS FAITES SOUVENT ALLUSION À LA NÉCESSITÉ DE RELANCER DES EXPLORATIONS PROFONDES. QUEL EN SERAIT L'INTÉRÊT ?

J'ai déjà dit la manière dont, par exemple, une goutte d'eau revient au même endroit après avoir fait le tour du globe. Mais on n'a tracé que 10% de son parcours, le reste du voyage est obscur. C'est pareil pour la topographie des fonds marins, dont on ne connaît presque rien. Il faut imaginer que seulement trois individus sont descendus dans la fosse des Mariannes [10] depuis trois-quarts de siècle. Et pourtant nous avons tous les moyens technologiques pour y aller.
Mais je pense qu'il y a autre chose : dans la plupart des processus, nous ne voyons que l'écume des jours, quelque chose qui remonte de la dynamique du profond lui-même. Et puis il y a une autre idée, plus poétique, que j'aime. C'est que connaissant bien le profond [11], pour moi, nous sommes attachés jusqu'à présent à la surface de l'Océan, d'abord parce que c'est là où le « business » est le plus important, mais aussi parce que c'est la seule chose que nous voyons. Nous ne savons pas faire autre chose que d'évoluer sur cette surface en relation avec l'atmosphère.

En revanche, pour le fond, l'atmosphère n'est pas le noyau dur. Travaillant sur les sources hydrothermales, je dirais que c'est le centre de la Terre. Et, à mon avis, il est presque aussi important que le soleil : c'est-à-dire que sa puissance énergétique fait qu'il y a un certain nombre d'évènements qui entraînent des dynamiques de courants, mais aussi de chaleur et de phénomènes océanographiques, dont nous n'avons pas idée jusqu'à présent.
Dans l'avenir, ces évènements auront des impacts sur notre compréhension du changement climatique. Ceci est vrai pour les phénomènes que je qualifierais de macros, mais il y a aussi tout ce qui se passe en sub-surface* : il y aurait une croûte océanique en dessous de laquelle tout un monde de micro-organismes serait en réserve et aurait des propriétés remarquables et intéressantes pour le vivant dans le futur.

>>

(10) Située dans l'océan Pacifique Nord-Ouest, à l'est des îles Mariannes, près de l'île de Guam, c'est la fosse océanique reconnue comme l'endroit le plus profond sur Terre : 10 994 m de profondeur pour son point le plus bas et une pression de plus de 1 100 atmosphères (une à la surface de la Terre).

(11) Françoise Gaill a organisé une trentaine de campagnes océanographiques françaises et internationales. L'océanaute a plongé dans de nombreux océans du globe, à bord de sous-marins d'exploration. Par exemple, en 1996, elle a pris part à la campagne Hot 96, *à bord du* Nautile, *plongeant à 2600 m de profondeur sur la dorsale Pacifique Nord-Est. Ses recherches et publications portent plus particulièrement sur les environnements profonds et l'adaptation aux milieux extrêmes.*

Le transport maritime achemine plus de 90% des marchandises dans le monde et plusieurs millions de croisiéristes chaque année. Selon France Nature Environnement, *chacun de ces « géants des mers » génère autant de pollution aux particules ultra-fines qu'un million de voitures. L'*Organisation maritime internationale (OMI) *a adopté un plan de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'au moins 50% d'ici à 2050.*

Les activités humaines sont la cause de l'introduction de nombreuses substances polluantes dans l'Océan : pollution par les plastiques, rejets urbains…

>>

➔ QUEL EST, AUJOURD'HUI, L'ÉTAT DE SANTÉ DES OCÉANS ? VOUS AVEZ DÉCLARÉ QUE LE CONSTAT DRESSÉ PAR LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE DANS LE DERNIER RAPPORT DU GIEC SUR L'OCÉAN ET LA CRYOSPHÈRE EST « BRUTAL » ? EN QUEL SENS ?

L'Océan va très mal sur les bords :
- à la surface sur laquelle on se déplace, puisque le trafic maritime est quand même la première économie du point de vue des transports ;
- sur les littoraux, où tout ce qui vient de la terre va vers la mer, et où tout ce qui est pollution se déverse *in fine* dans la mer.
À cet égard, aujourd'hui le plastique est omniprésent, et on en parle énormément. Il est parmi nous comme un élément naturel, alors qu'il y a plein de substances chimiques que l'on ne voit même pas et dont on ne sait pas encore comment les identifier en mer. Elles sont, dans l'avenir, des choses extrêmement préoccupantes.

> *“ Cela veut dire, en effet, qu'il y a des zones où il n'y a plus de futur ”*

➔ PENSEZ-VOUS QUE L'ON A DÉJÀ ATTEINT, COMME CERTAINS LE DISENT, LES LIMITES DE L'IRRÉPARABLE, VOIRE DE L'IRRÉVERSIBLE CONCERNANT LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA CHUTE DE LA BIODIVERSITÉ MARINE ?

Je dirais qu'il y a des lieux où c'est le cas. Par exemple, regardez ce qu'il s'est passé pour la pêche à Terre-Neuve dans les années 1980 : le stock de poissons n'est jamais réapparu ; il a disparu, un point c'est tout [12]. Donc, cela veut dire, en effet, qu'il y a des zones où il n'y a plus de futur.
Mais ce n'est pas vrai pour d'autres régions. Par exemple, il y a actuellement un grand débat sur les coraux.

Concernant la Grande Barrière de corail australienne, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat insiste avec raison sur la dangerosité du changement climatique en disant que s'il devait se prolonger, on atteindrait un point critique de non retour* qui annihilerait la régénération des coraux.

D'autres écoles font état d'observations d'îlots de récifs coralliens moins altérés et disséminés dans un secteur proche de la Grande Barrière qui seraient sources de régénération pour les coraux endommagés [13].
Au-delà des discussions, la Grande barrière de corail est pour moi quelque chose qu'il faut regarder et essayer de protéger au maximum. Et, par rapport à cette protection, nous avons un vrai problème.

D'ailleurs, l'UNESCO observe actuellement avec attention l'évolution de ce grand récif, car il est vrai que des zones identifiées comme patrimoine commun de l'humanité ne sont plus forcément reconnues comme telles.

➔ IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ MARINE… LE CAS DE LA GRANDE BARRIÈRE DE CORAIL SE POSE EN TERME DE GESTION DES COMPOSANTES DE « NOTRE » NEXUS. PLUS GLOBALEMENT, N'EST-IL PAS SOUHAITABLE D'ENVISAGER UN RAPPROCHEMENT ENTRE LE GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT ET LA PLATEFORME INTERGOUVERNEMENTALE SCIENTIFIQUE ET POLITIQUE SUR LA BIODIVERSITÉ ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES (IPBES) ?

L'intéressant, c'est d'abord qu'il n'y ait pas une biodiversité, mais de nombreux types différents de biodiversité. Et s'il y a un verrou à faire sauter, c'est le fait que la biodiversité n'est pas seulement la description et le classement des espèces, la taxonomie. C'est aussi la diversité des habitats, des traits fonctionnels* des espèces, les unes par rapport aux autres. C'est enfin la manière dont l'environnement peut aussi jouer un rôle dans le développement du vivant.

Glossaire

Trait fonctionnel
Toute caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique d'un organisme mesurable à l'échelle des individus et qui affecte sa performance individuelle. À l'échelle des écosystèmes, les traits fonctionnels sont responsables de la manière dont les organismes répondent aux facteurs environnementaux (source : https://fr.wikipedia.org).*

Phénologie
Étude de l'apparition d'événements périodiques dans le monde vivant – annuels le plus souvent –, déterminée par les variations saisonnières du climat.

Habitat
Milieu géographique propre à la vie d'une espèce animale ou végétale.

Donc, il y a un grand champ qui est en train d'être discuté et qui exprime aussi le rapprochement avec le climat. S'il existe des biodiversités alors qu'il n'y a qu'un climat, comment fait-on pour arriver à travailler ensemble ? Je pense qu'il y a de multiples entrées possibles, mais la notion d'habitat* est essentielle.
L'habitat fait qu'un milieu physique comme l'Océan peut être modifié non seulement par le changement climatique, les activités humaines…, mais aussi par le vivant qui y habite et qui va changer les conditions physiques et chimiques du milieu. Cet aspect a été sous-estimé jusqu'à présent.

>>

(12) À partir des années 1970/1980, un effondrement brutal des stocks de morue est survenu au large de Terre-Neuve. Ce cas de surpêche reste emblématique de l'échec des politiques de gestion des ressources vivantes.

(13) Selon une étude, publiée dans la revue PLOS Biology *– basée à San Francisco (USA), et à Cambridge (Royaume-Uni) –, une centaine de récifs coralliens paraissent moins exposés aux effets destructeurs du blanchissement. Et ces récifs sont reliés à une grande partie de la Grande Barrière grâce aux courants océaniques. De ce fait,* « ces coraux ont le potentiel de procurer des larves indispensables pour restaurer les autres récifs endommagés », *relèvent les chercheurs de l'Université de Queensland en Australie (source :* Coral Reef Ecosystems under Climate Change and Ocean Acidification. *Ove Hoegh-Guldberg* and al. *- Front. Mar. Sci., 29 May, 2017).*

La Grande Barrière (Australie) est le plus grand système corallien au monde. De larges zones sont affectées par un blanchissement sévère et une mortalité massive des coraux (photo ci-dessus) dus aux vagues de chaleur récentes.

3/ Des solutions pour relever le défi climatique et préserver la biodiversité. Quels acteurs, quelles actions ?

➔ EN TERMES DE SOLUTIONS, PEUT-ON DIRE QUE LE MAINTIEN D'UN OCÉAN EN BONNE SANTÉ EST PRIMORDIAL POUR LIMITER LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA BIODIVERSITÉ MARINE ?

C'est essentiel, et vraiment la première priorité que nous devrions avoir pour l'avenir, du point de vue de la durabilité. Il faut mille ans – rappelons-le –, pour que « notre » goutte d'eau fasse le tour de la planète et revienne au même endroit dans l'Océan. C'est un temps très long.
Pour l'évolution du climat qui est aussi quelque chose de lent, nous avons besoin de l'Océan pour essayer d'orienter, sur le long terme, l'amélioration que nous pourrions apporter à la planète.

> *“Travailler pour pouvoir être en situation d'avoir un Océan sain et en bonne santé…”*

➔ EN RÉFÉRENCE À LA SCIENCE DE L'EFFONDREMENT DU VIVANT, LA COLLAPSOLOGIE, PEUT-ON ENCORE RELEVER LE DÉFI CLIMATIQUE ET PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ ?

Oui, bien sûr. Ce n'est pas parce qu'il y a des points critiques quelque part, des moments de catastrophe, que la situation est irréversible.
Je pense que nous ne sommes pas à la fin de la vie de la Terre, aujourd'hui, et que l'Océan a une capacité de résilience que nous ne soupçonnons même pas.
Par contre, il faut travailler pour pouvoir être en situation d'avoir un Océan sain et en bonne santé, puisque c'est un climat protégé [14].
Nous devons réfléchir pour trouver des solutions et des stratégies. Il n'existe pas de solutions clés en main, sinon celle de réduire l'ensemble de nos émissions de gaz carbonique. C'est le b.a.-ba de toute action initiale.

➔ LA PLATEFORME OCÉAN ET CLIMAT A PRÉSENTÉ LORS DE LA COP25 UN PLAIDOYER 2019-2021 POUR UN « OCÉAN EN BONNE SANTÉ, UN CLIMAT PROTÉGÉ ». CE DOCUMENT PROPOSE-T-IL DES SOLUTIONS POUR PRÉSERVER L'OCÉAN ET SA BIODIVERSITÉ DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

Ce plaidoyer propose des pistes. Par exemple, nous tenons absolument à ce que la notion d'aires marines protégées (AMP) soit défendue et qu'elle apparaisse comme un outil important de régulation des changements climatiques.
Mais les AMP sont aussi des lieux qui nous permettraient d'avoir des réserves de biodiversité si elles sont très bien gérées. Pour l'avenir, ces espaces protégés pourraient être ce que j'appelle des zones d'essaimage* possibles, puisqu'un des grands problèmes qui se pose, c'est la connectivité entre les différentes zones marines.

➔ C'EST-À-DIRE…

Si un espace protégé présente une réserve de vivant en bonne santé, il peut avoir des incidences positives sur un espace protégé qui est situé un peu plus loin, par un processus de colonisation* par certaines espèces. Ainsi, cet essaimage pourra participer à l'émergence d'un écosystème sain et résilient.

(14) En savoir + : Plateforme Océan et Climat, Plaidoyer : Un Océan en bonne santé, un climat protégé, *décembre 2019.*

➔ PENSEZ-VOUS QUE LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET L'ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ MARINE CONSTITUENT, AUJOURD'HUI, UN ENJEU GLOBAL QUI TROUVE ENFIN SA PLACE POUR L'AVENIR DE NOS SOCIÉTÉS ?

Tout à fait, et c'est vraiment le nexus Océan-climat-biodiversité que nous devons considérer. On a beaucoup travaillé sur le climat, nous devons maintenant nous intéresser à la relation climat-biodiversité.
Je dirais que cela va dans le sens de l'histoire, puisqu'au départ le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été créé parce que les sciences du climat étaient très en avance par rapport aux autres disciplines. Et c'est presque vingt ans après que la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) a été constituée.
On voit bien vers quel mouvement nous nous dirigeons, et simplement faire le lien entre ces instances-là nous paraît tout à fait nécessaire.

> *“C'est vraiment le nexus Océan-climat-biodiversité que nous devons considérer”*

➔ FAUT-IL UNE RÉPONSE PLANÉTAIRE ? EST-ON SUR LA VOIE D'UN SYSTÈME GLOBAL DE GESTION ?

Oui, il faut une réponse planétaire du point de vue de la prise de position. Mais toute la difficulté, l'enjeu que nous avons en face de nous, c'est de réussir à articuler le global et le local.
Il y a une diversité de solutions locales, des familles de solutions, et pas qu'une seule. Mais les principes, au niveau global, c'est ce sur quoi nous devons nous entendre. Et s'il y a accord, alors après, la diversité va de soi par rapport au local.

➔ QUELS SONT LES DIFFÉRENTS ACTEURS ?

Je pense que c'est un ensemble de décideurs, scientifiques, ONGs qui doit travailler conjointement.
Le politique doit intervenir au sens de l'État sur les principes généraux des Nations unies, puisque la gouvernance doit être planétaire. Par contre, pour la mise en œuvre, chacun a son mot à dire.

Glossaire

Essaimage
Exportation de larves, de juvéniles ou d'individus adultes à partir de zones protégées.

Colonisation
En biologie, processus suivant lequel une espèce se propage dans de nouveaux habitats.

Par exemple, c'est dans les négociations que l'on pourra arriver à un accord intergouvernemental pour le traité dit « BBNJ » (*Biodiversity Beyond National Juridiction*) sur la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité marine au-delà des juridictions nationales [15].
Cela signifie qu'il doit y avoir un cadre dessiné par les États avec de vraies négociations parce que les scientifiques ont leur mot à dire, mais également les ONGs, les entreprises, le milieu des affaires, et chacun doit jouer son rôle.
Par exemple, les scientifiques s'assoient sur ce que l'on appelle un socle de connaissances et de compréhension des phénomènes, et ils proposent un éventail de solutions. Mais ces solutions, ce ne sont pas eux qui vont les appliquer, mais ceux qui sont en mesure d'agir, comme les ONGs, parce qu'elles sont issues de la société civile, ainsi que les entreprises qui ont des avantages et des inconvénients à jouer sur cette connaissance.
Mais je pense que pour toute action en mer, il devrait y avoir comme principe une expertise avec les scientifiques pour en évaluer les risques d'incidences environnementales.
Je pense aussi que cette étude d'impact devrait être discutée par l'ensemble de la société civile avec les responsables d'entreprises et de l'État pour en informer et en débattre. Ensuite, aux États de prendre leurs responsabilités.

> *“Il faut une réponse planétaire”*

>>

(15) Pour ce futur accord international, un calendrier de négociations a été fixé depuis 2018, avec 4 thématiques : ressources génétiques marines, outils de protection de la biodiversité marine, en particulier les aires marines protégées (AMP), évaluations d'impact environnemental des nouvelles activités humaines en haute mer, renforcement des capacités et transfert des technologies marines au profit des États en développement.
(source : diplomatie.gouv.fr).
En savoir + : Quelle gouvernance pour l'Océan ? - *Entretien avec Serge Segura, ambassadeur de France chargé des océans,* Lettre d'information de l'Institut océanographique Paul Ricard *n° 16, 2018, p. 14.*

Ph. Adobe Stock/wowinside

11 mars 2020 – Réunion de l'Assemblée générale des Nations unies sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique marine des zones situées au-delà de la juridiction nationale.

Première Conférence sur les océans, au siège des Nations unies, 5 au 9 juin 2017, pour soutenir la mise en œuvre de l'Objectif 14 du Programme de développement durable à l'horizon 2030 : « Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable ». *Photo : lors du point-presse d'avant-conférence, S.A.S. Le Prince Albert II de Monaco (au centre) ; à sa droite, Françoise Gaill.*

« Fridays for future » – *Le vendredi 20 septembre 2019, des centaines de milliers de jeunes se sont mobilisés pour le climat dans le monde : parmi les slogans,* « Il n'y a pas de planète B ». *La jeune militante suédoise Greta Thunberg est à l'origine de ce mouvement.*

>>

➔ ON PARLE SOUVENT D'« OCÉAN, BIEN COMMUN DE L'HUMANITÉ ». EST-CE QUE, FINALEMENT, CETTE NÉCESSITÉ DE TRAVAILLER SUR LE NEXUS OCÉAN-CLIMAT-BIODIVERSITÉ POURRAIT NOUS PERMETTRE AUSSI DE REVOIR NOTRE DIPLOMATIE, NOS RAPPORTS INTERNATIONAUX ?

C'est une question très complexe, et je pense qu'il est très important d'utiliser ce concept : « Océan, bien commun de l'humanité », comme horizon, parce qu'il met en place des valeurs. Et c'est d'abord une position humaine, d'importance, qui entraîne l'introduction d'une catégorie qui n'est pas dans la science : la responsabilité.
Par exemple, le travail qui a été fait pour l'eau par les Nations unies sur cette notion de « bien commun de l'humanité » a été mis de côté pour des raisons politiques. Le faire réémerger, c'est dans l'air du temps.
Pour l'Océan, en pleine négociation du traité dit « BBNJ » [15], il est absolument opportun de faire travailler les États autour de cette catégorie, qui n'est pas juridique.
Nous avons une grande responsabilité qui est celle de rappeler que le juridique, certes doit exister, mais il n'est là que pour donner les moyens d'expression de catégories comme celle de la responsabilité que l'« Océan bien commun » induit. Le fait de se rappeler nos propres valeurs morales me paraît aujourd'hui des plus important.

➔ AVEC CETTE DYNAMIQUE MONDIALE, PEUT-ON ÉVEILLER UNE SORTE DE CONSCIENCE UNIVERSELLE ?

Oui, on l'a vu pour le climat.
Au moment de la COP 21 [16] il y a eu vraiment pour la première fois une prise de conscience planétaire d'un évènement d'un type nouveau qui n'était pas une guerre, mais un danger mondial, le changement climatique.
Et puis, regardez ce qui se passe aujourd'hui : les nouvelles générations, les jeunes sont là pour rappeler aux plus anciens qu'eux ils ont un avenir, et qu'il faut en tenir compte.

➔ DONC, CETTE PRISE DE CONSCIENCE DES JEUNES GÉNÉRATIONS EST CAPITALE…

Essentielle, et je suis assez positive sur leur action et sur leur création possible de solutions à venir.

(16) La 21e Conférence des parties (COP) à la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) de 1992, a réuni 195 États et l'Union européenne. L'Accord de Paris qui a été signé marque une étape dans la lutte contre le réchauffement climatique puisqu'il engage tous les pays du monde à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et à maintenir le réchauffement sous la barre des 2°C d'ici à 2100.

➔ PARMI LES SOLUTIONS, DISONS PLUS CONCRÈTES, LA BIODIVERSITÉ MARINE PEUT-ELLE CONTRIBUER À ATTÉNUER LES CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ? À CE PROPOS, ON MET SOUVENT EN AVANT DES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE, ET EN PARTICULIER LE CARBONE BLEU, LE *BLUE CARBON*. QUELLE EST, SELON VOUS, SON EFFICACITÉ ?

En réponse, je reprendrais une discussion que j'ai eue au sein de la Commission océanographique intergouvernementale (COI) autour du carbone bleu. Ce qu'énonce cette instance des Nations unies est très intéressant : la notion de carbone bleu* est politique et non pas scientifique ! C'est tout le fossé qu'il y a entre comment évaluer ce carbone bleu et la distance entre la connaissance et la politique.
Pour moi, biologiste, le carbone dépend des atomes autour desquels il se trouve, et le gaz carbonique n'est pas forcément du même ordre suivant qu'il est gazeux, solide ou liquide, alors que dans la notion de carbone bleu, on fait comme si tout était pareil sous le vocable gaz carbonique.
Et si on met ce gaz carbonique dans la mer, il y a ce qui part vers le fond pour des raisons physiques de courant et il y a ce qui est utilisé par le vivant. Il absorbe ce gaz, le transforme. Le gaz carbonique est presque une nourriture dont il a besoin. Le plancton, par exemple, ne pourrait pas se développer sans ce gaz.

Cette histoire de carbone bleu est peut-être complexe à aborder. Et avant de la réduire à la tonne de carbone émise ou assimilée, il y a tout un pan de compréhension qui reste à aborder et qui ne l'est pas pour l'instant.
Tout le monde pense que l'on mesure la tonne de carbone sur une balance. Mais de quel carbone parle-t-on ? Celui qui est émis par les cheminées ? Celui qui vient d'autres émissions et lesquelles ? Quand au fait de rajouter « bleu » à carbone, cela le bleuit, évidement, mais la signification scientifique reste encore incertaine.

➔ EXISTE-IL UNE ÉCONOMIE, UN MARCHÉ DU CARBONE ?

S'il y a un marché du carbone, j'y suis favorable parce que, pour l'instant, il n'existe pas. En tout cas, il est si bas qu'il n'a pas forcément d'importance économique réelle.
S'il existait vraiment, le marché du carbone induirait un paradoxe. Certains États – de par leur géographie et leur importance en tant que grands pays océaniques –, pourraient revendiquer d'utiliser la capacité de leurs surfaces marines à stocker le gaz carbonique pour les comptabiliser et défalquer le carbone bleu ainsi capté de leur bilan carbone national. Ce qui éviterait à ces États d'avoir une activité réduite au niveau des émissions classiques de gaz à effet de serre.

> ***Carbone bleu***
> *Il fait référence au dioxyde de carbone retiré de l'atmosphère par l'ensemble des écosystèmes océaniques côtiers, principalement les mangroves, les herbiers marins et les grandes laminaires (macroalgues).*

Et là, il y a un problème politique à régler qui joue – je le répète –, sur cette incompréhension de la diversité du sens donné au terme carbone. À cet égard, un sentiment d'inquiétude a déjà été énoncé par un certain nombre de pays. Il faut en tenir compte.

➔ AU FINAL, PEUT-ON CROIRE EN UNE FORCE DE RÉSILIENCE DE LA NATURE, HUMAINS COMPRIS, EN S'INSPIRANT DES INNOVATIONS QU'ELLE A DÉVELOPPÉES DEPUIS PRÈS DE QUATRE MILLIARDS D'ANNÉES ?

Oui, nous en sommes l'exemple, puisque nous n'arrêtons pas de développer un certain nombre de nouvelles solutions, d'essayer de trouver de la résilience… Mais l'Océan, où est née la vie, contient l'ensemble des potentialités qui peuvent se développer dans un milieu liquide.
Le degré de liberté du vivant dans l'Océan est, à mon avis, bien plus grand que celui qu'il y a eu sur la Terre. Simplement, nous n'avons pas l'occasion de l'appréhender à sa juste valeur.

> ***“ Nous avons oublié ce rapport à la nature ”***

➔ COMMENT CHACUN DE NOUS PEUT-IL ÊTRE PARTIE PRENANTE ET PORTEUR DE SOLUTIONS ? À CET EFFET, FAUT-IL REVOIR TOTALEMENT NOTRE RAPPORT AU MONDE ?

Il faut savoir que nous avons oublié ce rapport à la nature parce que l'urbanisation dans laquelle nous nous trouvons éloigne de plus en plus la conscience de ce qu'est la nature. Et je crois que c'est le grand danger.
Aller voir la nature est la première des choses à faire pour les générations à venir, et pas seulement l'imaginer, mais la sentir, l'expérimenter et s'en inspirer. Et c'est à partir de l'observation que l'on va faire émerger peut-être une curiosité, qui peut avoir un millier d'expressions possibles, mais dont l'une, la plus difficile, la moins baroque, est la science. ■

Entretien avec Christian Frasson-Botton
L'interview de Françoise Gaill a été réalisée à la Maison des Océans, Institut océanographique – Fondation Albert Ier, Prince de Monaco, Février 2020.

Éclairage

www.ocean-climate.org

PLATEFORME OCÉAN ET CLIMAT

MOBILISER LES ACTEURS DE L'OCÉAN SUR LE NEXUS OCÉAN-CLIMAT-BIODIVERSITÉ

« La Plateforme Océan et Climat est un ensemble d'acteurs dédié à l'action autour du rapport entre Océan et climat. Elle a été créée le 10 juin 2014, lors de la Journée mondiale des océans, avec l'appui de la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO.
C'est une coalition internationale comptant quelque 70 membres : une grande partie d'acteurs scientifiques institutionnels, tels que l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), autant d'ONGs, petites ou grandes, des aquariums, comme Nausicaá et Océanopolis, des représentants d'expéditions océanographiques, à l'instar de Tara, et des acteurs du secteur privé regroupés autour du Cluster maritime français (CMF) ou d'Armateurs de France, ainsi que des établissements publics tels que l'Agence française de la biodiversité (AFB) et les Terres australes et antarctiques françaises (TAAF), des organisations internationales onusiennes : l'UNESCO, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'Organisation internationale pour les migrations (OIM).
Pourquoi avons-nous créé cette plateforme ? L'idée était simple. Avant la COP21, l'Océan n'était jamais présent dans les négociations. Pendant vingt Conférences des Parties, on a beaucoup parlé des forêts, mais pas de l'Océan. Le mot a été énoncé au tout début du premier texte de la première COP, et puis plus rien…
Notre idée était donc de promouvoir dans ces négociations l'Océan, qui joue un rôle majeur dans les échanges avec l'atmosphère et dans le système climatique. L'idée était également de promouvoir la connaissance sur l'Océan au niveau des scientifiques mais aussi au sein de la société. En outre, il s'agissait de mettre ensemble tous les acteurs de la mer autour de la question du changement climatique. »

Extrait de l'Audition de Mme Françoise Gaill, présidente du Conseil stratégique et scientifique de la Flotte océanographique française, coordonnatrice du conseil scientifique de la Plateforme Océan et Climat, dans le cadre de la Mission d'information sur la gestion des événements climatiques majeurs dans les zones littorales de l'Hexagone et des Outre-mer. Assemblée nationale, 17 janvier 2018.

Ph. A. Wimmer

Françoise Gaill et Patricia Ricard, vice-présidentes de la Plateforme Océan et Climat.

Ph. Fotolia / I. Chaikovskiy

Ph. DR

ENTRETIEN AVEC

GILLES BOEUF

Ancien président du Muséum national d'histoire naturelle (Paris)
Président du conseil scientifique de l'Agence française pour la biodiversité (AFB)

> *« Aujourd'hui, on peut encore gagner la bataille du vivant »*

Ph. Adobe Stock/andrej pol

PARCOURS

1950
Naissance à Paimbœuf (Loire-Atlantique).

1978
Maîtrise en zoologie.

1979
Directeur de Recherche au CNEXO, l'ex-IFREMER, Brest.

1987
Doctorat d'État ès-sciences naturelles à l'Université de Brest.

1999
Professeur de physiologie à l'Université Paris 6, Directeur de l'Observatoire de Banyuls-sur-Mer.

2009
Président du Muséum national d'histoire naturelle, Paris.

2013
Professeur invité au Collège de France.

2015
Conseiller scientifique au cabinet de Ségolène Royal, alors ministre de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.

2017
Président du conseil scientifique de l'Agence française pour la biodiversité.

BIODIVERSITÉ
EFFONDREMENT OU NOUVELLE HARMONIE ?

1 / L'OCÉAN PRIMITIF, BERCEAU DE LA VIE. ÉVOLUTION ET EXPLOSION DE LA BIODIVERSITÉ MARINE

2 / EFFONDREMENT DE LA BIODIVERSITÉ MARINE, LES FACTEURS ET LEURS EFFETS

3 / LES MOYENS D'ENRAYER L'EFFONDREMENT DE LA BIODIVERSITÉ MARINE

Les mots marqués d'un astérisque (*) sont définis dans un glossaire.

Ph. Adobe Stock/creativenature.nl

Macareux moine, Fratercula arctica *– Surnommé « perroquet de mer », ses ailes lui permettent de nager efficacement pour pêcher en apnée à 10 ou 15 mètres sous la surface. Il peut parcourir 50 mètres en 10 secondes avant de revenir à terre le bec chargé de prises pour son unique poussin.*

Ph. Adobe Stock/whitcomberd

Exubérance du vivant dans ce récif corallien des îles Similan (sud de la Thaïlande) – Cet archipel détient un statut de parc national depuis 1982. Ses plages sont généralement des lieux de ponte pour les tortues.

Ph. Adobe Stock/Chris

Baleine à bosse, Megaptera novaeangliae *– La mère reste généralement près de son baleineau. Elle l'allaite pendant plusieurs mois, elle l'aide à venir respirer à la surface et le protège d'éventuels prédateurs. Les baleines sont particulièrement sensibles aux effets du changement climatique qui met en danger leur reproduction.*

1/ L'Océan primitif, berceau de la vie. Évolution et explosion de la biodiversité marine

➔ QUELLE EST L'ORIGINE DE LA VIE SUR NOTRE PLANÈTE ? Y A-T-IL UN MYSTÈRE DE LA VIE OU EST-ELLE LE FRUIT, L'ABOUTISSEMENT D'UN PROCESSUS CHIMIQUE ?

C'est tout cela. En fait, il y a deux grandes idées qui s'opposent.
Un prix Nobel de médecine, de nationalité belge, Christian de Duve, écrit en 1996 dans son ouvrage *« Poussière de vie – Une histoire du vivant »* que la Terre était si idéalement placée par rapport au soleil que la vie ne pouvait pas ne pas y apparaître. Pour lui, c'était l'évidence. À l'inverse, Jacques Monod [(1)] – autre prix Nobel –, disait : *« Quelle hypothèse improbable ! »*.

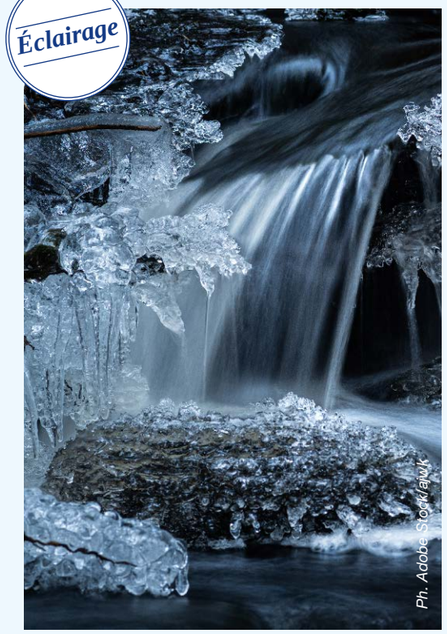
Ce qui est clair, c'est que la vie a absolument besoin d'eau liquide. Et si elle est apparue sur la Terre c'est parce que l'eau s'y rencontre sous les trois formes [(2)], dont la liquide. Il y a de l'eau en abondance sur Mars, mais c'est de la glace.

L'eau est la molécule initiale du vivant. Je rappelle qu'à la naissance, un bébé humain c'est trois-quarts d'eau liquide. Toutes les cellules de la vie, quelles qu'elles soient, sont constituées d'eau liquide. Ceci est très important.

Eau liquide… Cela veut dire une gamme de températures, puisque l'on sait qu'à 100°C et à une pression d'une atmosphère*, l'eau bout et devient vapeur d'eau. À 0°C, l'eau se transforme en glace.

> *“ L'eau est la molécule initiale du vivant ”*

Éclairage


Ph. Adobe Stock/ajwk

CONGÉLATION DE L'EAU
À QUELLE TEMPÉRATURE ?

La congélation (ou point de fusion) est le passage de l'état liquide à l'état solide par refroidissement. Elle dépend de la température, de la pression atmosphérique et de la concentration en sel.

• **L'eau douce liquide** devient de la glace à 0°C et à une pression normale quand la masse d'eau est homogène.
Mais dans le cas de rivières, où l'eau est plus ou moins agitée, il faut des températures négatives dont la valeur dépend de plusieurs facteurs qui sont variables d'un cours d'eau à l'autre : mélange des eaux, surface d'échange avec l'air, température du sol, quantité de substances dissoutes… Aucune étude scientifique n'a pu donner un ordre de grandeur général. Des archives canadiennes signalent que l'eau très agitée des chutes du Niagara n'aurait jamais gelé entièrement… même quand la température est passée sous la barre des - 40°C.

Cependant, en 2011, une étude parue dans la revue *Nature* apporte un autre éclairage sur la cristallisation de l'eau : elle ne serait pas seulement liée à une question de froid extrême, elle dépendrait aussi de la façon dont s'organisent les molécules d'eau. Des simulations montrent que l'eau pure doit atteindre une température de -48°C pour avoir un taux maximal de cristallisation et geler obligatoirement.

• **L'eau de mer** gèle à une température inférieure à 0°C, qui dépend de sa concentration en sel. Ainsi, l'eau de mer se prend en glace à -1,86°C pour une salinité moyenne de 35g/l.

Sur le continent, le vivant est donc forcément limité à une plage de températures de l'eau douce, entre 0 et 100°C. Mais la vie se manifeste aussi dans certains milieux marins à des températures très basses ou très hautes :
- dans des glaces extrêmement anciennes, en Antarctique, jusqu'à - 89°C [(3)] ;
- dans des sources hydrothermales, avec des températures largement supérieures à 100°C (autour de 140-150°C), puisqu'avec les pressions gigantesques de ces milieux profonds, l'eau ne peut rester qu'à l'état liquide à de telles températures.

Ainsi, la vie a trouvé une plage thermique idéale pour son développement.

> *“ Une vie avant la vie, qui est forcément issue de la chimie ”*

➔ PLUS PRÉCISÉMENT, COMMENT EST APPARUE LA VIE ?

L'émergence de la vie provient forcément d'une chimie antérieure. On parle d'ailleurs, effectivement, d'une vie prébiotique, d'une vie avant la vie, qui est forcément issue de la chimie.

Je crois que la plus belle relation que l'on puisse établir, c'est ce qu'on appelle une cellule : une petite sphère vivante entourée par une membrane, qui délimite un espace extérieur – en l'occurrence, au début, l'eau de mer –, et un espace intérieur. Et il se passe des choses entre les deux : on discute, on échange…

Cette membrane peut être composée par de la chimie : on connaît des micelles*, des petits lipides qui fabriquent spontanément des sphères. Et dès le moment où les cellules ont fabriqué cette membrane, elles sont devenues capables de se couper en deux pour donner deux cellules identiques.

Au départ, la vie se présente donc sans différenciation sexuelle. Le vivant se multiplie par scissiparité : la cellule – une bactérie, par exemple –, se divise et donne deux cellules filles, copies exactes de la cellule mère. Et ceci grâce à la réplication* de l'ARN* ou d'un ADN*, en fonction du type de cellule.

Glossaire

Atmosphère (atm)
Unité de mesure de pression : 1 atm est égale à 1,01325 bar.

Micelle
Très petite particule solide en suspension dans une solution composée d'un agrégat de molécules.

Réplication
Mécanisme de production de nouvelles molécules nucléiques d'ADN ou d'ARN.

ARN (acide ribonucléique)
Molécule qui transporte l'information contenue dans le patrimoine génétique (ADN) d'une cellule jusqu'aux ribosomes qui sont chargés de la traduire en protéines ayant des fonctions précises.

ADN (acide désoxyribonucléique)
Support de l'hérédité, c'est un long filament formé de la succession de quatre nucléotides différents – adénine, guanine, thymine et cytosine –, qui s'enroulent en une double hélice. Celle-ci est repliée sur elle-même sous la forme de chromosomes et se situe dans le noyau de chaque cellule.

À ce stade primitif de l'évolution du vivant sur la Terre, nous nous situons à quelques milliards d'années en arrière. Puis vers un milliard et demi d'années, un autre fait exceptionnel se produit dans l'Océan ancestral : l'apparition de la sexualité.

Le sexualité c'est quoi ? C'est deux cellules qui s'échangent du matériel génétique. La cellule résultante, issue de leur relation, n'est pas une copie de l'une ou de l'autre, mais un mélange des deux [voir en page 30 : *Reproduction – Asexuée ou sexuée ?*]. C'est extrêmement fort pour faire de la biodiversité.

>>

(1) Prix Nobel de physiologie ou médecine, Jacques Monod est l'auteur d'un essai intitulé « Le Hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne », *1973, Editions du Seuil. Ce titre est tiré d'une citation que le biologiste attribue à Démocrite :* « Tout ce qui existe dans l'univers est le fruit du hasard et de la nécessité. »

(2) Dans la nature, l'eau se trouve sous trois états : liquide, solide et gazeux, identifiés par le cycle de l'eau.
En savoir + : L'eau pour tous – Le défi de l'hydrodiplomatie - *Entretien avec Loïc Fauchon, président honoraire du Conseil mondial de l'eau,* Lettre d'information de l'Institut océanographique Paul Ricard *n° 13, 2014, p. 44.*

(3) Dans les eaux très froides vivent des espèces dites psychrophiles, c'est-à-dire qu'elles ont la capacité de vivre dans des eaux froides comme les mers polaires ou les abysses (90% du volume de l'Océan n'excède pas les 5 °C).

Éclairage

REPRODUCTION ASEXUÉE OU SEXUÉE ?

L'apparition de la reproduction est un élément clé dans l'évolution de la vie et de la biodiversité. Elle est d'abord asexuée* et s'effectue par division cellulaire (mitose*) chez les organismes procaryotes* comme les bactéries et chez les organismes eucaryotes* unicellulaires tels que les protozoaires.

Puis la reproduction devient sexuée chez les organismes eucaryotes* pluricellulaires comme l'oursin. Elle implique une fécondation entre deux gamètes provenant de sexe opposé pour transmettre le patrimoine génétique à la génération suivante.

Cependant, la recombinaison génétique n'est pas forcément sexuée, il existe chez les êtres unicellulaires (bactéries et protistes) la possibilité d'un transfert latéral ou horizontal de gènes, c'est-à-dire un mouvement de gènes entre espèces différentes. Ce qui explique la rapidité à laquelle une bactérie évolue en devenant résistante à des antibiotiques. Ce transfert horizontal de gènes semble également avoir eu lieu et continue à se produire chez les organismes pluricellulaires.

Glossaire

Asexuée (reproduction)
Capacité des organismes vivants à se multiplier seuls : sans partenaire et sans intervention de cellules reproductrices. Il y a donc reproduction à l'identique. Il s'agit en fait d'un clonage. Il existe aussi une forme intermédiaire de reproduction asexuée : la parthénogenèse, c'est-à-dire le développement d'un nouvel individu à partir d'un ovule non fécondé par un mâle.

Mitose
Division cellulaire qui assure la naissance de cellules identiques à la cellule mère lors de la multiplication asexuée. L'autre type de division cellulaire dans le monde vivant est la méiose.*

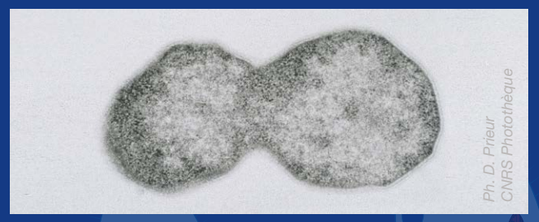
Procaryotes
Organismes unicellulaires sans noyau comportant un seul chromosome (bactérie) et aucun organite membrané intracellulaire.

Eucaryotes
Tous les organismes, unicellulaires ou multicellulaires, dont les cellules se caractérisent par la présence d'un noyau et d'organites spécialisés, tels que les mitochondries participant à la respiration cellulaire.

Méiose
Double division de la cellule aboutissant à la réduction de moitié du nombre de chromosomes et qui se produit au moment de la formation des cellules reproductrices, ou gamètes.

1/ REPRODUCTION ASEXUÉE CHEZ UN ORGANISME PROCARYOTE*

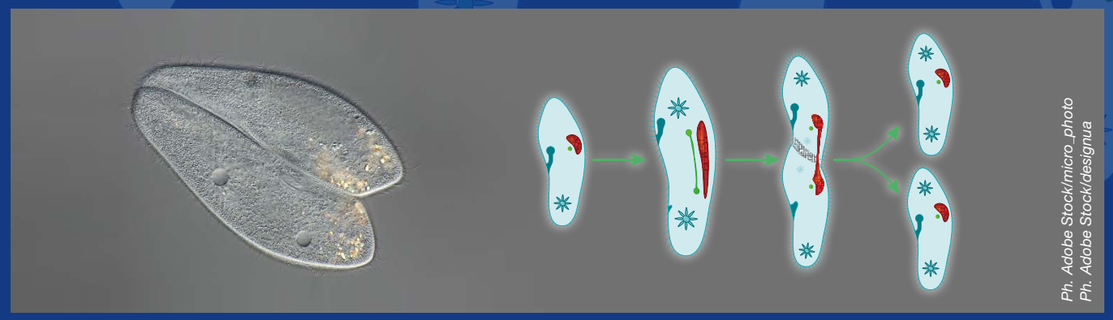
L'exemple d'une bactérie



Pyrococcus abyssi *en cours de division cellulaire (mitose*) – Cette bactérie a été isolée d'une source hydrothermal du bassin nord des Fidji, à 2000 mètres de profondeur. Elle vit sans oxygène et métabolise le soufre. Sa température optimale de croissance est de 96°C (vue en microscopie électronique : taille 0,8-2 micromètres).*

2/ REPRODUCTION ASEXUÉE CHEZ UN ORGANISME EUCARYOTE* UNICELLULAIRE

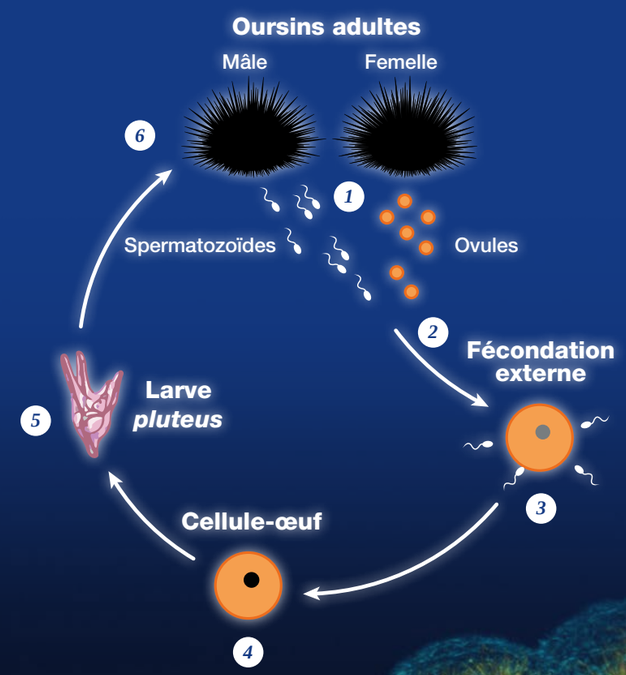
L'exemple d'un protozoaire



Chez les organismes unicellulaires, la multiplication se fait la plupart du temps par une division binaire, comme ici chez la Paramécie, Paramecium caudatum, *qui possède deux noyaux. Le processus de la mitose* est représenté sur le schéma ci-dessus.*

3/ REPRODUCTION SEXUÉE CHEZ UN ORGANISME EUCARYOTE* PLURICELLULAIRE

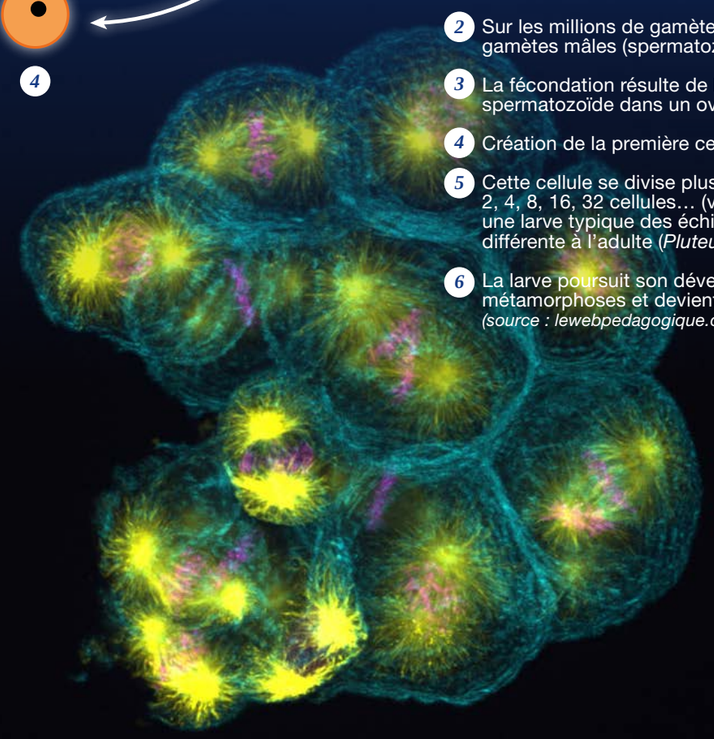
L'exemple d'un oursin



Sexuée (reproduction)
La reproduction sexuée (animale et végétale) comporte toujours l'union d'une cellule reproductrice mâle et d'une cellule reproductrice femelle. Cette union est la fécondation. Elle aboutit à la formation d'une cellule-œuf, première cellule d'un nouvel individu.
Les descendants auront la moitié de leur patrimoine génétique qui proviendra de leur père et l'autre moitié de leur mère. Ce qui permet le brassage génétique et à la descendance d'acquérir de nouveaux caractères.

Chromosome
Structure constituée d'ADN et de protéines. Dans les cellules eucaryotes, les chromosomes se trouvent dans le noyau et leur nombre varie en fonction des espèces. Une cellule humaine contient 23 paires de chromosomes, dont 22 sont communes aux deux sexes. Les deux paires restantes sont les chromosomes sexuels : XX pour la femme et XY pour l'homme.

1. Les oursins expulsent leurs cellules reproductrices dans la mer.
2. Sur les millions de gamètes femelles (ovules) et de gamètes mâles (spermatozoïdes), 99% disparaîtront.
3. La fécondation résulte de la pénétration d'un unique spermatozoïde dans un ovule.
4. Création de la première cellule du nouvel individu (œuf).
5. Cette cellule se divise plusieurs fois par dédoublement : 2, 4, 8, 16, 32 cellules… (voir photo) pour donner une larve typique des échinodermes de forme différente à l'adulte (*Pluteus*).
6. La larve poursuit son développement, elle subit des métamorphoses et devient un adulte mâle ou femelle *(source : lewebpedagogique.com).*



Ph. J. Dumont/B. Lacroix/CNRS Photothèque

Embryon d'oursin, Paracentrotus lividus, *au stade 32 de la division cellulaire. Le contour en bleu délimite chaque cellule. Les couleurs jaune et rouge indiquent l'aire d'alignement et de séparation des chromosomes* (image réalisée par immunofluorescence).*

>>

➔ CERTAINS SPÉCIALISTES AVANCENT QUE LA VIE SERAIT APPARUE DANS DES SOURCES HYDROTHERMALES. QUELLE EST VOTRE OPINION SUR CETTE THÉORIE ?

Plutôt que d'imaginer au départ une vie hyper brûlante, je pencherais vers l'hypothèse d'une vie qui apparaît dans des lagunes pas très profondes, au bord de l'Océan, sur le rivage [4]. Il fallait, en fait, que soit réuni un mélange d'apports terrestres et marins.

L'intérêt des milieux côtiers est de présenter une eau pas trop salée, puisqu'elle est souvent mélangée avec de l'eau douce, ce qui est important d'un point de vue cellulaire à cause de la pression osmotique*. Cette eau plus ou moins salée à l'extérieur doit s'équilibrer et échanger avec l'intérieur de la cellule.

On pense aussi que la vie a emprunté le chemin des grands fonds océaniques et de ses sources hydrothermales. Dans quel ordre est-ce survenu ? D'abord sur les rivages puis dans les abysses, ou l'inverse ? Aujourd'hui, la question de savoir d'où provient la vie n'est pas du tout tranchée [5].

➔ EN TOUT ÉTAT DE CAUSE, L'OCÉAN A ÉTÉ LE SIÈGE DE L'APPARITION DE LA VIE. QUE S'EST-IL RÉELLEMENT PASSÉ ?

À l'origine, on passe, d'une cellule sans noyau, une bactérie par exemple – l'ADN* est à l'intérieur d'un seul chromosome* présent dans le cytoplasme* –, à une cellule beaucoup plus compliquée, plus grande, et pourvue d'un noyau regroupant les chromosomes qui contiennent l'ADN*.

Glossaire

Osmotique (pression)
Force qui est déterminée par une différence de concentration entre deux solutions liquides séparées par une membrane semi-perméable. Ainsi, une concentration en sel extérieure différente de l'intérieur d'une cellule induit un courant d'eau entre les deux compartiments. Par exemple, un globule rouge du sang en condition isotonique, explosera dans l'eau douce et, à l'inverse, perdra de son volume dans l'eau de mer.

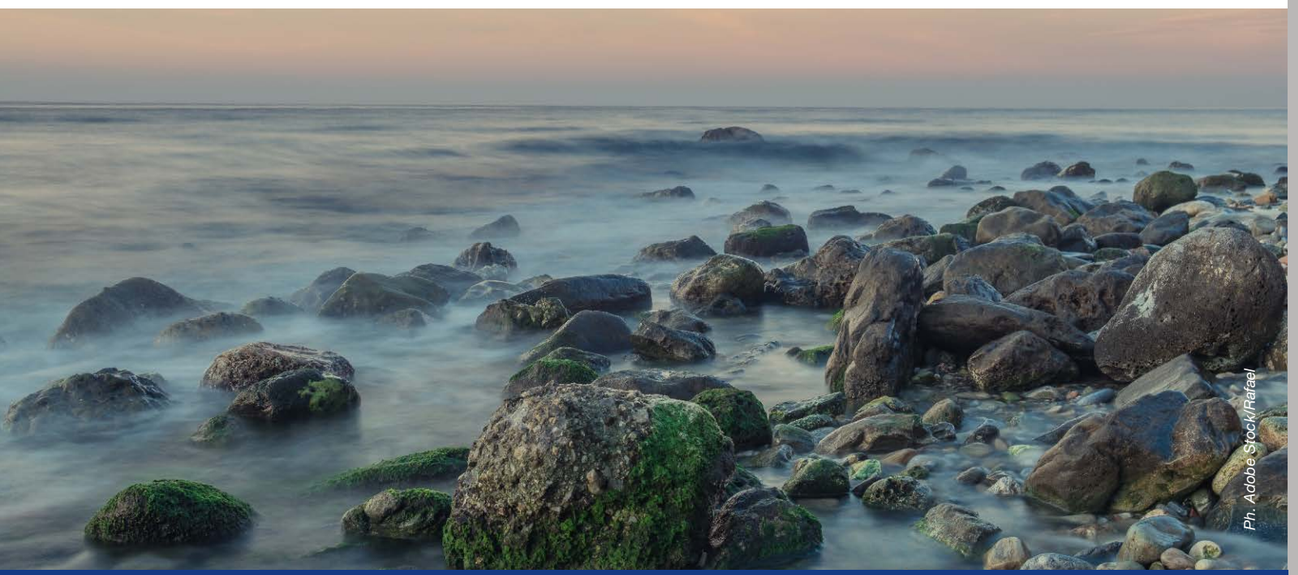
Cytoplasme
Partie interne de la cellule vivante. Sa fraction liquide ou semi-liquide (le cytosol ou hyaloplasme) est composée à 85% d'eau et de protéines. Chez les eucaryotes, elle correspond à la région comprise entre la membrane plasmique et le noyau, siège des chromosomes, et renferme différents organites membranés indispensables aux fonctionnement de la cellule. Chez les procaryotes (bactéries), le cytoplasme est diffus : pas de noyau, pas d'organites membranés, seul un chromosome circulaire.

Donc, il y a une première évolution, de la cellule simple sans noyau à la cellule avec noyau qu'on appelle protiste. C'est le cas, par exemple, des microalgues et des levures. Le troisième stade se caractérise par un regroupement de cellules à noyau pour constituer un tissu, un foie, un rein, un cerveau, et au final un organisme.

>>

(4) Le 1er février 1871, dans une lettre adressée à Joseph Dalton Hooker, explorateur et botaniste britannique, qui a soutenu ses théories sur l'évolution, Darwin suggère que « l'étincelle de vie d'origine peut avoir commencé dans une petite mare chaude où étaient présents toutes sortes de produits de base, ammoniac et sels phosphoriques, la lumière, la chaleur, l'électricité…, et c'est là qu'un composé protéique s'est formé chimiquement, prêt à subir des changements encore plus complexes. »

(5) En savoir + : https://sagascience.com/origines/



L'environnement marin des rivages a certainement joué un rôle dans l'origine de la vie.

Éclairage

LA LENTE ÉVOLUTION DE LA VIE

L'histoire de l'évolution de la vie couvre plusieurs milliards d'années. À l'origine, elle est marquée par trois grandes étapes innovantes liées à la reproduction des premiers organismes. D'autres circonstances fortuites comme les mutations, la sélection naturelle rattachée aux contraintes du milieu… ont progressivement orienté la spéciation* avec ses divergences et ses convergences de forme.

Ce long cheminement a été souvent compromis par des évènements perturbateurs (cataclysmes) liés à l'évolution de la planète elle-même et à son positionnement astronomique.

L'évènement le plus marquant de l'histoire de la vie sur la Terre correspond à l'apparition soudaine d'animaux dans les archives fossiles, à la fin de l'ère précambrienne, environ 600 à 555 millions d'années en arrière. Les fossiles de la faune d'Ediacara (Australie) et surtout des Schistes de Burgess (Canada) témoignent de la richesse des espèces dont certaines formes insolites se sont rapidement éteintes.

Ce phénomène remarquable n'en dure pas moins plusieurs millions d'années et se termine vers 505 millions d'années. Au cours de ce foisonnement évolutif, la symétrie bilatérale apparaît chez les animaux. Cet élément important définit le sens du mouvement et favorise la formation d'un système nerveux centralisé. C'est ainsi que se profile l'apparition de la plupart des ancêtres des grands embranchements actuels, entraînant un changement radical de l'aspect de la biosphère.

La conquête des continents survient vers 500 à 359 millions d'années. Cette période correspond à la sortie des eaux des premiers tétrapodes, vertébrés qui descendent des sarcoptérygiens (poissons). Bien d'autres espèces, animales et végétales, prennent le même chemin et colonisent le milieu aérien.

Spéciation
Processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes se forment à partir d'ancêtres communs.

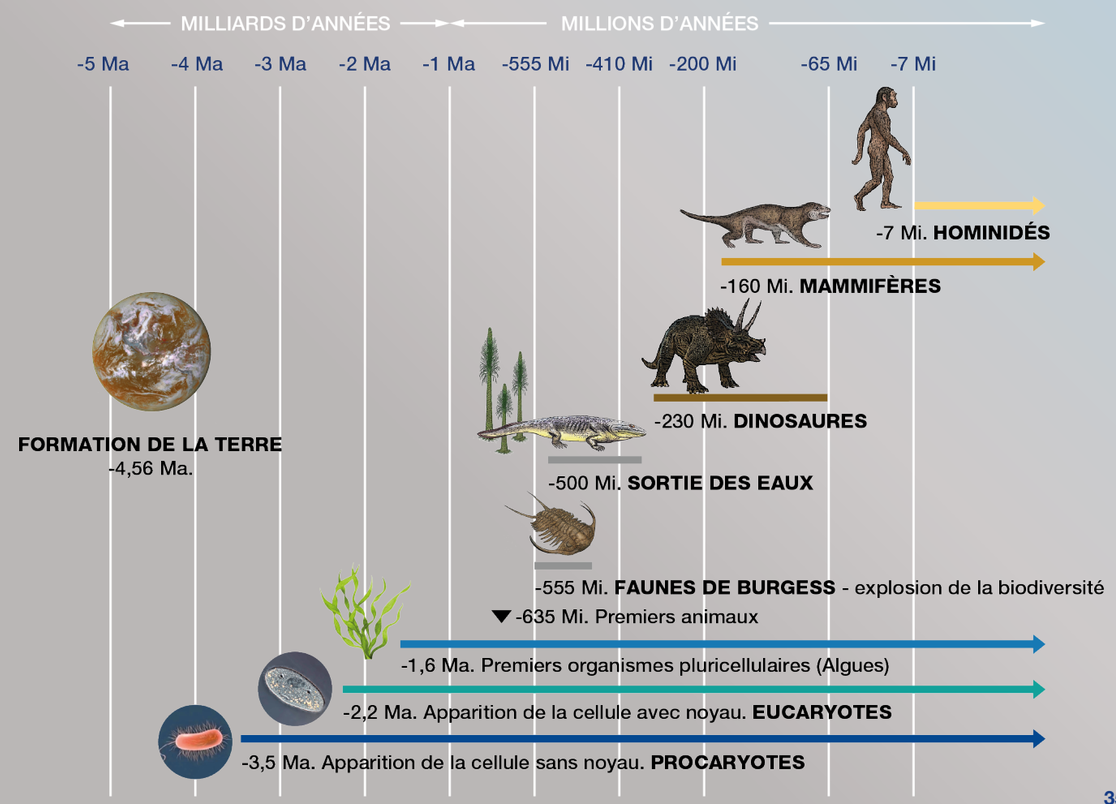
Il y a 252 millions d'années, une extinction massive dont la nature exacte fait encore débat, favorise l'apparition ultra-rapide des dinosaures qui disparaîtront vers 65 millions d'années à la suite de l'impact d'une météorite sur la Terre.

Dans l'histoire des mammifères, une incertitude demeure, celle de l'émergence du premier maillon de ce groupe que l'on situe entre 220 et 180 millions d'années. Conjointement aux dinosaures, les mammifères se diversifient et se répandent largement au milieu du Jurassique, il y a 165 millions d'années. Sans que l'on en connaisse réellement les raisons, ils survivront aux dinosaures pour constituer trois grandes familles.

Vers 7 millions d'années, les premiers Hominidés apparaissent et donneront la lignée conduisant à l'*Homo sapiens*, l'homme.
Selon le paléontologue américain Stephen Jay Gould : *« Il nous faut regarder l'évolution comme un ensemble d'évènements à la fois parfaitement logique et susceptible d'être rigoureusement expliqué en rétrospective, mais absolument impossible à prédire et non reproductible »*.

LES GRANDES ÉTAPES DE L'ÉVOLUTION DU VIVANT

Schéma inspiré de : *« La Terre et la Vie - Chronologie »*, *hominidés.com*, Données : G. Boeuf, A. Riva.



>>

➔ CETTE ÉVOLUTION DU VIVANT AU COURS DU TEMPS EST À L'ORIGINE D'UNE BIODIVERSITÉ EXUBÉRANTE DES ESPÈCES MARINES. QU'EST-CE QUI A PRODUIT CETTE EXPLOSION DE VIE ? Y A-T-IL EU DES ÉLÉMENTS DÉTERMINANTS ?

Absolument.
Au départ, le vivant passe d'une cellule sans noyau à une cellule à noyau, et ce qui déclenche la diversité biologique provient d'accidents au moment de la fécondation. Des événements, des rétentions et réactions diverses vont faire que de nouvelles formes apparaissent. Il faudra vraiment attendre l'apparition de la sexualité pour avoir une prolifération du vivant tout à fait extraordinaire sur notre planète.

Dès sa naissance, on peut dire qu'une espèce est déjà plurielle. La première forme de vie de la planète cohabitait déjà avec des organites* d'origine virale. De fait, dès le début du processus évolutif, il y a toujours eu des associations, des symbioses… Et plus le temps passe, plus le nombre d'espèces va augmenter dans l'eau et hors de l'eau. On pense que le pic du plus grand nombre d'espèces sur la Terre a été atteint, il y a environ 200 ans. Depuis cette époque, les dégradations environnementales causées par l'activité humaine n'ont pas cessé de s'amplifier portant de graves atteintes à l'intégrité de la biodiversité.

➔ … DONC, LA SEXUALITÉ EST UN ÉLÉMENT DÉTERMINANT DANS L'ÉVOLUTION DU VIVANT.

Complètement.
Qu'est-ce qu'apporte la sexualité, et surtout le mâle ? C'est une vraie question. Dans certains groupes d'animaux comme les grenouilles et les poissons, il n'y a que des « filles » et aucun « garçon ».

Le sexe mâle n'apparaît alors que si les conditions environnementales changent : il fait trop chaud, trop froid ; le milieu est trop salé, pas assez salé ; l'acidité est trop grande… Dans tous les cas, la sexualité se révèle pour offrir une plus grande possibilité de variations, d'adaptations pour répondre aux changements externes. La sexualité permet de maintenir un maximum de polymorphisme génétique* et, en fait, la clé de la biodiversité, elle est là.

La sexualité est géniale, on naît « garçon » ou « fille », issus de géniteurs mais sans être leur copie conforme : l'idéal pour s'adapter beaucoup mieux à l'environnement. Bien sûr, la sexualité favorise une plus grande variabilité génétique, mais finalement quand on creuse la question, l'une des meilleures hypothèses pour que la sexualité se soit maintenue, c'est que les mâles avaient un rôle antiparasitaire. Voilà à quoi ils servent !

Glossaire

Organites
Structures différenciées que l'on observe dans les cellules eucaryotes avec des fonctions bien précises. Ils baignent dans le cytoplasme et travaillent en coopération.

Polymorphisme génétique
C'est le fait qu'une espèce présente des individus différents avec des caractères phénotypiques différents au sein d'une même population. Le polymorphisme concerne toutes les espèces. Ce sont des variations liées aux mutations génétiques et aux différentes adaptations. Cela correspond par exemple aux mimétismes de formes des papillons.

> ***« Les bons gènes, de la chance, et cela marche… »***

Imaginez qu'un parasite ait trouvé un moyen pour contourner les défenses de la cellule sans qu'elle puisse un jour s'en débarrasser. Avec la sexualité, le brassage génétique va faciliter à terme l'élimination de ce parasite.

➔ PEUT-ON DIRE QUE L'ÉVOLUTION DU VIVANT N'A PAS ÉTÉ UN LONG CHEMIN TRANQUILLE ? Y A-T-IL EU DES INNOVATIONS ET DES RATÉS ? UNE GRANDE PART DE HASARD ?

Sans arrêt, comme le disait notre prix Nobel, Jacques Monod. Aujourd'hui, quand on observe le vivant, on voit déjà celui qui transmettra ses gènes. Contrairement à l'idée reçue, ce n'est pas le plus fort mais le plus malin. C'est lui qui gagne tout le temps et qui va posséder les femelles. Et, s'il est vrai que les mâles entrent en compétition pour l'accès aux femelles, finalement, ce sont elles qui choisissent. Dans l'évolution du vivant, ce n'est pas la loi du plus fort qui va jouer, je dirais plutôt que ce sont les bons gènes et de la chance.

Et comme on ne change pas une équipe qui gagne, le vivant passe par de longues périodes de stabilité. En revanche, le jour où se produit un puissant épisode volcanique, quand la température change, lorsque les précipitations sont intenses ou le milieu est plus sec, plus chaud, plus salé, plus acide, il faut que la vie arrive à surmonter ces difficultés qu'elle n'a jamais rencontrées jusque-là. Je le répète : *« Les bons gènes, de la chance, et cela marche… »*

➔ DANS CE CONTEXTE, COMMENT SITUER LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION ET DE LA SÉLECTION NATURELLE DE DARWIN ?

Ce que je viens de dire est en adéquation avec la théorie de Darwin [(6)]. Et quand les scientifiques de l'Expédition *Tara* ont observé les relations entre les protistes du plancton, ils se sont rendus compte, en fait, qu'il y avait infiniment plus de symbiose, de coopération, d'entraide, de mutualisme, de commensalisme que de compétition entre eux. [voir en page 48 : *Plancton océanique – Des découvertes fondamentales qui vont éclairer le monde et l'avenir du climat.* Entretien avec Colomban de Vargas].

Certes, si on les embête un peu trop, certaines espèces libèrent un poison si violent qu'il tue leurs agresseurs mais c'est rare. Nous constatons plus généralement un système de symbiose entre les organismes depuis l'origine de la vie : même la cellule initiale, était quelque part déjà parasitée par autre « chose » qui existait avant elle.

C'est intéressant car, aujourd'hui, nous savons que dans le corps humain, un dialogue permanent s'instaure entre les différentes cellules qui le composent : les neurones et les cellules gliales* du système nerveux, les cellules musculaires, les globules rouges et les bactéries « hébergées ». L'être humain renferme en lui et sur lui autant de bactéries que de cellules qui lui sont nécessaires. Et si le dialogue est interrompu, c'est le drame avec l'apparition de pathologies comme l'autisme, la maladie d'Alzheimer, le diabète de type 2, l'obésité… C'est pourquoi il faut ramener l'humain à un plus grand respect pour le vivant, car plus on avance dans nos recherches, plus on se rend compte que l'ensemble du vivant est constitué de relations interdépendantes. Mais on ignore encore la plupart de ces interactions étant donné que l'on ne connaît même pas toutes les espèces vivantes.

>>

Gliales (cellules)
Le système nerveux est formé de deux types de cellules : les neurones et les cellules gliales. Ces dernières forment l'environnement des neurones. Elles produisent la myéline et jouent un rôle de soutien et de protection du tissu nerveux en apportant les nutriments et l'oxygène. Elles éliminent aussi les cellules mortes et combattent les organismes pathogènes.

(6) Dans sa théorie, Charles Darwin précise que l'évolution du vivant se fait par sélection naturelle, c'est-à-dire que les organismes les mieux adaptés à leur environnement, grâce à de nouvelles mutations, survivent et transmettent leurs gènes à la génération suivante. Il appelle « sélection naturelle » cette sélection d'individus les mieux adaptés et n'utilise jamais le terme « évolution ». La théorie du célèbre naturaliste englobe à la fois l'idée de compétition et de solidarité. Il rajoute par la suite une « sélection sexuelle », résultat d'une lutte pour la vie entre mâles pour la possession des femelles (source : lejournal.cnrs.com).

Ph. Adobe Stock/Alexis

La symbiose établie par le corail avec des algues microscopiques, les zooxanthelles, est un échange gagnant-gagnant : « hébergement » contre apport de nourriture.

Ph. Adobe Stock/VisionDive

La murène léopard ou murène nid d'abeilles, Gymnothorax favagineus, *se rencontre en mer Rouge, dans l'océan Indien et dans le Pacifique tropical Ouest. Ce poisson vit en association avec des petites crevettes ou des labres qui profitent de la protection de la murène et de ses restes alimentaires. En contrepartie, les hôtes assurent le nettoyage et le déparasitage. Cette forme d'association existe aussi chez l'espèce méditerranéenne,* Muraena helena.

Éclairage

DIVERSIFICATION DU VIVANT

Les populations se modifient au cours du temps, sous l'effet :

…de la sélection naturelle
(théorie de Darwin, milieu du XIXe siècle)

Sous l'effet de la pression exercée par l'environnement, certains individus se reproduisent plus que d'autres.

… de la dérive génétique
(théorie de Motoo Kimura, 1968)

Lors de la reproduction sexuée, sous l'effet du hasard des individus qui se reproduisent et des gamètes utilisés.

Dans les deux cas, on observe une évolution des caractères phénotypiques* de la population au cours du temps. Ces modifications temporelles des populations constituent l'**évolution biologique.**

➔ QUEL EST L'ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES ÉCOSYSTÈMES ET LES ESPÈCES OCÉANIQUES ? A-T-ON ÉVALUÉ LE NOMBRE D'ESPÈCES ?

La diversité spécifique connue dans l'Océan ne dépasse pas 13% de l'ensemble des espèces vivantes actuellement décrites, soit moins de 300 000 sur plus de deux millions, au total, sur la planète.

La raison en est très simple : les espèces marines vivent dans un espace continu qui change infiniment moins que le milieu terrestre. L'Océan est stable depuis 100 millions d'années.

Par contre, sur Terre, il existe beaucoup plus de barrières et d'isolats* – une vallée, une rivière, des roches différentes –, qui sont favorables à la spéciation, ce processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes apparaissent. Un tel morcellement de l'espace entraîne des différences importantes en matière de diversité spécifique : les niches écologiques marines du large n'atteignent pas la richesse de leurs homologues terrestres.

> *“La biodiversité, c'est la fraction vivante de la nature qui appartient à la Terre”*

➔ DANS QUELS SECTEURS LES ESPÈCES SONT-ELLES ENCORE MÉCONNUES ?

Partout. Et en particulier, dans le profond, évidemment.

On se rend compte que le littoral est très riche – et l'on revient à ces questions d'origine de la vie –, parce que le rivage se féconde, s'enrichit en permanence par ce qui provient de la terre, les apports terrigènes. Finalement, c'est là que le système se développe le plus, il y a infiniment plus d'espèces en bordure des continents que dans le grand large océanique. Regardez une mappemonde : on dit toujours que l'Océan occupe 71% de la superficie de la Terre, c'est vrai, mais il faut aussi considérer l'Océan en volume : 99% de son volume est offert à la vie, avec d'énormes réservoirs où il n'y a pas grand-chose et d'autres, extrêmement riches.

Aujourd'hui sur la Terre, tout compris, la grande forêt tropicale est le réservoir d'espèces le plus important avec trois grands bassins : celui du Congo en Afrique ; en Asie, les deux grandes îles que sont la Papouasie-Nouvelle Guinée et Bornéo, et l'Amazonie, en Amérique.

Dans l'Océan, le récif corallien est le plus riche. Avec moins de 1% en surface, il abrite plus du tiers des espèces connues aujourd'hui.

Glossaire

Phénotypiques (caractères)
Ensemble des caractères apparents d'un individu.

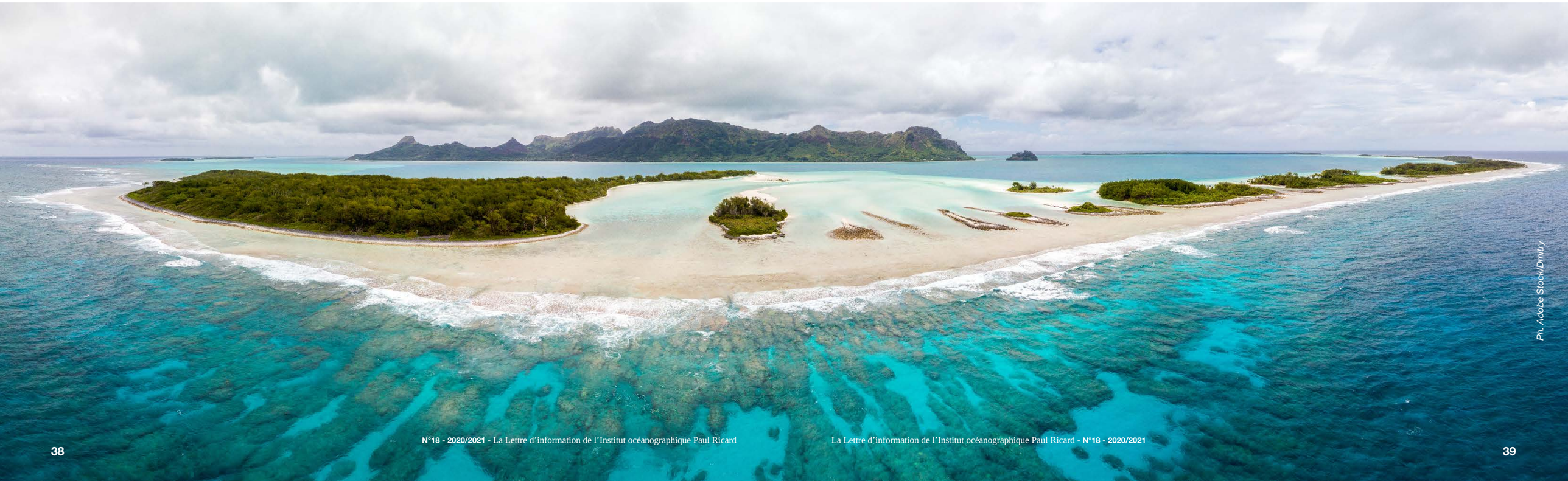
Isolat
Petit écosystème complètement isolé qui abrite une biocénose n'ayant aucun échange génétique avec le reste du monde et menacée par le confinement : par exemple une île, un lac, un massif montagneux, une oasis…

➔ À CE STADE DE NOTRE ENTRETIEN, COMMENT PEUT-ON DÉFINIR LA BIODIVERSITÉ ?

J'ai formulé une idée très simple dans ma leçon inaugurale au Collège de France : la biodiversité, c'est tout simplement la fraction vivante de la nature qui appartient à la Terre. Elle naît le jour de l'apparition de la première cellule dans l'Océan et, après, son histoire est celle de la diversification : des bactéries vers les protistes, les champignons, les plantes et les animaux en mer et sur la Terre. Donc, la biodiversité est aussi l'ensemble de toutes les relations que les êtres vivants ont établies entre eux et avec l'environnement.

>>

L'île de Raivavae et son remarquable récif corallien, dans l'archipel des Australes (Polynésie française).

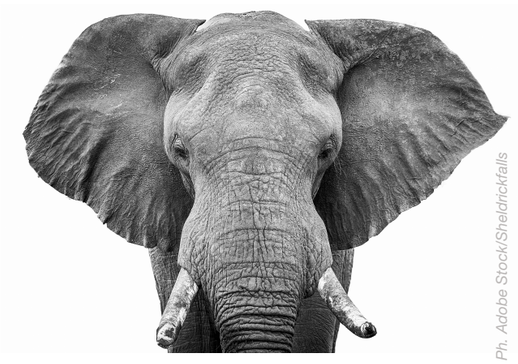


Ph. Adobe Stock/Dmitry

2/ Effondrement de la biodiversité marine, les facteurs et leurs effets

Ph. Adobe Stock/Amit

“Nous avons tué la moitié des girafes, des éléphants, des lions, des guépard et des tigres”


Ph. Adobe Stock/Sheldrickfalls

Ph. Adobe Stock/AB Photography

➔ SELON LA PLATEFORME INTERGOUVERNEMENTALE SCIENTIFIQUE ET POLITIQUE SUR LA BIODIVERSITÉ ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES (IPBES), UN MILLION D'ESPÈCES ANIMALES ET VÉGÉTALES RISQUENT DE DISPARAÎTRE DANS LES PROCHAINES DÉCENNIES DE LA SURFACE DE LA TERRE ET DU FOND DES OCÉANS. APPROUVEZ-VOUS CE CHIFFRE-CHOC ?

Non, je ne l'aurais jamais formulé comme cela. D'abord, parce que l'on ne connaît pas le nombre exact d'espèces. J'ai parlé de plus de deux millions d'espèces connues. Je pense qu'il y en a 10 fois plus, ce qui en ferait 20 millions sur la Terre : Océan et continents compris.

Où sont passés les 18 millions qui manquent ? Et depuis 20 ans, rien ne change : chaque année, entre 16 000 et 18 000 espèces nouvelles sont décrites. Elles ne sont pas apparues, elles n'étaient tout simplement pas encore connues. Au rythme actuel des descriptions, il faudra 1000 ans pour établir un catalogue complet des espèces existantes !

En revanche, et là où je suis en accord avec l'IPBES, c'est qu'au rythme actuel de la disparition d'espèces, nous allons en perdre la moitié avant la fin de ce siècle.

“Globalement, l'humain crée aujourd'hui des contraintes qui amènent le vivant à disparaître”

Une énorme partie de la biodiversité risque effectivement de disparaître à une échéance assez brève. Concernant les grands animaux, nous avons tué la moitié des girafes, des éléphants, des lions, des guépards et des tigres en 40 ans. Il reste 2% de baleines arctiques et antarctiques, les baleines franches. Pour les stocks de poissons, la situation est tout aussi préoccupante. Et, bien sûr, nous n'avons aucune idée sur la situation des champignons, des bactéries…

Globalement, l'humain crée aujourd'hui des contraintes qui amènent le vivant à disparaître.

➔ CERTAINS SCIENTIFIQUES PARLENT D'UNE SIXIÈME EXTINCTION DE MASSE DES ESPÈCES MARINES ET CONTINENTALES. QU'EN PENSEZ-VOUS ?

Le mot extinction ne me plaît pas trop parce que si des extinctions d'espèces ont réellement eu lieu dans un passé lointain, aujourd'hui, il s'agit plutôt d'un effondrement du nombre d'individus dans les populations vivantes sauvages et une prolifération des animaux domestiques. Il est scientifiquement démontré que nous n'avons jamais eu autant de chats, de chiens, de poulets, de cochons et de vaches… Selon Franck Courchamp, écologue de l'Université Paris-Sud Orsay : *« Le seul gros animal qu'il restera demain, c'est la vache »*. C'est assez affligeant, tout de même !

Pour revenir à votre question, des collègues géologues – Anthony D. Barnosky et ses collaborateurs –, posaient en effet cette question dans la revue *Nature*, dès mars 2011 : *« Sommes-nous en train de créer les conditions de la sixième grande crise d'extinction ? »*

Le vivant a traversé 60 crises d'extinction des espèces depuis 800 millions d'années, dont cinq ont été répertoriées comme majeures.

La troisième, entre la fin de l'ère primaire et le début de l'ère secondaire, a fait disparaître 95% des espèces marines et 70% des espèces continentales. La dernière, la cinquième, que l'on connaît bien, a vu l'extinction des dinosaures, il y a 65,5 millions d'années.

Pour les géologues, une crise d'extinction est la disparition d'au moins les trois-quarts des espèces dans l'Océan et sur les continents, en un temps relativement bref à l'échelle géologique.

Aujourd'hui, par exemple, il existe 700 espèces d'oursins connues sur notre planète. Seulement deux espèces ont réussi à passer de l'ère primaire à l'ère secondaire. Ce qui veut dire que les 700 espèces qui vivent aujourd'hui sont issues de ces deux espèces survivantes de la crise d'extinction. C'était vraiment limite, limite… Les trilobites, eux, ont définitivement disparu, les coraux tabulés [(7)], aussi.
Donc, encore une fois, il faut les bons gènes et de la chance… Les oursins sont passés, pas les trilobites.

Ph. DR

Fossile de trilobite – Ces arthropodes marins ont existé durant le Paléozoïque (ère primaire), du Cambrien au Permien. Les derniers ont disparu, il y a 250 millions d'années.

Il est vrai que nous vivons une situation qui rappelle par endroits ce qui est survenu avec les grandes crises d'extinction, mais c'est différent. Aujourd'hui, il s'agit d'un effondrement continu et accéléré de la biodiversité marine qui est causé essentiellement par les impacts de l'activité humaine [voir en page 42 : *Le vivant en péril – Menace accélérée d'extinctions*].

>>

(7) Les coraux tabulés constituent un ordre éteint de coraux solitaires. Abondant de l'Ordovicien au Permien, ce groupe a disparu lors de l'extinction massive du Permien.

Ph. Adobe Stock/roggui

Éclairage

LE VIVANT EN PÉRIL

MENACE ACCÉLÉRÉE D'EXTINCTIONS

La Liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) dresse l'inventaire mondial de l'état de conservation global des espèces végétales et animales de la planète. La dernière édition (version 2021) établit un bilan des espèces menacées d'extinction, par groupes :

41% **des amphibiens**

14% **des oiseaux**

26% **des mammifères**

36% **des requins et des raies**

33% **des coraux constructeurs de récifs**

On estime que *40%* de l'écosystème maritime sont fortement altérés

(sources : uicn.fr et IPBES)

Ph. Adobe Stock/D. Brandelet

Les populations de requins-marteaux, ici une concentration aux Galapagos, ont diminué de 50% au cours de ces dix dernières années.

>>

➔ QUELS SONT LES FACTEURS DE L'EFFONDREMENT ACTUEL DES ESPÈCES MARINES ?

Cet effondrement est lié à la bêtise humaine. Les causes sont diverses et très connues, mais elles sont toutes rattachées à l'activité humaine.

• **Nous détruisons le littoral**, qui est particulièrement riche en espèces de divers groupes.

• **Nous polluons tout, partout,** c'est dramatique : rejet d'eaux usées non traitées, dispersion de pesticides, d'insecticides et de métaux lourds…, plastiques (1) charriés par les fleuves jusqu'à l'Océan…

Regardez le cas du chlordécone, un insecticide qui a été utilisé dans les Antilles françaises entre 1972 et 1993 pour lutter contre le charançon du bananier. Pour gagner quelques centimes sur le prix du kilo de bananes, l'environnement a été empoisonné pour deux siècles. Les « fruits de mer » peuvent être menacés.

• **Nous surexploitons les ressources vivantes :** pêcher c'est très bien, surpêcher c'est stupide, car on tue en permanence *« la poule aux œufs d'or »*.

La situation mondiale est très préoccupante : en 15 ans, on a extirpé de l'Océan entre 50 et 90% de tous les grands individus des poissons pélagiques ! Les trois-quarts des stocks sont pleinement exploités ou surexploités. Le vivant a dû s'adapter : en Méditerranée, en raison d'une surpêche, le merlu se reproduit à deux ans au lieu de quatre. Les juvéniles sont beaucoup plus petits !
En France, le cas du saumon (2) est incroyable : ce poisson était pêché quand il remontait les rivières, juste avant… qu'il ne se reproduise ! Une autre espèce emblématique est en cours d'extinction dans notre pays : l'esturgeon européen (3). Aujourd'hui, il n'en reste même pas une centaine dans la nature, alors que ce poisson était abondant dans la Dordogne et la Garonne. Il a disparu parce qu'il a été trop pêché et que l'on a pollué son environnement. Même sort pour le dauphin d'eau douce (4) du Yang-Tsé-Kiang, en Chine. Selon l'UICN (données de 2017), il est en danger critique d'extinction, voire éteint.

Les raisons principales du déclin fulgurant des populations en 50 ans sont la pollution, une modification de l'habitat du cétacé et une pêche intensive.

• **Nous disséminons de tout, partout** [8]

Un pétrolier géant qui pompe 300 milles tonnes d'eau de mer pour remplir ses ballasts à Rotterdam et qui les rejette à Abou Dabi ou à Oman, bourrés de bactéries, de virus et de microalgues, c'est vraiment un problème dramatique. Autre exemple : en Méditerranée, dans les années 1980, une micro-méduse – le cténophore *Mnemiopsis leidyi* – arrive accidentellement en mer Noire dans les eaux de ballast d'un bateau américain. Manque de chance pour l'environnement immédiat, cet animal s'installe sans ses parasites et sans ses prédateurs. Les populations explosent et, pour se nourrir, les méduses entrent en compétition avec les anchois, dont elles font chuter les stocks. Un déclin drastique de la pêche est enregistré dans la région.

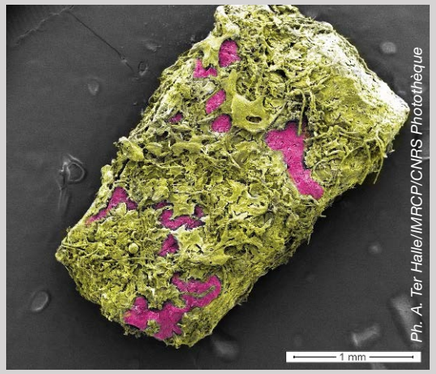
• **Le climat change trop vite**, avec deux réactions immédiates.

Quand la température de l'Océan augmente, le métabolisme de l'être vivant augmente : il respire plus, prend plus d'oxygène, alors qu'il y en a de moins en moins dans l'eau.
Seconde réaction immédiate, il migre pour ne pas être mal à l'aise : dans l'hémisphère Nord, il va vers le nord ; dans l'hémisphère Sud, il se dirige vers le sud.
S'il n'a pas de barrière, le vivant part vers des régions qui lui sont plus favorables. Les lançons (5) quittent la Normandie pour la mer du Nord ; les anchois sortent de Méditerranée et remontent vers le nord. Cela pose problème dans cette mer quasi-fermée. Comment vont réagir les espèces ? Aucune pancarte ne leur indique la sortie. Et d'autant que les espèces entrent beaucoup plus en Méditerranée qu'elles n'en sortent par le canal de Suez. Ne reste que le détroit de Gibraltar pour s'échapper…

Tous ces impacts en peu de temps, convenez que cela fait beaucoup pour le vivant.

>>

(8) Selon Philippe Goulletquer, directeur scientifique adjoint de l'Ifremer 325 cas d'espèces introduites, aussi appelées « non indigènes », *ont été recensés sur les côtes françaises. Elles sont arrivées principalement fixées sur les coques des navires pour les algues et les mollusques ou elles ont été relarguées avec les eaux de ballast pour le phytoplancton, des larves, des bactéries… 60 % des espèces introduites dans le monde transitent par cette voie* (source : Reporterre, 16 novembre 2016).



Ph. A. Ter Halle/IMROP/CNRS Photothèque

Glossaire

Gyres océaniques
Immenses tourbillons d'eau que l'on trouve dans les océans et qui résultent de la combinaison d'un ensemble de courants marins. Ils sont provoqués par les vents à la surface des océans et la rotation de la Terre (via la force de Coriolis). Ils tournent donc dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord et dans le sens contraire dans l'hémisphère Sud.
Ces tourbillons (ou vortex) entraînent tous les objets et débris de plastique flottant à la surface de l'eau et favorisent leur accumulation d'année en année.

Anadrome (espèce)
Espèce vivant en mer et se reproduisant en eau douce.

(1) *Débris de plastique collecté dans le gyre océanique* de l'Atlantique Nord, où s'accumulent les déchets plastiques flottants – Cette matière se fragmente en petits morceaux qui sont très colonisés. Les petits radeaux peuvent transporter des espèces potentiellement invasives. Ils parcourent des milliers de kilomètres pendant des années* (Expéditions 7e Continent/2014. Observation en microscopie électronique à balayage, image colorisée – taille : un millimètre).

Ph. Adobe Stock/jamie

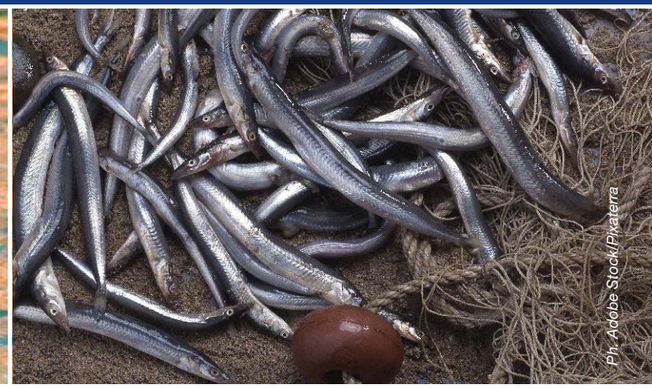
(2) *Saumon atlantique,* Salmo salar *– Protégé en France depuis 1988, il a disparu de la plupart de nos cours d'eau, victime d'une pêche excessive et de la construction de barrages. Grâce à un plan de sauvegarde et de repeuplement, ce saumon sauvage a pu se maintenir dans la Loire et son affluent l'Allier, ainsi que dans d'autres cours d'eau comme l'Adour.*

Ph. Adobe Stock/Vladimir Wrangel

(3) *Esturgeon d'Europe,* Acipenser sturio *– Le plus grand poisson migrateur anadrome* de France a connu une forte régression des populations qui l'a conduit au bord de l'extinction. Aujourd'hui, il fait l'objet d'un plan de sauvetage avec, entre autres, un rempoissonnement à partir d'élevages.*

Ph. Adobe Stock/kanjovit

(4) *Dauphin de Chine,* Lipotes vexillifer *– Surnommé le* Baiji, *c'était l'un des rares cétacés à vivre en eau douce.*



Ph. Adobe Stock/Pixaterra

(5) *Lançon équille,* Ammodytes tobianus. *Ces anguilles de sable se pêchent surtout à l'aide de sennes à mailles très fines ou à l'aide de râteaux. Elles peuvent servir d'appâts pour la pêche aux bars, turbots, maquereaux, congres...*

3/ Les moyens d'enrayer l'effondrement de la biodiversité marine

➔ PEUT-ON ENRAYER L'EFFONDREMENT DU VIVANT ?

Pour répondre à cette question, j'utilise souvent une image. Qu'est-ce que l'on mange ? On ne mange pas de quartz, on ne mange pas de chaussures…, on se nourrit exclusivement de la biodiversité. Et surtout l'humain coopère avec elle.

Le corps humain, c'est autant de bactéries que de cellules humaines. Un arbre concentre plus de biomasse de bactéries ou de micro-organismes que de cellules d'arbre. Donc, nous ne pouvons pas nous passer de la biodiversité. Je le dis à qui veut l'entendre : chaque matin, nous nous réveillons après avoir dormi avec un à deux millions d'acariens dans notre lit. Si nous admettons de faire partie du vivant et ne pas être en marge, cela change tout, parce que si nous l'agressons, nous nous auto-agressons. Nous devons en être conscients.

Si la biodiversité s'effondre, nous n'aurons plus rien à manger et avec qui allons-nous coopérer demain ? Et l'on ira jusqu'à s'exposer à l'émergence de situations qui conditionneront l'apparition de maladies [9].

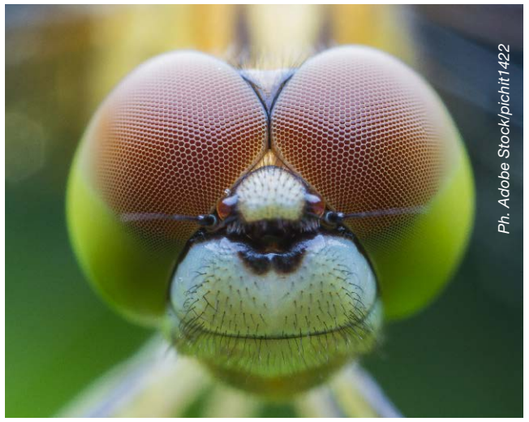
Il est vrai que nous vivons aujourd'hui un effondrement des espèces, dans un irrespect total de quelque chose qui est pourtant indispensable. L'humain doit admettre qu'il n'est pas à côté de la nature, mais dedans.

> *« Si nous admettons faire partie du vivant et ne pas être en dehors, alors cela change tout »*

➔ LE RECOURS AUX SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE PEUT-IL SERVIR AU MIEUX LA PRÉSERVATION ET LA GESTION SOUTENABLE DE LA BIODIVERSITÉ ?

Bien sûr, c'est beaucoup plus intelligent.

Je prends souvent pour exemple la libellule. Elle pèse deux grammes, mais elle vole à 100 kilomètres/heure avec deux watts d'énergie ! Elle encaisse 30 « g » en accélération, presque trois fois la pression subie par un pilote de chasse. En plus, l'insecte voit 300 images par seconde à 360°. Mais comment fait-elle ?



La libellule est pourvue d'énormes yeux, par rapport à sa taille. Comme tous les insectes, ces yeux sont composés, c'est-à-dire qu'ils présentent chacun près de 30 000 facettes, qui cachent en réalité des petits yeux simples, appelés ommatidies (récepteurs sensibles à la lumière). Les yeux composés ont évolué il y a très longtemps. On en trouve sur les premiers arthropodes présents dans les schistes de Burgess (Cambrien) et également sur les trilobites.

Depuis plusieurs centaines de millions d'années, une microalgue du plancton marin, une diatomée, se fabrique à température ambiante une carapace protectrice en verre à partir de la silice dissoute dans l'eau. Dans l'industrie, il faut chauffer le sable siliceux à une température de 1550°C pour obtenir le même résultat.

De petites éponges siliceuses élaborent un béton armé qui est beaucoup plus léger et plus résistant que celui que nous utilisons. L'agencement en peau d'oignon des couches de silice empêche la fissuration. Un tel bio-matériau peut se déformer et reprendre sa forme initiale.

En Méditerranée, les herbiers de Posidonies sont cinquante fois plus performants que la forêt tropicale pour stocker du carbone. C'est super intéressant. On replante des arbres, replantons des Posidonies !

Que l'humain s'inspire du vivant ! Pour moi, la bio-inspiration est l'outil le plus puissant qui soit. Cela signifie qu'il faut chercher dans le vivant des réponses technologiques à nos questions.

Aujourd'hui, cette approche est l'une des plus intéressantes pour faire beaucoup mieux que l'on ne sait faire. Le vivant a eu beaucoup de temps pour expérimenter et il a dû relever tellement de défis avant nous. Il a quatre milliards d'années de recherche et développement. Mais pour en tirer parti, il faut tuer notre arrogance, tuer notre imprévoyance et se dire : *« Comment le vivant aurait-il fait dans ma situation ? »*.

Le vivant innove en permanence. Le vivant ne produit jamais une substance qu'il ne sait pas dégrader. Il fait des poisons horribles comme le venin de cône marin, mais il invente des façons de les éliminer.

Le vivant fait tout avec une énorme économie d'énergie.

Le vivant ne produit jamais un déchet pour lequel il n'a pas d'acheteur, alors que nous avons inventé 150 000 molécules depuis les années 1950. Le vivant est incapable de les recycler et nous non plus. Et tous ces polluants nous empoisonnent, comme les redoutables perturbateurs endocriniens dont on ne sait que faire.

Stoppons une économie stupide et suicidaire qui consiste à faire du profit en détruisant la nature et en la surexploitant. À ce prix-là, on peut encore gagner la bataille du vivant.

> *« Stoppons une économie stupide et suicidaire qui consiste à faire du profit en détruisant la nature et en la surexploitant »*

➔ LE DÉVELOPPEMENT D'AIRES MARINES PROTÉGÉES VA-T-IL DANS LE MÊME SENS DE GESTION SOUTENABLE DE LA BIODIVERSITÉ ?

Oui, c'est une bonne idée [10]. Mais les AMP qui marchent sont celles où des moyens sont injectés pour empêcher les impacts délétères dont on a déjà parlé : la surpêche, et même toute forme de pêche, la pollution, la dissémination d'organismes exogènes…

Les espèces qui évoluent dans ces milieux protégés gardent aussi des capacités à mieux résister au changement climatique, elles migrent moins que d'autres. Mais les réserves marines destinées à protéger une espèce particulière vont, à terme, la voir disparaître et être remplacée par d'autres manifestations du vivant.

➔ LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX NATURELS EST-ELLE AUSSI UNE AUTRE VOIE ?

Cela va dans le même sens.

Ce qui m'intéresse dans la restauration des écosystèmes dégradés, c'est son coût. Il revient toujours beaucoup plus cher que si l'on avait veillé à ne pas détruire l'environnement. Et j'en viens à la résilience des écosystèmes, c'est-à-dire le fait qu'après un traumatisme, une agression, un écosystème revient à un état plus ou moins proche de celui qui était le sien auparavant.

Mais n'oublions jamais une chose : il est impossible de résilier lorsque l'on est mort. Arrêtons de détruire, c'est très important. L'Océan est très puissant en terme de résilience, il faut le préserver.

➔ NOUS LE VOYONS, CERTAINES SOLUTIONS EXISTENT MAIS FACE AU POUVOIR DESTRUCTEUR DE L'HOMME, EST-IL POSSIBLE D'INVERSER LA TENDANCE ?

Oui, j'y crois. Je dis souvent qu'il est trop tard pour être pessimiste, il fallait l'être avant. Résolument, il faut prendre le problème à bras le corps.

Je m'oppose aux collapsologues, qui sont en train de dégoûter mes étudiants. *« Tout est perdu, on ne peut plus rien faire »*, disent-ils. C'est faux ! Mais plus on attend, plus ce sera difficile, plus cela coûtera cher et amènera de la souffrance.

>>

(9) Entre 1940 et 2004, 300 maladies nouvelles sont apparues chez l'homme. Elles sont liées soit à l'effondrement du vivant, soit au changement climatique (source : L'effondrement de la biodiversité a-t-il une incidence médicale ?, *par Bernard Swynghedauw, Espèces n°5, septembre 2012).*

(10) L'idée de protéger la biodiversité dans des espaces dédiés est née au 19e siècle aux Etats- Unis : le premier parc national date de 1872 avec Yellowstone, connu pour sa biodiversité, ses nombreux écosystèmes et ses geysers. En Europe, la Suède a été un pays précurseur en créant 9 parcs nationaux dès 1909. La France a suivi tardivement, avec son premier parc national terrestre, la Vanoise, et le premier parc marin européen, Port-Cros, en 1963.

>>

➔ PENSEZ-VOUS QUE L'ON PEUT ENCORE RÉTABLIR DES HARMONIES TROUBLÉES ?

J'y crois très fort, sinon j'arrêterais mes cours et mes conférences. Les jeunes y croient aussi. Mais pour les rassurer, il faut faire beaucoup plus que de leur demander de couper l'eau du robinet quand ils se lavent les dents. Il faut vraiment aller vers des choses tangibles, aborder des sujets importants, forts et emblématiques.

Depuis quelques années, je pense que la jeunesse actuelle l'a compris avec un aspect qui me plaît énormément : pour elle, l'argent n'est pas le seul intérêt. C'est le bien-être, le bien-vivre, l'échange, l'harmonie que vous avez évoquée. C'est très encourageant.

> *“Il faut retrouver de l'amour”*

Je pense que l'horizon 2040 est vraiment à risques. Alors, aidons les jeunes à mettre le pied à l'étrier, écoutons-les, partageons avec eux. Et demain, le leitmotiv, le bon sens de la vie ne sera pas l'argent, mais le bien-être et le plaisir. Il faut retrouver de l'amour. ■

Entretien avec Christian Frasson-Botton
Février 2020

Photo ci-contre : Aire marine protégée de la baie de Gokova (Turquie) – La gestion communautaire de la pêche artisanale a été distinguée par la Commission Générale des Pêches pour la Méditerranée comme étant la meilleure pratique en matière de pêche artisanale en Méditerranée et en mer Noire.

À LIRE

• *Jamais seul*, Marc-André Selosse, Actes Sud, 2017.

• *L'adaptation au changement climatique*. Sous la direction de A. Euzen, B. Laville et S. Thiébault, CNRS Éditions, 2017.

• Collectif, *L'océan à découvert*, CNRS Éditions, 2017.

• *L'Homme peut-il accepter ses limites ?* Sous la direction de G. Boeuf, B. Swynghedauw et J.- F. Toussaint, Éditions Quae, 2017.

• *Comment la vie a commencé, les trois genèses du vivant*, Alexandre Meinesz, Éditions Belin, Collection Alpha, 2016.

• *Océan, biodiversité et climat*. Fiche pour la Plateforme Océan et climat, ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Fondation de France, 2015.

• *La biodiversité, de l'Océan à la cité*, Gilles Boeuf, Fayard, Collège de France, Leçons inaugurales, 2014.

• *Vulnérabilité du système océanique*, Gilles Boeuf, sous la direction de A. Monaco et P. Prouzet, Hermès, ISTE Éditions, Collection Mer et Océan, 2014.

• *Biodiversité en environnement marin*, Philippe Goulletquer, Philippe Gros, Gilles Boeuf, Jacques Weber, Éditions Quae, 2013.

• *La vie est belle, les surprises de l'évolution*, Stephen Jay Gould, Editions du Seuil, Science ouverte, 1991.

Ph. Adobe Stock/anemone

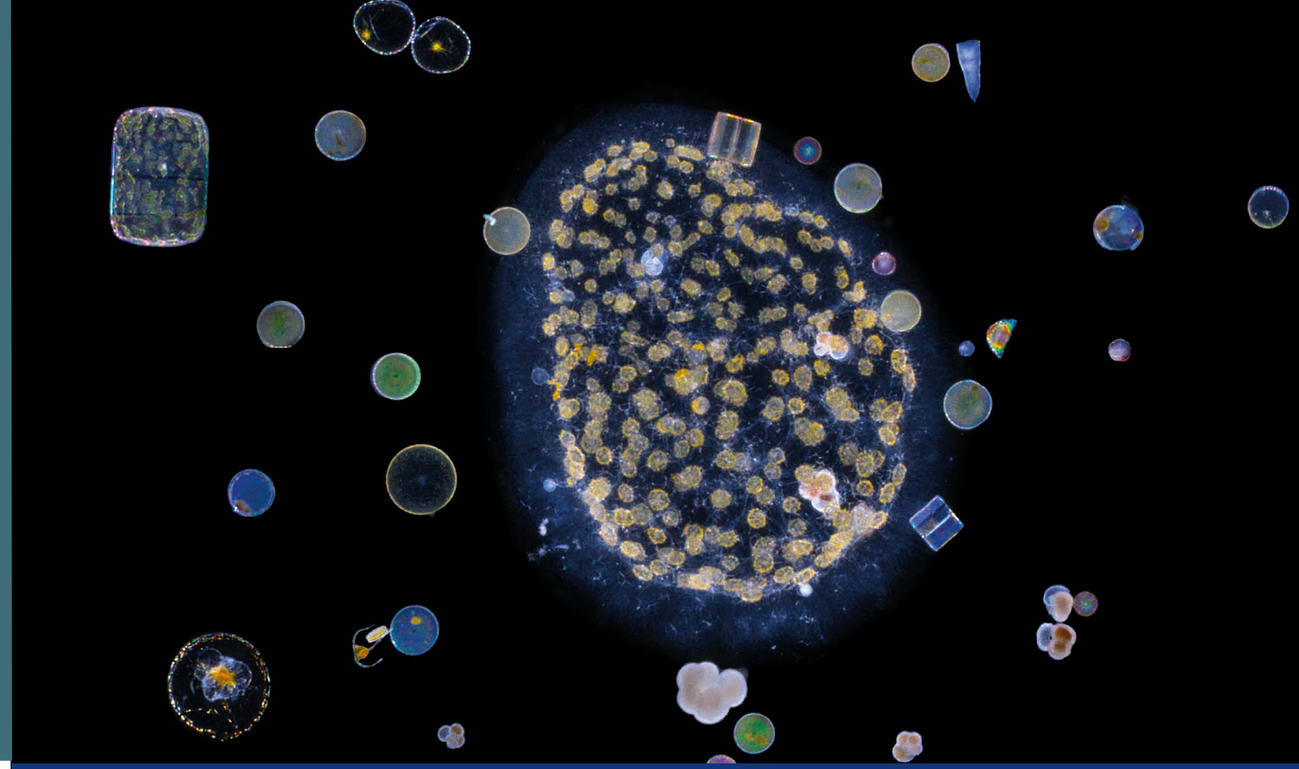
ENTRETIEN AVEC

COLOMBAN DE VARGAS

Directeur de recherche CNRS à la Station biologique de Roscoff
Coordinateur de l'Expédition Tara Oceans et du projet OCEANOMICS
Directeur de l'Unité CNRS Tara Oceans GO-SEE

« Nous connaissons seulement un infime pourcentage de la diversité biologique des espèces »

Ph. C. F.-B.



Large éventail de formes et de couleurs pour ces protistes de l'océan Atlantique. Présentes dans tous les océans du globe, ces cellules complexes dites eucaryotes formeraient l'une des composantes essentielles du plancton marin et joueraient un rôle majeur dans la régulation de la machine climatique.*

PARCOURS

1971
Naissance à Paris.

1995
Master of Science (MSc) dans les `
îles Tuamotu, en Polynésie.

2000
Doctorat en évolution moléculaire et phylogénétique, Université de Genève (Suisse).

2000-2002
Post-doctorat à l'Université de Harvard (États-Unis), sur la génétique des populations et la micropaléontologie.

2003-2006
Professeur Assistant à l'Université de Rutgers, Etats-Unis.

2006
Rejoint le CNRS pour créer l'équipe EPEP (Évolution des Protistes et Écosystèmes Pélagiques) à la Station biologique de Roscoff.

2009-2012
– Coordonnateur du projet EU *BioMarKs* – Biodiversity of Marine euKaryotes ;
– À l'origine de l'Expédition Tara Oceans avec Éric Karsenti, Gaby Gorsky et Chris Bowler.

2013
Coordinateur scientifique du projet Investissement d'avenir OCEANOMICS.

2017
Grand prix des sciences de la mer de l'Académie des sciences.

EXPÉDITION TARA OCEANS

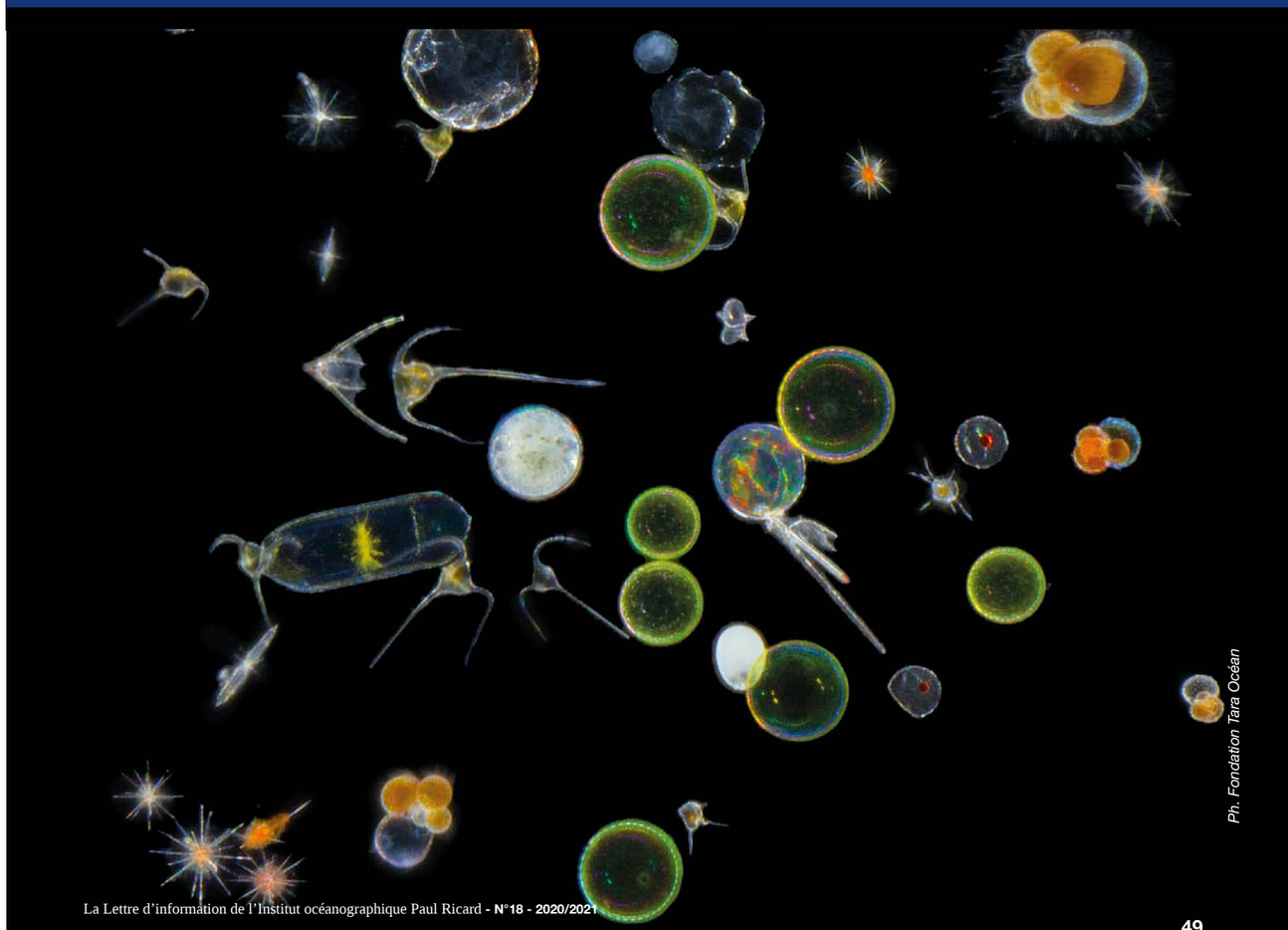
PLANCTON OCÉANIQUE DES DÉCOUVERTES FONDAMENTALES QUI VONT ÉCLAIRER LE MONDE ET L'AVENIR DU CLIMAT

1 /
EXPÉDITION TARA OCEANS
LE RÊVE FOU DE QUANTIFIER ET DE MODÉLISER L'ÉVOLUTION ET L'ÉCOLOGIE DU PLANCTON OCÉANIQUE

2 /
TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS DE PLANCTON
UNE BASE DE DONNÉES EXCEPTIONNELLE

3 /
PREMIERS RÉSULTATS
RÉVÉLATION D'UNE BIODIVERSITÉ INCONNUE ET INSOUPÇONNÉE

Les mots marqués d'un astérisque (*) sont définis dans un glossaire.



Ph. Fondation Tara Océan

1/ Expédition Tara Oceans
Le rêve fou de quantifier et de modéliser l'évolution et l'écologie du plancton océanique

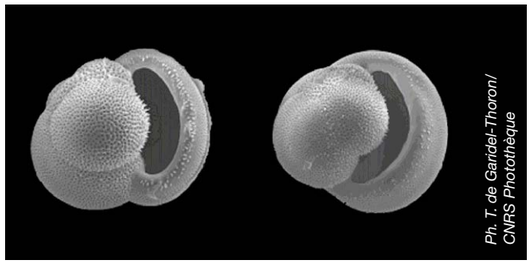
➔ QU'EST-CE QUI VOUS A ORIENTÉ VERS L'ÉTUDE DU PLANCTON ?

En fait, le plancton m'a attiré parce que je suis un passionné de géologie, une science qui retrace l'histoire de la Terre. Ainsi, dans le plancton, certains microorganismes eucaryotes sont capables de concentrer certains éléments de l'eau environnante pour fabriquer des squelettes de toute sortes de matières, par exemple en carbonates de calcium pour les coccolithophoridés*, ou bien en silicates – composants du verre – pour les diatomées*.

Au cours de leur cycle de vie, ces petites cellules finissent par tomber et s'accumuler sur le fond. Là, se trouvent parfois des couches de centaines de mètres de ces petits squelettes fossiles.

Peu de gens le savent, et quand on parle fossiles, les gros organismes comme les dinosaures viennent souvent à l'esprit. En fait, le plus beau témoignage de l'histoire de la planète est écrit au fond de l'eau et des océans.

J'ai toujours été fasciné par ce que pouvaient révéler ces archives fossiles* du fond de l'eau, et j'ai donc commencé à étudier les espèces vivantes qui donnent naissance à ce parchemin de l'histoire de notre planète.



Ph. T. de Garidel-Thoron/ CNRS Photothèque

Foraminifères prélevés dans l'océan Pacifique subtropical correspondant à l'espèce Pulleniatina obliquiloculata*. Ces microfossiles calcaires datant d'environ 180 millions d'années (ère secondaire) sont étudiés par les paléontologues pour reconstituer les climats anciens.* Observation au microscope électronique à balayage.

Plusieurs groupes du plancton sont d'excellents microfossiles vivants, je leur ai consacré beaucoup de temps. Après une thèse sur l'évolution des foraminifères – un groupe de microfossiles – je me suis penché sur les coccolithophores*, des petites algues que j'observais au microscope *(voir photos)*. Ensuite, je me suis intéressé au groupe des diatomées.

> *“Le plus beau témoignage de l'histoire de la planète est écrit au fond de l'eau et des océans”*

Ph. L. Beaufort/CEREGE/ CNRS Photothèque

Coccolithophore de l'espèce Emiliania huxleyi *– Ces algues unicellulaires planctoniques et calcifiantes sont un maillon important du cycle du carbone océanique. Une étude de leur morphologie en milieu naturel a permis de documenter les changements de calcification au cours des derniers 40 000 ans dans les différents océans. Les résultats montrent qu'en général, les coccolithophores calcifient moins quand les eaux marines sont plus acides. Cela tend à démontrer que le phytoplancton calcaire pourrait subir de forts changements dans les prochaines décennies si l'acidification des océans s'accélère.* Observation au microscope électronique à balayage.

➔ AVEZ-VOUS POURSUIVI VOTRE CARRIÈRE EN ASSOCIANT CETTE FASCINATION POUR LE PLANCTON ET LES MICROFOSSILES VIVANTS ?

Très vite, en fait, il s'est produit un petit miracle, un croisement de chemins de vie comme souvent dans l'existence. Un scientifique éminent en biologie cellulaire, Éric Karsenti, avait passé une grande partie de sa vie à savoir comment fonctionne une cellule. Très grand marin, il avait aussi l'envie de faire un peu une « folie » de fin de carrière. Un jour, Éric rencontre les propriétaires de la goélette Tara – la famille de créatrice Agnès b. -, qui lui disent : *« On vous confie le bateau, mais il faut que vous organisiez une expédition scientifique. »*

À l'époque, Éric Karsenti souhaitait se mettre en retrait de la science et envisageait plutôt de raconter ce qu'il avait compris de la vie et du vivant. Et le voilà embarqué dans une vraie aventure scientifique.

Le biologiste commence à consulter des collègues susceptibles de l'accompagner dans cette aventure. Ainsi, se forme autour de lui un petit groupe de gens, dont je fais partie, tous choisis, eux aussi, pour leur douce « folie » [(1)].

Très vite, nous avons pris conscience que l'objectif de l'expédition était d'essayer de comprendre le plancton dans sa globalité. En 2009, c'était un rêve un peu fou de vouloir passer de l'échelle cellulaire à l'échelle planétaire en appliquant les principes de science holistique* de l'auto-organisation. Il s'agissait d'une nouvelle approche pour l'océan, considérant l'ensemble des composants vivants de l'écosystème qui s'organisent en fonction de leur environnement. >>

(1) Voir la composition de l'équipe de scientifiques dirigée par Éric Karsenti sur oceans.taraexpedition.org

Glossaire

Coccolithophores
Présents sur Terre depuis plus de 200 millions d'années, les coccolithophores sont des petites algues unicellulaires exclusivement marines. Elles font partie du nanoplancton, avec une taille comprise entre 5 et 50 micromètres, et sont caractérisées par des plaques microscopiques calcaires, ou coccolithes, qui les recouvrent entièrement. Leur sédimentation au fond de la mer a créé les couches géologiques crayeuses du Crétacé. Ces coccolithes servent aussi de traceurs, car ils gardent en mémoire la température des eaux de surface des 3000 dernières années.

Diatomées
Algues brunes unicellulaires microscopiques dont la membrane est entourée d'une coque siliceuse. Elles sont présentes en eaux douces comme en eaux salées. Ce sont les organismes les plus représentés dans le plancton.

Archive fossile
Matériau qui porte les traces d'un phénomène « ancestral », antérieur même à l'émergence de la vie.

Holistique (science)
Prise en compte d'une chose dans sa totalité, sans la diviser en parties.

> *“Finalement, on vit sur cette planète grâce à une énorme quantité de petits organismes de biodiversité”*
>
> **Romain Troublé**
> Directeur général de la Fondation Tara Océan
> *France tv nature/9 juin 2020*

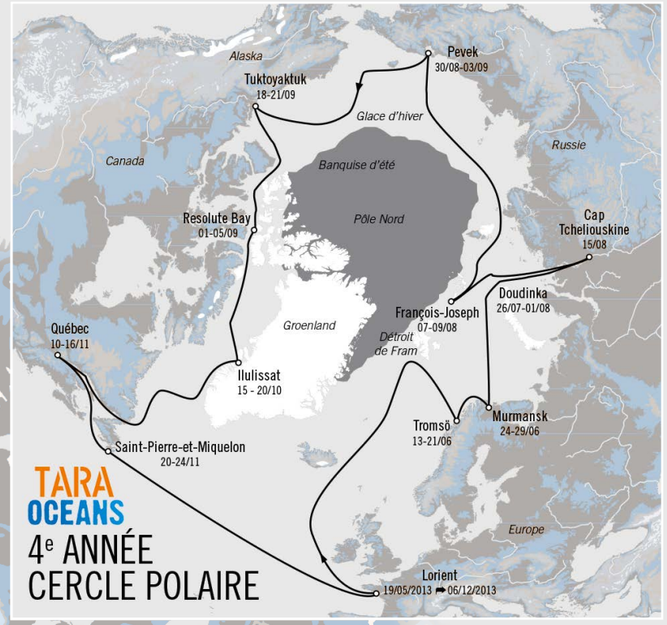
Ph. S. Bollet/FondationTaraOcéan

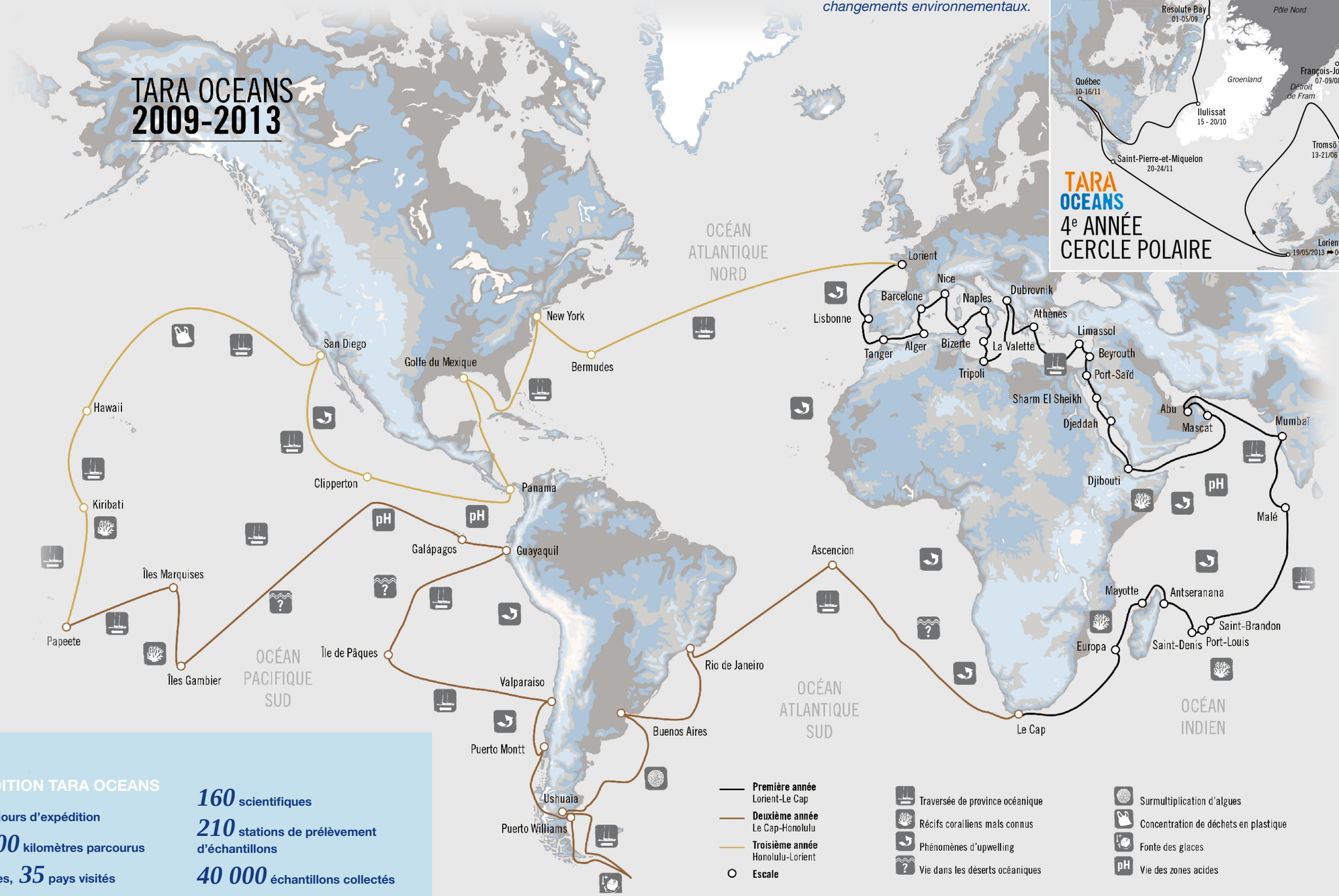
Ph. F. PLAS/IBENS/CNRS Photothèque

La goélette à deux mâts Tara *est un laboratoire flottant de 36 mètres de long.*
Eric Karsenti, médaille d'Or et directeur de recherche émérite du CNRS – Sa carrière est marquée par des découvertes majeures, notamment sur la régulation du cycle cellulaire, c'est-à-dire les mécanismes permettant aux cellules de se diviser. À l'origine de l'Expédition Tara Oceans, il en a assuré la direction scientifique.

> *“L’idée était de caractériser de façon exhaustive les écosystèmes planctoniques : des virus jusqu’aux animaux”*

La goélette Tara *a parcouru la planète lors des Expéditions* Tara Oceans, *puis* Tara Oceans Polar Circle *pour comprendre la structure globale des écosystèmes planctoniques et coralliens, et leurs variations en réponse aux changements environnementaux.*





Éclairage

L’EXPÉDITION TARA OCEANS

- ***1 140*** **jours d’expédition**
- ***140 000*** **kilomètres parcourus**
- ***60*** **escales,** ***35*** **pays visités**
- ***160*** **scientifiques**
- ***210*** **stations de prélèvement d’échantillons**
- ***40 000*** **échantillons collectés**

>>

➔ À L'ORIGINE, QUEL ÉTAIT L'OBJECTIF DE L' EXPÉDITION TARA OCEANS ? QUELS OCÉANS ET GROUPES D'ORGANISMES ÉTAIENT CONCERNÉS ?

L'idée était de caractériser de façon exhaustive les écosystèmes marins planctoniques : des virus – les plus petites formes de vie –, jusqu'aux animaux, en passant par les bactéries, les cellules eucaryotes que l'on appelle des protistes, et tous les petits animaux du zooplancton, y compris les larves de poisson. Pour remplir cette mission, nous avons navigué sur toute la planète, en complétant notre programme par un tour de l'océan Arctique [2].

Durant l'expédition, nous avons observé la totalité des espèces du plancton, à travers huit ordres de grandeur de tailles. C'est gigantesque. Imaginez qu'un virus corresponde en taille à une abeille, alors un organisme du zooplancton, comme par exemple la méduse à crinière de lion *Cyanea capillata* [3], atteindrait la stratosphère ! [4].

> ***“Nous avons fait systématiquement les mêmes sondages, les mêmes mesures à un niveau global”***

Sur un plan pratique, un protocole a été établi dès le départ de l'expédition pour échantillonner de façon systématique l'ensemble des organismes du plancton. Nous y avons joint des mesures physiques et chimiques de l'Océan afin de connaître les conditions environnementales dans lesquelles évoluent ces organismes.

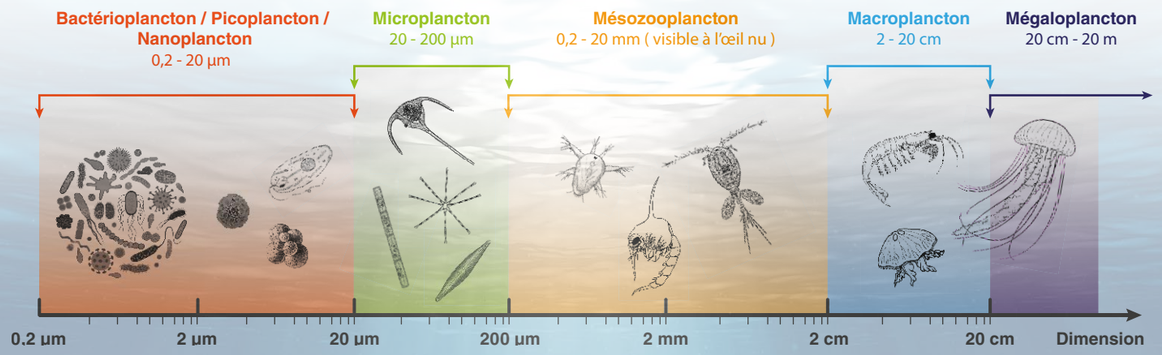
À bord, entre sept et neuf scientifiques se sont relayés en permanence pendant cinq ans.

Nous avons réalisé systématiquement les mêmes sondages, les mêmes mesures environnementales mais aussi respecté les mêmes méthodes de prélèvement d'organismes sur toute la planète.

➔ QUELS ÉTAIENT LES PRINCIPAUX ACTEURS DE CE PROJET ?

Le projet Tara Oceans a rassemblé une vingtaine d'équipes internationales avec une dizaine de centres de recherche en France, les autres à l'étranger : Japon, Etats-Unis, Allemagne… Nous avons formé ce que l'on appelle un consortium.

Le noyau du programme se situe en France, avec le Centre national de recherche scientifique (CNRS), Sorbonne Université (SU), le Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL) et le Génoscope, entité du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). D'autres équipes françaises et internationales étaient également impliquées, ainsi que des partenaires privés : Fonds Tara, Altran, Veolia, Leica, Greentech, Soliance…



Le monde du plancton – Échelles de tailles des compartiments biologiques, des microbes aux méduses (d'après Sieburth et al., 1978).

➔ EN QUOI CONSISTAIT LE TRAVAIL DES SCIENTIFIQUES ?

À chacune des stations scientifiques [5], *Tara* s'arrêtait pendant deux à trois jours. Les scientifiques effectuaient des mesures, jour et nuit, vraiment « à s'en faire éclater la cervelle ». Les prélèvements étaient réalisés à trois niveaux de profondeur :
- en surface ;
- entre 0 et 200 mètres, là où le phytoplancton est le plus abondant, en raison de la présence de lumière et de nutriments, et profondeur à laquelle on est susceptible de trouver le « maximum profond de chlorophylle » ;
- entre 500 et 1 000 mètres, dans l'Océan profond et noir, le *dark Ocean*.

En raison de la taille du bateau, prélever des échantillons au-delà de 1000 mètres de profondeur était impensable, d'autant plus que les prélèvements biologiques se limitaient à 500 mètres.

À chaque fois, nous avons collecté de nombreux échantillons de tous les organismes rencontrés. C'est compliqué, parce qu'il faut ramener beaucoup d'eau, puis la filtrer pour récupérer ces organismes. Nous avons également effectué des millions de mesures physiques et chimiques assez classiques, comme la température de l'eau, la salinité, le pH, le gaz carbonique dissous… Enfin, nous avons aussi « mitraillé » le plancton pour réaliser énormément d'images sous-marines.

>>

(2) Pendant leur périple autour du pôle Nord, les chercheurs ont mis en œuvre 17 stations de prélèvement de microorganismes et récolté quelque 4 000 échantillons de plancton : du virus à la larve de poissons. En fournissant des données de référence, cette mission se place dans un cadre international d'étude de l'écosystème arctique avant un probable changement de régime climatique (source : oceans.taraexpeditions.org)

(3) La méduse à crinière de lion est considérée comme la plus grande méduse de la planète. Son disque central (ombrelle) peut mesurer 2,5 mètres de diamètre. Elle possède jusqu'à 800 tentacules pouvant atteindre 40 mètres de long. Cet animal du plancton vit dans les eaux froides du Pacifique Nord, de l'Atlantique Nord et du cercle polaire arctique.

(4) La magie des puissances de 10 – Quelquefois les chiffres dépassent notre entendement parce que l'on a du mal à imaginer ce à quoi ils correspondent. Un petit virus mesure 0,01 micromètre et une abeille 1,5 centimètre, soit 15 000 micromètres. Ce qui amène la taille de l'abeille à une valeur d'un million de fois plus grande, soit 15 kilomètres par rapport au virus : l'altitude de la stratosphère. Quant à la plus grande des méduses, elle devrait toucher avec sa crinière tentaculaire les satellites géostationnaires de communication situés à 40 000 kilomètres au-dessus de la Terre.

(5) Entre son départ de Lorient (5 septembre 2009) et son retour (30 avril 2012), les scientifiques de Tara Oceans ont mis en oeuvre 210 stations d'échantillonnage de plancton.

Opération de filtrage de l'eau pour recueillir les organismes du plancton.

Ph. S. Fretwel/Fondation Tara Ocean

Scientifiques en cours de traitement des échantillons de la plongée du matin, lors de l'Expédition Tara Pacific (2016-2018), qui a suivi Tara Oceans. L'objectif était d'étudier la biodiversité cachée d'un récif, à la fois génomique, génétique, virale ou bactérienne, pour la comparer à celle de la masse d'eau qui l'entoure.

Éclairage

DES VIRUS AUX LARVES DE POISSONS…

UNE CARACTÉRISATION GLOBALE ET PLANÉTAIRE DE L'ÉCOSYSTÈME PLANCTONIQUE

Selon Éric Karsenti, directeur scientifique de l'Expédition Tara Oceans, *« le plancton marin est constitué de tous les organismes vivants qui se laissent dériver à grande distance dans l'Océan, même si beaucoup d'entre eux, comme les méduses, peuvent se déplacer activement sur de courtes distances ».*

Ces organismes, pour la plupart microscopiques, se situent à la base de la chaîne alimentaire marine. Ils assurent la survie des poissons, des mammifères marins et donc de milliards d'êtres humains tout en réagissant aux impacts du changements climatique.

Comprendre les composantes de cet écosystème complexe et dynamique, son rôle dans les équilibres planétaires, c'est l'objet principal de l'Expédition Tara Oceans.

LES VIRUS

10 à 100 milliards dans un litre d'eau de mer

La virosphère marine est immense. Elle va des phages - virus des bactéries - jusqu'aux virus géants : les girus. Les populations de virus océaniques jouent un rôle essentiel dans le transport du carbone depuis la surface vers les fonds marins : la pompe biologique*.

LES BACTÉRIES

1 à 10 milliards dans un litre d'eau de mer

Les bactéries sont des procaryotes, c'est-à-dire des cellules sans noyau, et certaines espèces, les cyanobactéries, peuvent réaliser la photosynthèse*. Elles constituent une nourriture pour les protistes et certains animaux du zooplancton.

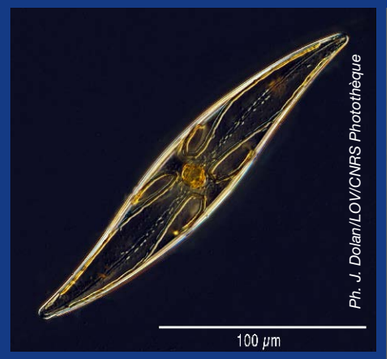
[Voir en page 28 : *Biodiversité - Effondrement ou nouvelle harmonie ?* Entretien avec Gilles Boeuf, président du conseil scientifique de l'Agence française pour la biodiversité (AFB)].

LES PROTISTES, DONT LE PHYTOPLANCTON

1 à 100 millions dans un litre d'eau de mer

La biodiversité des océans est formée principalement d'innombrables espèces d'êtres unicellulaires possédant un noyau : les protistes. Certains d'entre eux comme les diatomées, les dinoflagellés constituent avec les cyanobactéries, le phytoplancton et sont à la base de la chaîne alimentaire.

Images réalisées au Laboratoire de biologie du développement de Villefranche-sur-Mer.

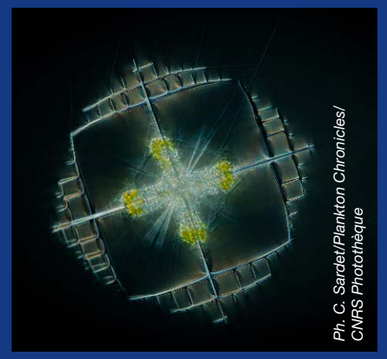


Ph. J. Dolan/LOV/CNRS Photothèque

Diatomée prélevée à 450 mètres de profondeur au large de la rade de Villefranche-sur-Mer, en Méditerranée occidentale – Les diatomées sont des microalgues qui sont enveloppées par un squelette externe siliceux nommé frustule.

Ph. J. Dolan/LOV/CNRS Photothèque

Dinoflagellé, Ceratium pentagonum, *microalgue unicellulaire de couleur rouge-orangé, prélevée dans l'Atlantique Sud pendant l'Expédition Tara Oceans.*



Ph. C. Sardet/Plankton Chronicles/ CNRS Photothèque

Acanthaire, Lithoptera mulleri *– Ce protiste possède un squelette en forme d'étoile à base de sulfate de strontium. Il est à la fois animal et végétal, car il se nourrit de petites proies (bactéries et protistes) et accueille à l'intérieur de son cytoplasme des algues photosynthétiques symbiotiques (parties jaunes/vertes).*
Échantillon collecté à l'Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer (Alpes-Maritimes).

LE ZOOPLANCTON

1 à 10 000 dans un litre d'eau de mer

Le plancton animal comprend de petits animaux comme les copépodes, des embryons, des larves et jusqu'à des formes géantes, comme certaines méduses et siphonophores. Il se nourrit de matière vivante : bactéries, protistes ou autres animaux.

Glossaire

Pompe biologique
Élément majeur du cycle du carbone en mer, elle correspond à une série de processus biologiques conduisant à transporter le carbone de la surface vers les fonds marins.

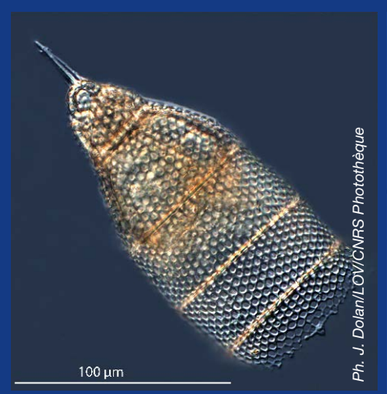
Photosynthèse
Processus par lequel les végétaux (algues, plantes) et certaines bactéries utilisent l'énergie solaire pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de gaz carbonique et d'eau. Une réaction biochimique qui libère de l'oxygène dans le milieu environnant.

Ph. C. Sardet/Tara-Océan/CNRS Photothèque

Ptéropode, petit mollusque aux allures d'éléphant mesurant environ 5 millimètres. Il a été prélevé dans un filet à plancton de la goélette Tara *dans les eaux de l'océan Indien, au large des îles Maldives.*

Ph. Fondation Tara Océan

Dans la grande diversité du zooplancton, on observe parmi les petits crustacés des formes curieuses telles que ce juvénile de poulpe avec ses chromatophores rouges et jaunes, ainsi qu'un phyllosome, larve ressemblant à une araignée, typique des langoustes et des cigales de mer.

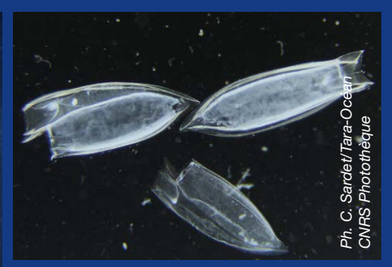


Ph. J. Dolan/LOV/CNRS Photothèque

Radiolaire, Eucyrtidium acuminatum, *prélevé dans l'océan Indien dans un filet à plancton pendant l'Expédition Tara Oceans. Cet animal unicellulaire (protozoaire) fait partie du zooplancton.*

Ph. C. Sardet/Tara-Océan/CNRS Photothèque

Larve de crustacé décapode – Cet organisme a été collecté en mer Méditerranée au cours de l'Expédition Tara Oceans.



Ph. C. Sardet/Tara-Océan/ CNRS Photothèque

Siphonophores calycophores – Ces animaux gélatineux de la famille des cnidaires sont organisés en colonie. Chaque individu est spécialisé dans la capture de proies, la digestion, la reproduction ou la flottaison. Plus d'une centaine d'espèces sont connues dans le monde. Organismes collectés en Méditerranée au cours de l'Expédition Tara Oceans.

>>

➔ CONCRÈTEMENT, QUELS ÉTAIENT LES OUTILS DE PRÉLÈVEMENTS ?

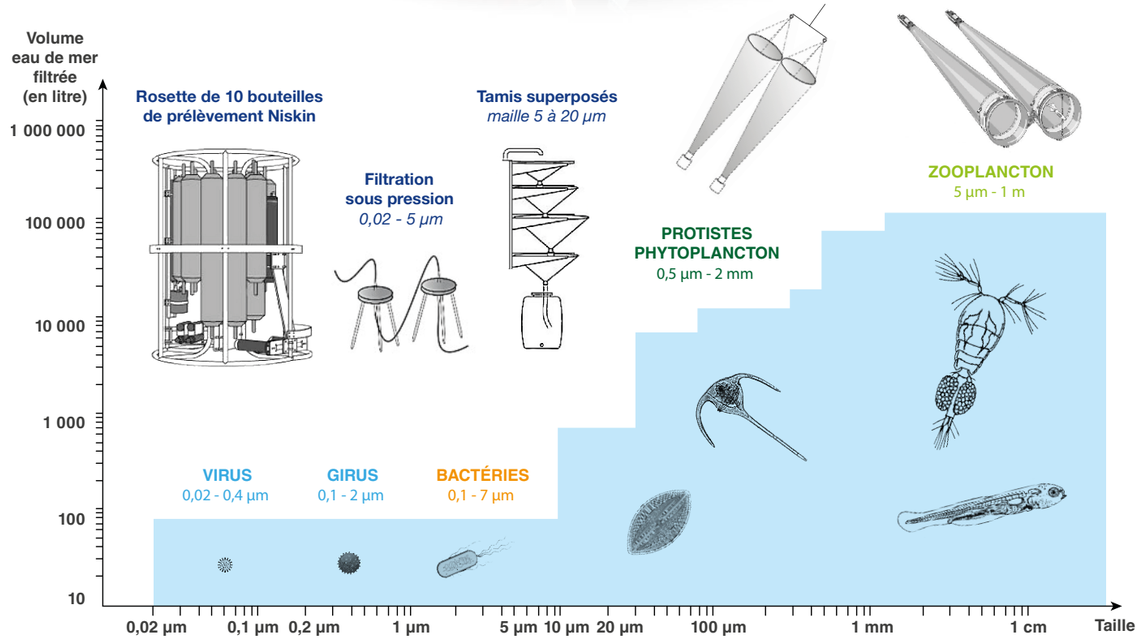
Les outils d'échantillonnage sont assez simples [voir page ci-contre : *Outils de collecte et d'observation – Environ 40 000 prélèvements*]. Nous disposions notamment d'une grosse pompe industrielle péristaltique qui permettait de ramener de grandes quantités d'eau à bord.

Après, tout le travail d'un océanographe consiste à filtrer de l'eau sur des tamis de différentes tailles pour collecter les organismes planctoniques. Et plus ils sont gros, plus il est nécessaire de filtrer d'importants volumes d'Océan. Pour le zooplancton, par exemple, il faut traîner de grands filets et filtrer des piscines entières d'eau pour récolter un petit nombre de spécimens.

En quatre ans de navigation, environ 40 000 échantillons de virus, microbes et eucaryotes microscopiques – des algues unicellulaires aux larves de poissons –, ont été collectés à bord de *Tara*. C'est assez extraordinaire !

>>

Ph. Samuel Bollendorf / Fondation Tara Océan



Méthodes d'échantillonnage du plancton à bord de Tara (D'après la publication : *A holistic approach to marine eco-systems biology*, 2011). Voir les références de l'article dans la bibliographie.

Éclairage

OUTILS DE COLLECTE ET D'OBSERVATION

ENVIRON 40 000 PRÉLÈVEMENTS

FILETS

Les scientifiques ont déployé sept types de filets avec des mailles de 5 à 680 micromètres. Ils ont été immergés depuis la surface jusqu'à 500 mètres de profondeur.

POMPE PÉRISTALTIQUE

L'eau de l'Océan a été recueillie de 10 à 120 mètres de profondeur. Ensuite, elle a été filtrée dans des tamis et des filtres de plus en plus petits, afin de séparer les organismes par taille.

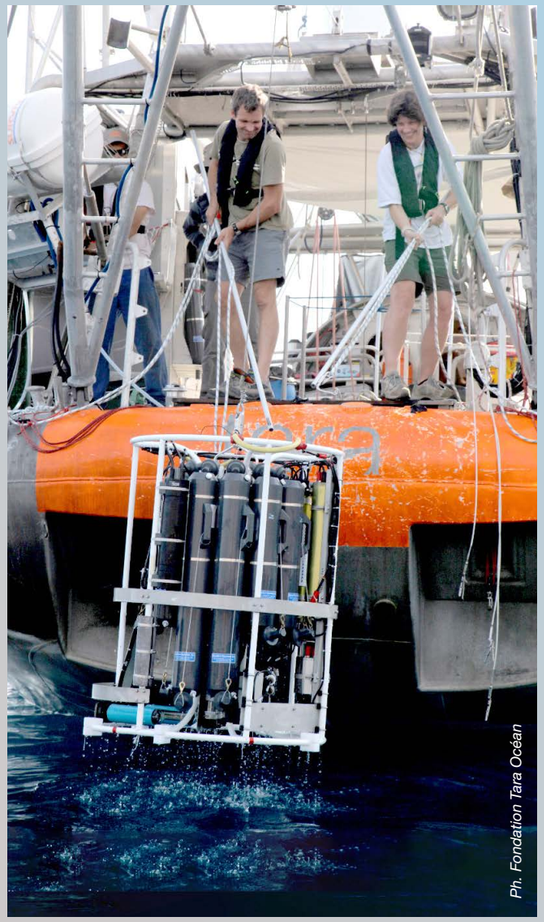
ROSETTE DE PRÉLÈVEMENT

Cet ensemble est constitué de 10 bouteilles qui sont programmées pour s'ouvrir et recueillir de l'eau à différentes profondeurs. Les prélèvements caractérisent les masses d'eau : pression, température, conductivité, azote, oxygène, fluorescence, propriétés optiques de l'eau…
La rosette dispose d'un UVP (*Underwater Vision Profiler*). C'est une caméra dirigée vers le bas qui filme tout au long de sa descente la tranche d'eau éclairée par deux projecteurs horizontaux. Un ordinateur capte les images et compte, en temps réel, les organismes mesurant entre 500 micromètres et quelques centimètres.
Des structures fragiles sont repérées et identifiées, alors qu'elles auraient été écrasées dans un filet à plancton classique.
C'est tout l'intérêt de cette rosette qui combine en un même instrument de recherche des outils de prélèvement, de mesure des paramètres du milieu et d'imagerie. Et ce, jusqu'à mille mètres de profondeur.
(source : taraexpeditions.org)

Ph. A. Sonlat / Fondation Tara Océan

Ph. N. Floc'h / Fondation Tara Océan

Mise en œuvre d'un filet de type Bongo, à bord de Tara. *Ses dimensions et son pouvoir de filtration en font un engin efficace pour la recherche d'espèces peu abondantes, en particulier des œufs et larves de poissons.*



Ph. Fondation Tara Océan

Remontée de la rosette. On distingue l'ensemble des bouteilles de prélèvement.

2/ Traitement des échantillons de plancton. Une base de données exceptionnelle

Les laboratoires du Génoscope - Centre national de séquençage, à Évry.

Plateforme de séquençage de Roscoff – Extraction et purification de l'ADN. Colomban de Vargas dirige l'équipe Évolution des Protistes et des Écosystèmes Pélagiques (EPEP), *qui utilise conjointement le séquençage d'ADN à haut débit et les techniques d'imagerie pour une compréhension globale des écosystèmes planctoniques.*

➔ COMMENT LES ORGANISMES DU PLANCTON COLLECTÉS À BORD DE *TARA* ONT-ILS ÉTÉ TRAITÉS ET IDENTIFIÉS ?

Nous disposons de deux grands types de méthodes d'analyse et de suivi de la biodiversité marine : des technologies d'imagerie, à bord, et de séquençage d'ADN à haut débit, à terre.

La première méthode s'appuie sur l'imagerie. Nous avions à bord du matériel adapté pour photographier le plancton frais. Cette technique est précieuse parce que le plancton est très fragile, il est composé d'organismes extrêmement délicats. En fait, il est impossible de ramener des échantillons à terre. Si on les place dans du formol ou dans divers produits de conservation, ils se dégradent énormément.

L'autre méthode est basée sur l'analyse du matériel génétique (*ADN* ou *ARN*), c'est-à-dire les gènes exprimés [6]. À bord de *Tara*, l'eau était pompée, filtrée, et les échantillons étaient placés sur des petites membranes que l'on immergeait dans de l'azote liquide pour être transportés et traités à terre : non pas dans des laboratoires de biologie mais dans des centres de séquençage comme le Génoscope d'Évry et la Station biologique de Roscoff [voir en page 54 : *Des virus aux larves de poisson… Une caractérisation globale et planétaire de l'écosystème planctonique*].

Quand le bateau revenait à terre, nous étions assez stressés parce que nous ramenions avec nous plusieurs milliers d'échantillons à traiter.

➔ CONCRÈTEMENT, COMMENT AVEZ-VOUS PU TRAITER CES ÉCHANTILLONS ?

Pour pouvoir traiter les milliers d'échantillons collectés au cours de l'Expédition Tara Oceans, nous avons eu l'opportunité de participer à un Programme d'Investissements d'Avenir (PIA) du gouvernement français. J'ai dirigé ce programme appelé OCEANOMICS [7] qui consistait à :

- rassembler tous les échantillons planctoniques et les différentes données environnementales ;

- produire de nouvelles données – surtout génétiques –, en réalisant beaucoup de séquençages d'ADN à haut débit au Génoscope d'Évry ;

- réaliser énormément d'imagerie automatique de plancton à la Station biologique de Roscoff, en Bretagne, et à l'Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer, en Méditerranée ;

- analyser toutes les informations obtenues, les organiser dans une base de données exhaustive et universellement accessible à la communauté scientifiques, et en tirer des résultats applicables, notamment en médecine.

En fait, Tara Oceans et OCEANOMICS ont généré la plus grande collection d'échantillons et de nouvelles connaissances essentielles sur l'écologie, la morphologie et la génétique du plancton. Ce qui en fait, aujourd'hui, l'écosystème planétaire le mieux décrit concernant les organismes et les génomes, et ce, des virus jusqu'aux animaux. C'est fabuleux ! [voir en page 63 : *Un décryptage génétique qui bouleverse nos connaissances sur le plancton*].

> *“Nous avons généré la plus grande collection d'échantillons et de nouvelles connaissances essentielles sur l'écologie, la morphologie et la génétique du plancton”*

>>

(6) Les cellules d'un organisme possèdent toutes le même ADN, mais seuls certains gènes sont exprimés dans une cellule donnée. L'expression d'un gène passe par la transcription (copie) d'un segment d'ADN en ARN messager. Support intermédiaire de l'information contenue dans l'ADN, l'ARN messager transporte l'information recueillie dans le noyau de la cellule vers le cytoplasme où elle sera traduite en protéine.

(7) OCEANOMICS est issu de wOrld oCEAN biOressources, biotechnologies, and Earth-systeM servICeS. *En français :* Biotechnologie et bioressources pour la valorisation des écosystèmes marins planctoniques.

3/ Premiers résultats. Révélation d'une biodiversité inconnue et insoupçonnée

➔ COMMENT ONT ÉTÉ DIFFUSÉS LES PREMIERS RÉSULTATS DE L'EXPÉDITION ?

Ces premiers résultats représentent un ensemble de découvertes majeures sur le plancton. Les chercheurs ont déjà publié environ 130 articles scientifiques, dont neuf dans des revues internationales comme *Nature*, *Science* ou *Cell*, ces deux dernières années.

En fait, tout va très vite. Les données sont tellement passionnantes que de nombreux chercheurs souhaitent nous rejoindre sur cette thématique du plancton océanique, d'autant plus qu'elles sont publiques et accessibles librement à toute la communauté scientifique, ainsi qu'aux enseignants.

Ph. DR

➔ EN PRENANT LA MER VOUS ÊTES-VOUS RENDU COMPTE QUE VOUS ALLIEZ RÉALISER QUELQUE CHOSE D'AUSSI EXCEPTIONNEL ?

Non, mais comme parfois dans toute démarche scientifique, nous avons été animés d'une sorte d'intuition, et nous avons embarqué. C'est de retour à notre port d'attache, Lorient, que l'on s'est dit : *« C'est hallucinant d'avoir échantillonné le plancton de toute la planète, à trois profondeurs, et puis surtout d'avoir pu financer le séquençage de l'ensemble du matériel collecté. »*

En fait, nous avons établi la première base d'écologie sur le système Terre d'un écosystème global, holistique*, avec des données massives. C'est vraiment une première ! Et nous avons pu le faire grâce aux moyens du bord et au soutien de mécènes.

Glossaire

Micromètre
Unité de mesure de longueur. Un micromètre, ou micron, de symbole µm, vaut 10^{-6} m soit 0,000 001 mètre ou 0,001 millimètre.

Hadale (fosse)
Région de l'Océan située en-dessous de 6000 mètres de profondeur. Elle ne concernerait que 1% des fonds marins et se caractérise par une obscurité totale, une température inférieure à 4 °C et, surtout, une pression écrasante : entre 600 et 1 100 fois celle de la surface. Cet environnement n'est pas dépourvu d'organismes vivants comme on le supposait avant 1950. La région la plus profonde a été découverte en 1875 dans le Pacifique Nord. Il s'agit de la fosse océanique des Mariannes (10 984 m).

➔ EST-CE QUE LES RÉSULTATS ONT TRANSFORMÉ VOTRE VISION DE LA BIODIVERSITÉ DES OCÉANS ?

Oui, absolument.
Lorsque je me suis engagé dans cette expédition, j'imaginais que la biodiversité se constituait surtout d'organismes de toute petite taille, comme les virus ou les bactéries, parce qu'à l'époque les méthodes de séquençage d'ADN étaient habituellement appliquées aux petites fractions de la vie.

Mais, à l'issue du séquençage de dizaines de milliers d'échantillons de plancton, nous nous sommes aperçus que la biodiversité n'est pas très importante dans le monde des petits organismes microscopiques et qu'elle augmente énormément dans les « classes moyennes » comprises entre 5 et 50 micromètres*, essentiellement des protistes.

Nous pouvons maintenant affirmer que la plupart des espèces et des gènes se trouvent dans cette fraction du vivant. Je pense que cette découverte est fondamentale, et je mettrais ma main à couper qu'il existe la même répartition de la biodiversité dans d'autres écosystèmes comme une forêt, un récif corallien, un désert ou une fosse hadale*.

On peut supposer que c'est une règle générale et comment parler d'écologie et de biodiversité si l'on n'a pas vraiment admis une telle répartition de la biodiversité dans un écosystème ?

>>

Éclairage

UN DÉCRYPTAGE GÉNÉTIQUE QUI BOULEVERSE NOS CONNAISSANCES SUR LE PLANCTON

Pour étudier la complexité des échantillons de plancton prélevés pendant l'Expédition Tara Oceans, les scientifiques ont fait appel à la métagénomique*. C'est une technique de séquençage et d'analyse de l'ADN contenu dans un environnement composite.

En décryptant le matériel génétique de chaque échantillon, grâce à une nouvelle méthode de séquençage à haut débit, il est possible d'identifier les centaines d'espèces qu'il peut contenir sans devoir les isoler individuellement, ni les cultiver dans le cas de microbes, comme il était fait auparavant.

Aucun organisme n'échappe à cette méthode [voir en page 56 : *Des virus aux larves de poissons… Une caractérisation globale et planétaire de l'écosystème planctonique*].

La principale originalité du programme de métagénomique* conduit par Tara Oceans tient dans son échelle globale. Il ne s'agit plus de comprendre un groupe particulier, mais de les décrire tous en même temps. En effet, il existe de nombreux modes d'interactions entre les espèces, comme la symbiose, le parasitisme ou la compétition, qui expliquent le fonctionnement et la dynamique des communautés microbiennes et qui ne peuvent être compris qu'en étudiant l'ensemble des acteurs.

> *« Environ 40 millions de gènes microbiens, dont la grande majorité sont nouveaux »*

Les premiers résultats obtenus indiquent que la diversité génétique de ces communautés est globalement très sous-estimée. *« Il s'agit du plus grand travail de séquençage jamais effectué pour des organismes marins : les analyses ont révélé environ 40 millions de gènes microbiens, dont la grande majorité sont nouveaux, ce qui suggère que la biodiversité planctonique pourrait être bien plus importante que ce que l'on imaginait »*, explique Patrick Wincker, directeur du Génoscope (CEA).

Métagénomique
Technique de séquençage et d'analyse de l'ADN des génomes de plusieurs individus d'espèces différentes contenus dans un milieu donné.

Symbionte (ou symbiote)
Organisme qui vit en symbiose, une association biologique, durable et réciproquement profitable, entre deux organismes vivants.

Les compétences du Laboratoire européen de biologie moléculaire (LEBM) en matière de calcul intensif ont permis de créer un catalogue global, qui rassemble un matériel génétique estimé à plus de 35 000 espèces de bactéries planctoniques différentes, pour la plupart inconnues jusqu'ici.

« Pour les eucaryotes, nous avons séquencé près d'un milliard de codes-barres génétiques et découvert qu'il existe une plus grande variété d'eucaryotes unicellulaires – ou protistes – dans le plancton qu'attendue », précise Colomban de Vargas, directeur de recherche au CNRS.

« Les protistes sont bien plus diversifiés que les bactéries ou les animaux, et la plupart appartient à des groupes très peu connus de parasites, de symbiontes et de prédateurs en tous genres. Dans ce groupe, il y aurait 150 000 types génétiques distincts, dont plus de 80% d'entre eux sont des phagotrophes, se mangeant entre eux ou vivant en symbiose.»*

Sources :
- L'avènement de la métagénomique, *F. Quétier, P. Wincker, Dossier pour la science n° 81, 2013 ;*
- Les nouvelles méthodes d'analyse et suivi de la biodiversité marine, *par Colomban de Vargas, TDF Climat, Bordeaux, 2015 ;*
- Premiers résultats scientifiques de l'Expédition Tara Oceans – Plancton : la nouvelle frontière, *CNRS, EMBL, CEA, Tara Oceans, 2015.*

Ph. C. Fresillon/CNRS Photothèque

Génoscope d'Évry – Séquenceur haut débit (MiSeq Illumina) permettant de générer jusqu'à 8 gigabases (8 milliards de bases) d'ADN en seulement 40 heures.

Ph. C. Fresillon/CNRS Photothèque

Écran de suivi du séquençage des échantillons.

Ph. C. Sardet/Tara Océan/CNRS Photothèque

Protistes divers collectés dans l'océan Indien au cours de l'Expédition Tara Oceans.

>>

> *“Nous commençons à avoir des données suffisantes pour comprendre la réaction de l’écosystème du plancton dans sa globalité face au changement climatique”*

➔ CES DÉCOUVERTES PERMETTENT-ELLES D’ENVISAGER DE MIEUX COMPRENDRE COMMENT LES ÉCOSYSTÈMES MARINS, EN PARTICULIER LE PLANCTON, INTERVIENNENT DANS LA MACHINE CLIMATIQUE ?

Nous savons que tous les organismes du plancton sont très réactifs au changement climatique et que leur propre changement influence l’environnement. On reconnaît qu’il y a une grande réactivité et une rétroactivité de la part du plancton, qui transforme le monde sur les plans physique et chimique.

Grâce à la photosynthèse*, une partie du plancton constituée de microalgues absorbe du gaz carbonique provenant de l’atmosphère et produit plus de 50% de l’oxygène de l’air que nous respirons [8].

Identifier la richesse et le fonctionnement de la biodiversité du plancton océanique est donc indispensable à la compréhension des régulations climatiques qui sont générées par le vivant.

Avec Tara Oceans, nous avons établi une base de références sur l’état du plancton planétaire.
Pour l’instant, il n’existe pratiquement pas d’historique de mesures, et c’est seulement à partir de cette base qu’il sera possible de commencer à enregistrer les modifications du plancton et sa capacité d’adaptation aux changements globaux. C’est très important, et l’un des enjeux majeurs pour le climat mondial.

Dans la même voie, nous avons publié un article dans la revue *Nature*. Il explique que les données sont tellement complexes que nous essayons de constituer des réseaux d’espèces vivant ensemble. Un peu le *Facebook* du plancton !

Ensuite, nous corrélons ces réseaux d’interactions d’espèces à des phénomènes qui ont un rôle important pour le climat, comme la pompe biologique*, ou des facteurs liés au changement climatique comme l’acidification, le réchauffement des eaux… De fait, nous essayons de comprendre la réactivité de ces réseaux par rapport à ces phénomènes.

Nous commençons à avoir des données suffisantes pour caractériser le comportement de l’écosystème du plancton dans sa globalité face au changement climatique [voir page ci-contre : *Impacts du changement climatique sur le plancton – Une tropicalisation des régions océaniques tempérées et polaires*].

Dans ce but, mathématiciens et informaticiens s’associent à l’analyse de nos résultats pour mettre en équations les phénomènes observés. Ce qui peut ouvrir la voie à la construction de modèles mathématiques sur l’évolution des écosystèmes concernés en fonction des changements environnementaux.

➔ L’EXPÉDITION TARA OCEANS VA-T-ELLE PERMETTRE AUSSI DE MIEUX COMPRENDRE L’ÉVOLUTION DE LA VIE MARINE, PEUT-ÊTRE MÊME SON ORIGINE ?

C’est un sujet qui me passionne vraiment parce que, pour l’instant, les théories qui sont en jeu dans le changement et l’évolution de la vie sont centrées autour de celle de Darwin, c’est-à-dire qu’il y a des organismes qui se ressemblent beaucoup et qui sont sélectionnés pour leurs traits, leurs phénotypes. Et la sélection naturelle fait que les plus performants d’entre eux survivent et ont plus de descendance.

J’émets des réserves sur cette théorie. En réalité, ce que l’on a souvent observé au cours de notre expédition, c’est le fait que tous les organismes du plancton interagissent entre eux. C’est assez fascinant : on constate qu’un grand nombre de petits organismes sont placés dessus ou à l’intérieur des plus grands pour former des petits consortiums de vie.

Le terme holobionte [9] a été inventé par une biologiste américaine pour qualifier ce phénomène, c’est-à-dire la constitution d’un super-organisme qui est composé de « petits mondes », en fait de petits écosystèmes.

>>

(8) En savoir + : Océan, le maître du climat - *Entretien avec Françoise Gaill, Directeure de recherche émérite du CNRS, vice-présidente de la Plateforme Océan et Climat,* Lettre d’information de l’Institut océanographique Paul Ricard *n° 14, 2015.*

(9) Le mot holobionte a été utilisé pour la première fois en 1991 par Lynn Margulis, biologiste américaine et spécialiste de la symbiose, pour décrire une créature issue de la collaboration entre espèces.

Éclairage

IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE PLANCTON

UNE TROPICALISATION DES RÉGIONS OCÉANIQUES TEMPÉRÉES ET POLAIRES

Les espèces planctoniques sont réparties de manière inégale dans l’Océan, et elles sont susceptibles de s’adapter différemment aux conditions environnementales entre l’équateur et les pôles. C’est ce que montrent les résultats de deux études publiées le 14 novembre 2019 dans la revue *Cell*.

> *“La diversité planctonique est plus importante autour de l’équateur et diminue vers les pôles”*

La première étude dirigée par Lucie Zinger, professeure adjointe à l’École normale supérieure-Université Paris Science Lettres (ENS-PSL), et Chris Bowler, directeur de recherche au CNRS, consistait à analyser les données recueillies dans 189 stations d’échantillonnage de l’Expédition Tara Oceans.

L’objectif était d’identifier la diversité des principaux groupes planctoniques afin de cartographier leur distribution à l’échelle mondiale et d’obtenir des informations quant à leurs mécanismes de réponse au changement climatique. *« Nos résultats montrent clairement que la diversité planctonique est plus importante autour de l’équateur et diminue vers les pôles »*, explique Lucie Zinger.

> *“Influence primordiale de la température sur la répartition des espèces planctoniques”*

En parallèle, le groupe conduit par Shinichi Sunagawa, professeur adjoint à l’Institut fédéral suisse de technologie de Zürich, a exploité les données de séquençage d’ADN et d’ARN de Tara Oceans, générées par le Génoscope.

L’équipe a utilisé ces éléments d’information pour analyser l’activité des communautés microbiennes, le but final étant de comprendre la capacité des microbes à s’adapter aux changements environnementaux. *« Ces analyses nous ont permis d’étudier, non seulement ce que les microbes océaniques sont capables de faire, mais aussi ce qu’ils font à l’échelle mondiale »*, indique Shinichi Sunagawa.

Archées
Microorganismes unicellulaires procaryotes, c’est-à-dire des êtres vivants constitués d’une cellule unique qui ne comprend ni noyau ni organites, à l’instar des bactéries.

L’activité et la diversité microbienne restent stables entre l’équateur et 40° de latitude puis elles changent par paliers de manière rapide jusqu’à environ 60° de latitude, où se manifeste un nouvel état stable. Ces deux limites écologiques (une au nord de l’équateur, l’autre au sud) correspondent à des changements physico-chimiques précis dans les eaux de surface, principalement une baisse significative de la température.

Les nouvelles cartes de la diversité planctonique créées par l’équipe de Lucie Zinger montrent que des limites similaires existent pour toutes les espèces planctoniques : des bactéries jusqu’à la plupart des virus, en passant par les archées*, les protistes et le zooplancton. Ici aussi, la température semble être le principal facteur expliquant ces tendances.

L’influence primordiale de la température sur la répartition des espèces planctoniques soulève des questions évidentes dans le contexte actuel de changement climatique.

En se basant sur les modèles les plus récents et les plus précis du GIEC, l’équipe de Lucie Zinger, en collaboration avec Laurent Bopp, directeur de recherche à l’ENS-PSL, a prédit l’évolution possible de cette biodiversité planctonique.

Ces prédictions montrent clairement que des températures océaniques plus élevées sont susceptibles d’engendrer une tropicalisation des régions océaniques tempérées et polaires, avec des températures de l’eau plus élevées et une plus grande diversité d’espèces planctoniques. Ces régions sont actuellement très importantes pour des raisons environnementales et économiques :
- elles jouent un rôle crucial dans la capture du carbone atmosphérique et son stockage dans l’Océan ;
- elles sont des zones de pêche très actives, et une grande partie de ces eaux est protégée pour fournir un refuge aux espèces en voie de disparition.

Les changements les plus importants en matière de diversité devraient se produire au sein de ces régions, modifiant en conséquence les écosystèmes associés avec de graves répercussions à l’échelle mondiale.

Source :
La mission Tara Oceans révèle les variations de la biodiversité planctonique, et de son activité, de l’équateur jusqu’aux pôles. Fondation Tara Océan, communiqué de presse (14 novembre 2019).

Tara *sur la banquise au cours de l’*Expédition Tara Oceans Polar Circle*. Cette goélette, au nom originel d’*Antarctica*, n’a pas de quille afin de limiter sa prise dans les glaces.*

Ph. F. Latreille/Fondation Tara Océan

>>

Nous savons maintenant que l'homme est lui-même un écosystème en harmonie avec plus de cellules bactériennes dans son corps que de cellules humaines.

Je crois que l'on est en train de constater que l'évolution de la vie fonctionne plutôt grâce à des comportements collectifs, c'est-à-dire que des organismes travaillent ensemble, s'échangent des mécanismes, des savoir-faire, parfois des génomes. Et puis, ils commencent à s'organiser en super-organismes, en superstructures qui marchent encore mieux qu'à l'origine. C'est fabuleux !

On émet l'hypothèse que ces super-organismes se complexifient par des mécanismes de symbiose, de vivre ensemble, aboutissant à la formation d'une force collective. Rien à voir avec le darwinisme, mais vraiment l'expression de mécanismes qui, en complexifiant la vie, font qu'elle évolue.

Bien sûr, il y a une part de sélection, c'est-à-dire que la pression du milieu naturel va faire qu'un système soit viable ou non. Mais la force créatrice de l'évolution est vraiment basée sur ce collectif. Il ne s'agit pas d'une force de destruction entraînant la disparition d'une espèce qui ne s'adapte pas. C'est un peu triste comme théorie !

➔ LE PLANCTON PEUT-IL REPRÉSENTER UNE RESSOURCE VIVANTE INTÉRESSANTE, NOTAMMENT DANS L'EXPLOITATION DE MOLÉCULES UTILISABLES EN MÉDECINE ?

Avec Tara Oceans, nous avons séquencé 250 millions de nouveaux gènes, et on ne sait même pas quel est leur rôle pour 60% d'entre eux, alors que le plancton n'apparaît pas très riche en espèces. C'est l'un des écosystèmes parmi les plus simples de la planète.

En revanche, nous sommes sûrs que le plancton représente une ressource fabuleuse pour l'avenir.

Aujourd'hui, la plupart des médicaments proviennent d'extraits ou de dérivés de plantes terrestres. Nous commençons à disposer de quelques molécules bioactives* marines issues de récifs coralliens, d'algues, d'éponges, dont certaines ont des activités anticancéreuses… Dès lors que nous nous intéressons au plancton, il est sûr que l'on y découvrira des substances naturelles très intéressantes pour la santé humaine et pour de nombreuses technologies, biotechnologies et nanotechnologies*.

Les États ne comprennent pas toujours l'intérêt d'engager d'importants financements sur ces programmes d'exploration du vivant. Pourtant, même sans prévision de départ, il y a une quasi-certitude de faire des découvertes qui vont éclairer le monde. Les risques d'échec sont faibles, contrairement à ce que l'on peut penser.

Glossaire

Bioactive (molécule)
Molécule qui possède des propriétés physico-chimiques qui agissent bénéfiquement sur le métabolisme d'un organisme vivant.

Nanotechnologie
Technologie qui s'intéresse aux objets à l'échelle moléculaire ou atomique.

➔ D'OÙ LA NÉCESSITÉ DE PRÉSERVER CETTE BIODIVERSITÉ…

Oui.
À chaque espèce perdue, des millions d'années de vie s'évanouissent d'une manière irréversible. De vrais patrimoines constitués de sommes d'inventions naturelles sont perdus pour toujours. Une perte de biodiversité, c'est quelque chose de terrible. Il faut tout faire pour la préserver.

➔ ÊTES-VOUS PLUTÔT OPTIMISTE, NE RISQUE-T-IL PAS D'Y AVOIR UN EFFONDREMENT TOTAL DE LA BIODIVERSITÉ ?

Parfois, je ne le suis qu'à moitié quand je pense à l'emprise négative de l'espèce humaine sur la nature.

Le plus navrant, c'est que l'on se demande toujours quand elle sera un peu moins dévoreuse d'énergie, moins égoïste, plus généreuse. Les inégalités se creusent entre les hommes et, aujourd'hui, le problème majeur de la planète c'est l'ensemble des changements que nous lui faisons subir.

Il est évident que la planète nous survivra, et il est très arrogant de penser qu'il est possible de la transformer. C'est elle qui va nous faire subir beaucoup de désagréments, et les populations humaines vont en souffrir si on continue à avancer dans cette direction.

Les équilibres de la nature, eux, vont reprendre très vite le dessus, comme le montre le cours de l'histoire de la vie sur Terre.

Je n'ai aucune crainte étant donné la diversité que l'on a découverte dans le plancton marin. Même si perdre une espèce reste dramatique, je ne peux même pas vous dire aujourd'hui quel est leur nombre sur Terre.

Je crois fondamentalement que nous connaissons seulement un infime pourcentage de la diversité biologique des espèces actuelles. Donc, il existe une ressource, une résilience, une force de vie qui nous sont infiniment supérieures.

En évoquant ces aspects, on pense plutôt à la survie de l'humanité. Ce serait quand même dommage qu'une belle espèce comme la nôtre ne perdure pas sur cette Terre.
En fait, en le disant, je pense à mes enfants.

➔ L'EXPÉDITION TARA OCEANS A-T-ELLE EU UNE SUITE ?

La goélette *Tara* dont Étienne Bourgois, président de la Fondation Tara Océan, est l'armateur a été engagée dans plusieurs programmes scientifiques : Tara Pacific pour le corail, puis Tara mission microplastiques…

Un autre projet me tient particulièrement à cœur dans la suite de Tara Oceans. Je pense que pour améliorer notre compréhension du fonctionnement du monde planctonique, il faut continuer la mesure globale et répéter ce que nous avons effectué au cours de notre expédition.

Or, environ 10 à 15 000 voiliers naviguent en permanence sur l'Océan. Je souhaiterais que les marins, plaisanciers, coureurs au large, et même commandants de cargos, pourquoi pas, tous volontaires, forment une flotte internationale et contribuent à la mesure du plancton océanique en collectant des échantillons. Pour cela, nous avons préparé un protocole simple, un planctoscope, établi à partir de l'expérience de l'Expédition Tara Oceans.

Lorsque l'on montre cet outil aux gens de mer, ils sont fascinés : en fait, parce qu'ils adorent l'Océan en général. Ils découvrent combien il est vivant, plein de très belles choses. Ce qui rend leur navigation encore plus intéressante.

Je pense que si nous arrivons à mettre au point cette scénographie citoyenne à la voile, les gens vont faire des découvertes. Et nous pourrons disposer d'une mesure constante du plancton océanique. C'est nécessaire parce qu'il change, se modifie constamment, très vite, beaucoup plus vite, par exemple, que les forêts.

Écosystémique (approche)
Méthode selon laquelle toutes les parties d'un écosystème sont liées. Ce qui implique qu'il faut donc tenir compte de chacune d'entre elles.

➔ EN 2017, VOUS AVEZ REÇU LE GRAND PRIX DES SCIENCES DE LA MER DÉCERNÉ PAR L'ACADÉMIE DES SCIENCES. QUE REPRÉSENTE POUR VOUS CETTE DISTINCTION ? EST-CE UNE ÉTAPE VERS D'AUTRES RECHERCHES ?

Ce prix a été une grand fierté pour moi. C'est très agréable de voir son travail reconnu par la communauté scientifique en présence de ses proches. C'est un encouragement à poursuivre ses travaux.

Ce prix n'était pas vraiment la fin d'un cycle, parce qu'au début de mes recherches, j'étudiais les organismes un à un, et puis, auprès d'Eric Karsenti, je suis passé à une échelle plus complexe que la simple cellule : l'écosystème.

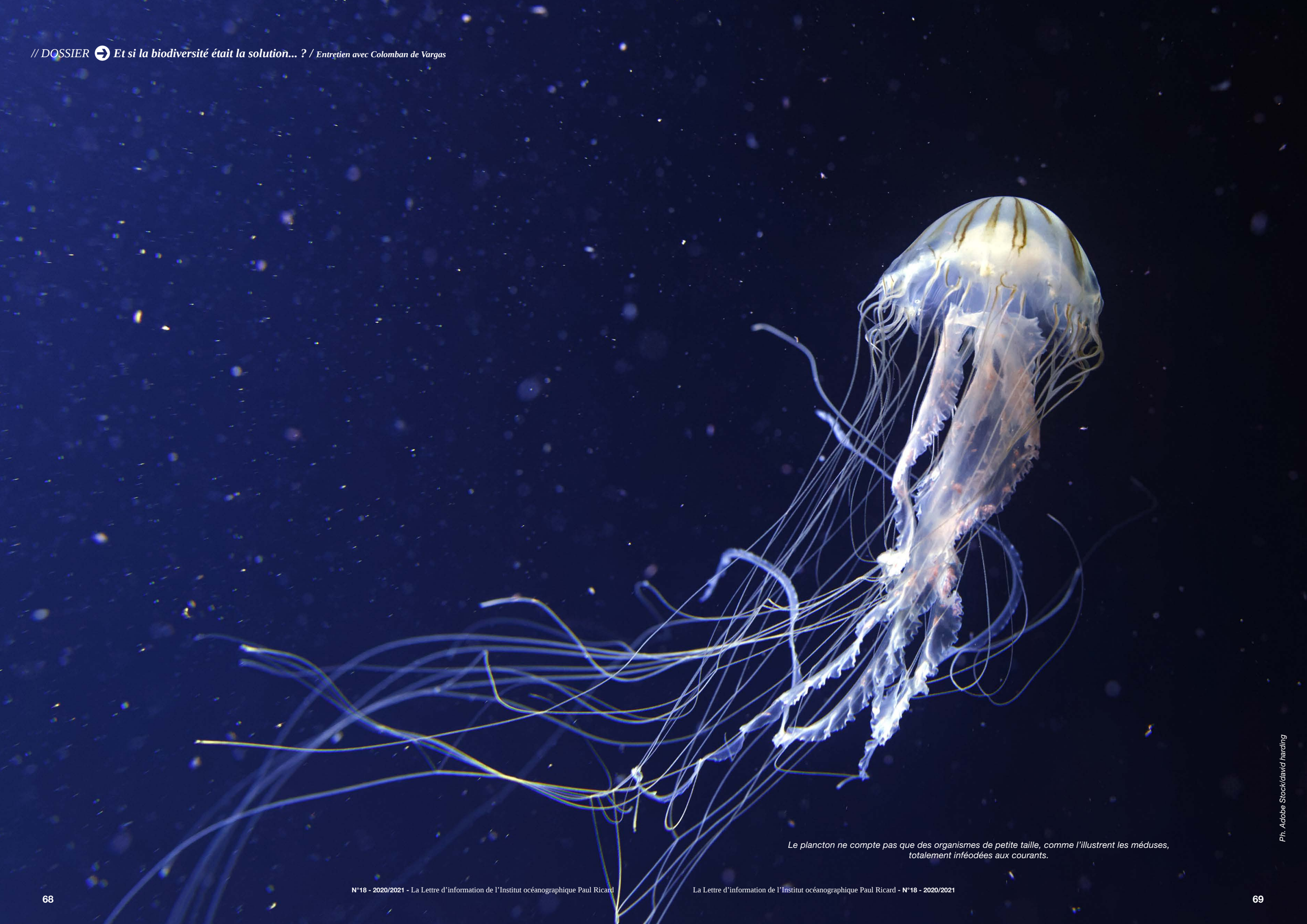
L'Expédition Tara Oceans a marqué le début d'un nouveau cycle d'approche écosystémique* du plancton. Nous sommes parmi les pionniers en ce domaine, et nous sommes partis pour 30 à 40 ans de recherche… ■

Entretien avec Christian Frasson-Botton
Février 2020

BIBLIOGRAPHIE

- Flora Vincent, 2019 - *Plancton, la nouvelle frontière.* planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologiebiodiversite/plancton-la-nouvelle-frontiere
- Éric Karsenti, 2018 – *Aux sources de la vie*, Flammarion.
- Stéphane Pesant et al., 2015 - *Open science resources for the discovery and analysis of Tara Oceans data.* Nature.com/articles/sdata201523.
- Éric Karsenti et al., 2011 - *A Holistic Approach to Marine Eco-Systems Biology*. PLoS Biol. 2011 Oct; 9(10): e1001177.

Ph. Adobe Stock/Netfalls



Le plancton ne compte pas que des organismes de petite taille, comme l'illustrent les méduses, totalement inféodées aux courants.

Ph. Adobe Stock/david harding

Ph. C F-B

ENTRETIEN AVEC

NARDO VICENTE

Professeur émérite de biologie marine, Aix-Marseille Université (IMBE)
Responsable scientifique de l'Institut océanographique Paul Ricard

> ***“L'écosystème méditerranéen va évoluer, il sera différent, mais on ne peut pas dire s'il sera plus pauvre pour autant”***

DEPUIS PLUS DE 60 ANS, LE PR. VICENTE ARPENTE, DANS LE CADRE DE SES RECHERCHES, LES FONDS DE LA MÉDITERRANÉE. TÉMOIN PRIVILÉGIÉ, IL REVIENT POUR NOUS SUR L'ÉVOLUTION DE SA BIODIVERSITÉ, SUR LES ENJEUX À VENIR ET LES DÉFIS À RELEVER POUR SA PRÉSERVATION.

➔ VOUS PLONGEZ DEPUIS 60 ANS EN MÉDITERRANÉE, DEPUIS QUAND, DANS VOTRE SOUVENIR, PARLE-T-ON DE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

On parle de changement climatique en Méditerranée depuis le début des années 1990 : des températures très élevées ont commencé à se manifester sur de longues périodes, quelquefois du printemps jusqu'à l'automne. On se souvient par exemple de la crise de 1999 qui avait affecté, sur les tombants coralligènes, les gorgones pourpres, milieux de vie extraordinaires. Les rameaux, constitués de polypes, qui sont des colonies d'animaux, se dégradaient, et sur certains tombants les gorgones avaient pratiquement disparu. Ce qui avait bien entendu alerté les biologistes marins. On se demandait alors si le phénomène était dû uniquement au réchauffement des eaux, mais on s'est aperçu qu'il y avait une conjonction entre l'élévation de la température et un développement bactérien. Dans le milieu, il y a en effet une quantité considérable de virus que l'on connaît mal encore, de germes, de parasites, qui sont en dormance, et qui, en cas de réchauffement prolongé, peuvent proliférer. Et au cours des dernières décennies, ces problèmes de maintien des températures à des niveaux très élevés sont devenus de plus en plus fréquents…

➔ ON ÉVOQUE AUJOURD'HUI UNE MODIFICATION DE LA BIODIVERSITÉ, LIÉE EN PARTIE À CETTE ÉLÉVATION DES TEMPÉRATURES…

Plus que de modification, je parlerais plutôt d'évolution de la biodiversité. Elle est très ancienne, puisqu'elle remonte aux travaux de Darwin, au 19e siècle, en Méditerranée comme ailleurs dans l'Océan mondial. On peut la qualifier de normale, mais elle s'accélère de plus en plus, justement à cause du changement climatique. Ainsi, on constate aujourd'hui une disparition des espèces mille fois plus rapide que lors de la première extinction massive [1], où plus de 70% de la vie marine s'est éteinte. Ce qui est certain, c'est qu'il y a aujourd'hui une tropicalisation de la Méditerranée : de nouvelles espèces, de plus en plus nombreuses, et qui couvrent tous les groupes zoologiques, nous arrivent par le canal de Suez, depuis la mer Rouge, ce sont des espèces dites lessepsiennes. On compte par exemple une vingtaine d'espèces nouvelles de nudibranches, les limaces de mer, alors que beaucoup de locales ont disparu au cours du temps. Toutes ces espèces invasives commencent à coloniser le bassin oriental puis, progressivement, gagnent le bassin occidental. Et certaines parviennent à s'installer et entrent en concurrence avec les espèces locales.

>>

(1) La première extinction s'est produite à l'ère primaire, ou Paléozoïque, il y a environ 445 millions d'années.

Ph. Adobe Stock/Damedias

Banc de saupes, Sarpa salpa, *l'un des rares poissons herbivores de Méditerranée, au-dessus d'un herbier de posidonie,* Posidonia oceanica.

> ***“Ce qui est certain, c'est qu'il y a aujourd'hui une tropicalisation de la Méditerranée”***

Ph. P. Lelong

À la faveur du réchauffement des eaux, certaines espèces autrefois rarement observées, comme les barracudas, Sphyraena viridensis, *deviennent de plus en plus présentes.*

PARCOURS

1936
Naissance à Barcelone (Espagne).

1960
Assistant à la Faculté des Sciences de Marseille.

1967
Doctorat ès sciences en biologie marine de l'Université d'Aix-Marseille. Faculté des sciences et techniques de Marseille-Saint-Charles.

1968
Maître de conférence à l'Université d'Aix-Marseille III. Faculté des sciences et techniques de Marseille-Saint-Jérôme.

1972
Responsable scientifique de l'Institut océanographique Paul Ricard.

1975
Professeur titulaire et directeur du Centre d'études des ressources animales marines, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme (Aix-Marseille III, puis Université Paul Cézanne).

1982-2011
Responsable d'un enseignement de 3e cycle (Biologie marine et Océanologie appliquée) à la Station marine de Tuléar (Madagascar). Université de Tuléar.

1989-1995
Conseiller municipal de la Ville de Marseille, délégué à la protection et la valorisation du littoral.

1998
Membre de l'Académie des Sciences, Lettres et Arts de Marseille.

Depuis 2004
Professeur émérite de biologie marine à Aix-Marseille Université (IMBE).

Ph. L. Miard

Le Pr. Nardo Vicente au laboratoire de l'Institut océanographique Paul Ricard, avec l'un des membres de l'équipe de recherche, Damien Kirchhofer.

Deux cormorans, l'un des oiseaux emblématiques des côtes rocheuses méditerranéennes. Habiles plongeurs, ils se nourrissent des poissons qui abondent dans les premiers mètres d'eau.

La préservation des petits fonds côtiers, alternance de fonds rocheux, de zones sableuses, et d'herbiers, est une condition nécessaire au maintien de la biodiversité en Méditerranée.
La sauvegarde des herbiers de posidonie, écosystème majeur, lieu de vie et de reproduction pour de nombreuses espèces, passe par la sensibilisation et l'éducation, notamment en ce qui concerne le mouillage des bateaux de plaisance.

// DOSSIER ➔ Et si la biodiversité était la solution... ? / Entretien avec Nardo Vicente

>>

La bécune à bec jaune, le barracuda, existait, mais les populations actuelles sont de plus en plus nombreuses. Dans le Parc national de Port-Cros, par exemple, autour de l'îlot de la Gabinière dans la réserve intégrale, quelque 400 barracudas immobiles durant la journée partent chasser la nuit, et sont en concurrence alimentaire avec des espèces comme la liche ou le denti. On parle aussi beaucoup aujourd'hui, j'en ai observé à Carry-le-Rouet, du poisson lapin. C'est un phytophage*, il est en concurrence directe avec notre saupe, et sans doute prendra-t-il sa place progressivement.

D'autres, comme le *Lagocephalus*, jusqu'alors inconnu, commencent à être observées régulièrement. Ce poisson-coffre, qui ressemble beaucoup au fugu japonais, doit, comme lui, être préparé très soigneusement pour éliminer les parties contenant le poison, ou neurotoxine, sinon… Un *Lagocephalus* a été pêché et consommé en Tunisie, résultat : cinq morts.

La Méditerranée représente moins de 1% de l'Océan mondial, et on sait qu'elle renferme 9 à 10% de la biodiversité totale. On parle de « hotspot » de biodiversité. Plus de la moitié des espèces méditerranéennes est d'origine atlantique, 28% sont endémiques, et 20% sont présentes partout. Les espèces atlantiques, à la fin de ce siècle, ne seront sans doute plus présentes chez nous. L'écosystème va évoluer, il sera différent, mais on ne peut pas dire s'il sera plus pauvre pour autant.

Le poisson ballon, Lagocephalus sceleratus*, menace lui aussi l'équilibre des espèces indigènes, et présente en outre un risque sanitaire. Extrêmement toxique, sa consommation a déjà fait plusieurs victimes sur le pourtour méditerranéen.*

➔ LE RÉCHAUFFEMENT IMPLIQUE AUSSI, COMME VOUS LE DISIEZ, LE « RÉVEIL » DE CERTAINS PARASITES. DES ESPÈCES SONT-ELLES AUJOURD'HUI MENACÉES DE DISPARITION ?

On ne peut pas dire qu'aujourd'hui des espèces aient déjà disparu, mais au moins 300 d'entre elles sont vulnérables. Et parmi elles, il y a une espèce phare endémique* de la Méditerranée, sur laquelle je travaille depuis les années 1970, la grande nacre, le plus grand coquillage au monde avec le bénitier tropical. Depuis l'ère industrielle, elle était menacée de disparition, à cause des ancres des bateaux, du chalutage, des aménagements du littoral faisant disparaître les lieux de reproduction qui se situent entre quatre et huit mètres de profondeur, et puis bien sûr par les prélèvements abusifs lors de l'avènement du scaphandre autonome.

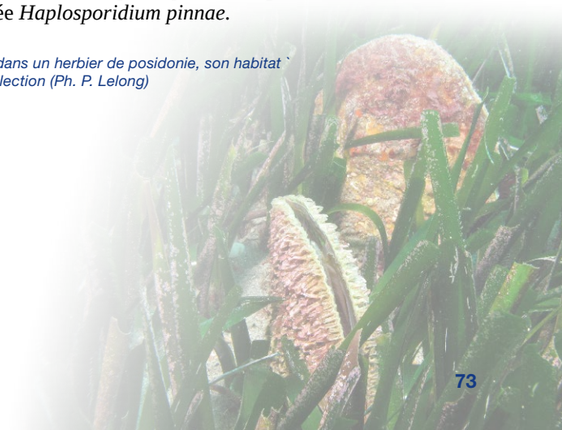
Glossaire

Phytophage
Espèce qui se nourrit exclusivement de matières végétales.

Endémique (espèce)
Désigne une espèce (animale ou végétale) indigène que l'on retrouve en une région particulière et dont la distribution est relativement restreinte.

Quel plongeur de plus de 50 ans n'a pas ramassé dans son existence une nacre ? Moi-même, je l'ai fait, parce que je découvrais l'espèce, étonné qu'une « grande moule » puisse comme ça pousser en Méditerranée ! J'ai commencé à travailler sur le sujet à Port-Cros, en 1970, grâce à la découverte d'un champ de nacres par le commandant Philippe Tailliez, le père et pionnier de la plongée moderne. Alors membre du Conseil scientifique du Parc, il m'avait dit : *« Jeune homme, vous devriez vous occuper de ces charmantes petites bêtes »*, des petites bêtes qui peuvent atteindre un mètre à l'état adulte, et vivre plus de 40 ans !

La protection de l'espèce, en 1992, avait permis de voir les populations se reconstituer considérablement. Mais depuis 2016, on constate une mortalité massive. Le phénomène a débuté sur les côtes espagnoles en septembre 2016, et a gagné très rapidement les côtes des Baléares puis la Corse avec Ajaccio, dès 2017, avec des taux de mortalité pouvant atteindre 80 à 100%. Le responsable est un parasite, que l'on croyait connaître, car il avait décimé en 1957 l'ostréiculture californienne, arrivé avec les eaux de ballast d'un cargo japonais. On pensait qu'il s'agissait de la même espèce, mais ce n'est pas le cas. Cette nouvelle espèce a été déterminée par des spécialistes d'un laboratoire de recherche des îles Baléares, elle est spécifique de la grande nacre, et donc baptisée *Haplosporidium pinnae*.



Nacres dans un herbier de posidonie, son habitat de prédilection (Ph. P. Lelong)

>>

Cet *Haplosporidium* a commencé à s'étendre sur l'ensemble de la Méditerranée : en octobre 2018, à Scandola, à quarante mètres de profondeur, la température était de 22 degrés. Au mois d'août de la même année, les chercheurs de Villefranche-sur-Mer m'appelaient pour me signaler que dans la baie, elle était de 26 degrés à 60 mètres de profondeur… Il y a 30 ans, à cette profondeur, elle était de 13 degrés toute l'année, et ce qu'on appelle la thermocline survenait à une vingtaine de mètres. Aujourd'hui, d'une part la température profonde atteint 14 degrés, d'autre part il faut descendre de plus en plus profond pour la trouver. Les épizooties risquent donc d'atteindre de plus en plus d'autres espèces, comme c'est le cas par exemple du corail rouge qui commence à dépérir à Scandola, au sein même de la réserve, alors qu'il s'agit d'une ressource très importante.

> ***“Les parasitoses risquent de gagner de plus en plus d'autres espèces, comme c'est le cas par exemple du corail rouge”***

➔ LES ÉCOSYSTÈMES VONT ÉVOLUER, MAIS LEUR PROTECTION RESTE INDISPENSABLE. QUEL EST L'IMPACT DES AIRES MARINES PROTÉGÉES SUR LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ ?

Pour moi, les deux exemples clés de l'étude de la biodiversité dans les aires marines protégées (AMP), c'est Port-Cros, la première créée en 1963, puis la Réserve naturelle de Scandola, qui date de 1975. Les travaux qui y ont été lancés ont permis de mieux connaître l'écosystème lui-même, mais surtout de mieux connaître les diverses espèces qui le constituent. Les spécialistes se sont mobilisés dans ces deux aires marines qui sont, 50 ans après, des sanctuaires de vie. Et puis, nous avons un autre exemple, plus récent, le Parc national des Calanques, qui ne date que de 2012, et pour l'instant, nous n'avons que quelques indices de résilience* de l'écosystème. Mais effectivement, dès que l'on protège, on constate que les espèces se reproduisent mieux, elles sont plus nombreuses, grandissent davantage, et produisent de plus grandes quantités d'œufs. C'est le cas chez les poissons par exemple, et donc plus d'alevins vont enrichir le milieu et vont aussi permettre d'alimenter la pêche locale, c'est-à-dire la pêche artisanale, la seule qui s'intègre parfaitement à l'écosystème et qu'il faut donc soutenir.

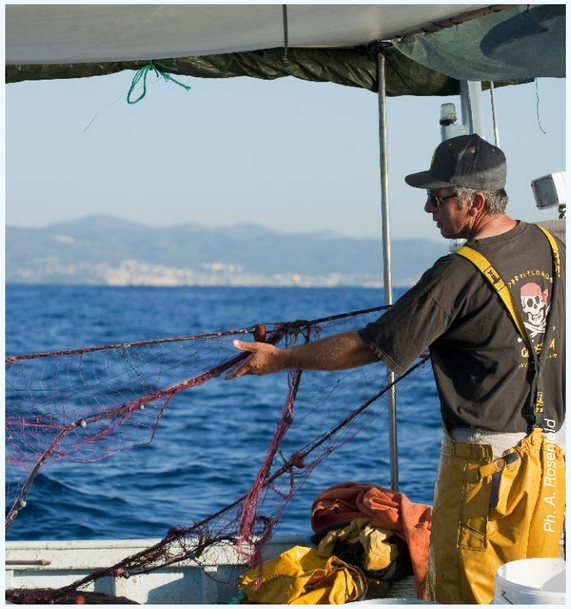
>>

Glossaire

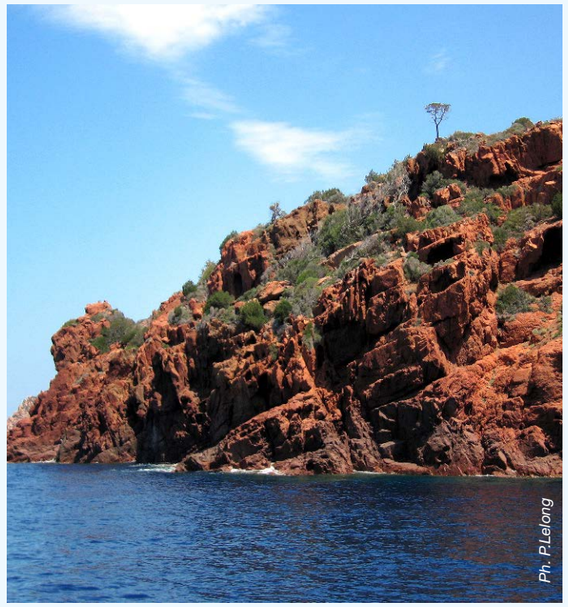
Résilience
Définit la capacité d'un système vivant (écosystème, population, biosphère…) à retrouver les structures et les fonctions de son état de référence après une perturbation.

Gorgones jaunes (Eunicella cavolinii) *dans la calanque de Podestat, au cœur du Parc national des Calanques.*

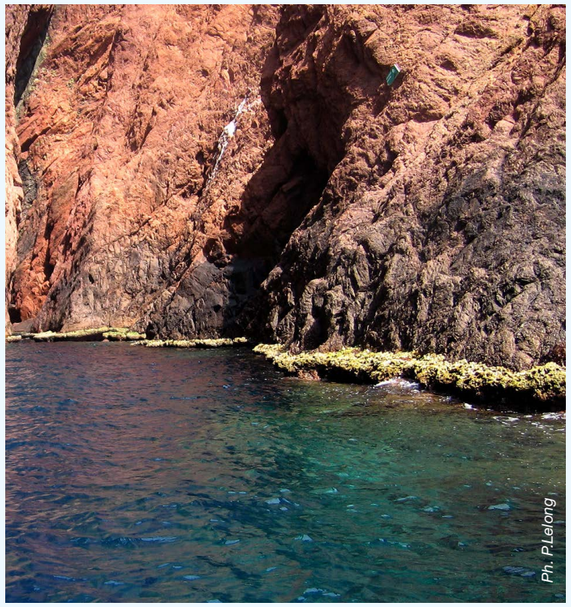
Colonie de corail rouge, Corallium rubrum*, sous un surplomb rocheux. L'espèce, comme d'autres, semble directement menacée par le réchauffement prolongé des eaux méditerranéennes.*



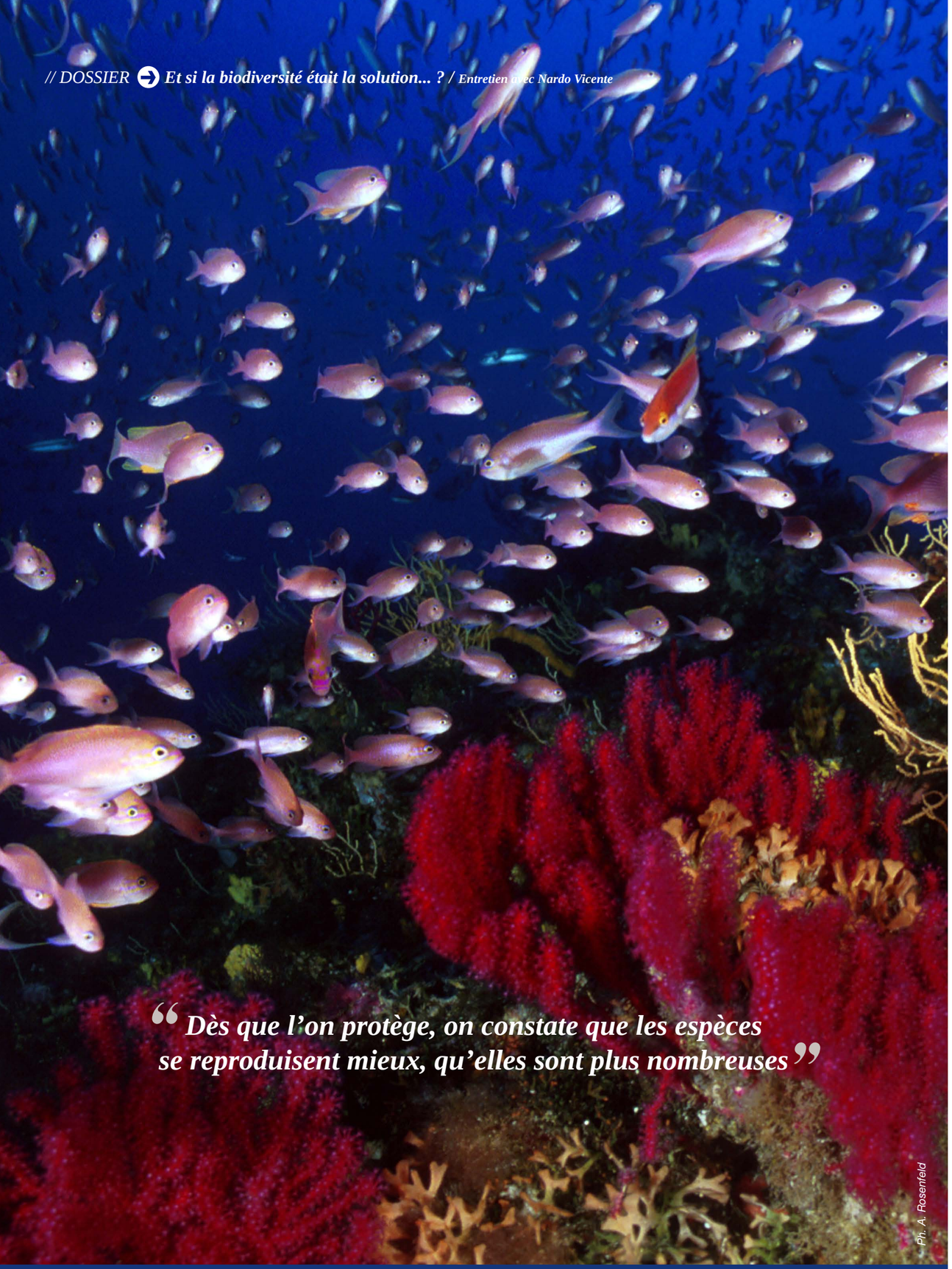
La pêche artisanale, pratiquée à bord de petites embarcations et en utilisant des techniques adaptées, est compatible avec la sauvegarde de la biodiversité méditerranéenne.



Les roches rouges caractéristiques de la Réserve marine de Scandola, seul site méditerranéen actuellement classé au patrimoine mondial marin de l'Unesco, qui bénéficie d'un statut de protection depuis 1975.



On distingue, au pied des falaises, un trottoir coralligène, formé par une algue calcaire, Lithophyllum byssoides*. Sa bonne santé est un indicateur de la qualité des eaux.*



Explosion de vie dans les eaux de l’île du Levant (Var) ! Des bancs d’anthias, Anthias anthias, *évoluent au milieu de véritables forêts de gorgones rouges,* Paramuricea clavata.

// DOSSIER ➔ Et si la biodiversité était la solution... ? / Entretien avec Nardo Vicente

>>

➔ EST-CE QU’ON PEUT DIRE QUE LA MULTIPLICATION DE CES AIRES MARINES PROTÉGÉES EST LA SOLUTION POUR MAINTENIR LA BIODIVERSITÉ ?

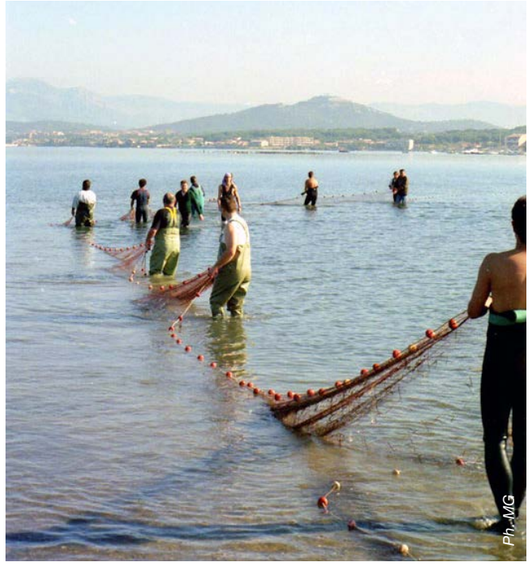
Les expériences que l’on a citées l’ont démontré, et donc à partir de là on a créé de plus en plus d’aires marines protégées tout autour de la Méditerranée. On en compte une centaine, qui fonctionnent bien, avec une bonne gestion. Leurs gestionnaires agissent au sein d’une organisation appelée MedPan, et ils ont des relations permanentes qui leur permettent de voir comment évolue cette biodiversité, si elle se dégrade en certains endroits, si elle s’améliore en d’autres. On a donc aujourd’hui une connaissance des écosystèmes méditerranéens beaucoup plus fine qu’elle ne l’était au tout début de ces études écologiques. Car l’écologie, finalement, est très récente. Elle n’était pas enseignée, véritablement, lorsque j’ai débuté à l’université, au début des années 1960.

Les AMP permettent, de façon certaine, d’améliorer la situation des écosystèmes qui se dégradent par trop tout autour de la Méditerranée à cause des activités humaines souvent délétères, comme le bétonnage, par exemple, qui continue en de très nombreux endroits, sans considération aucune des sites où se reproduisent les organismes. Il faut savoir que la majeure partie de la vie se développe sur une frange littorale très étroite, sur le plateau continental. Et malheureusement, c’est là aussi que se manifeste l’essentiel des nuisances et des pollutions provenant de nos activités. Aujourd’hui on lance d’ailleurs des opérations de réhabilitation de certaines zones littorales, lieux de reproduction et véritables nurseries pour la plupart des espèces.

➔ REVENONS À CE SUJET SUR L’ÎLE DES EMBIEZ, ET PLUS PARTICULIÈREMENT SUR LA LAGUNE DU BRUSC. PEUT-ON TOUJOURS LA CONSIDÉRER AUJOURD’HUI COMME UN HAUT LIEU DE BIODIVERSITÉ ?

La lagune du Brusc, que je connais bien depuis plus de 60 ans, a toujours été un milieu riche en biodiversité. On y pratiquait d’ailleurs une pêche traditionnelle, la seinche*, qui ne détruisait pas l’écosystème, contrairement à ce que l’on a pu dire il y a quelques années. On a interdit cette pratique qui n’était en fait pas responsable de la dégradation de la lagune, dont on a vu progressivement disparaître les herbiers, lieu de reproduction s’il en est, frayères pour de nombreuses espèces. Aujourd’hui l’Institut océonographique Paul Ricard procède à la réhabilitation de cette lagune, depuis qu’elle émarge au réseau européen Natura 2000. Les chercheurs mènent un travail considérable, dans le cadre du programme Sar Lab [2], qui consiste à restaurer le milieu, les herbiers qui existaient, posidonies, cymodocées, zostères.

Seinche (ou senne de plage)
Technique de pêche intéressant les hauts fonds, qui permet de capturer de grandes quantités de sparidés : saupes, daurades, sars, ainsi que d’autres espèces. Il s’agit d’encercler les bancs de poissons en formant un mur de filets au maillage si fin que les espèces ciblées ne peuvent pas se prendre dans les mailles. On amène progressivement les poissons ainsi piégés vers le rivage, et l’on relâche les plus jeunes individus.



Scène de pêche à la « seinche », également appelée « senne de plage », dans les années 1970.

Les anciennes salines de l’île des Embiez (Var) bordent la lagune du Brusc. Classée site Natura 2000, elle est actuellement en cours de restauration, dans le cadre du programme Sar-Lab mené par les chercheurs de l’Institut.

(2) En savoir + : http://www.institut-paul-ricard.org

>>

>>

On constate au bout de quelques années que ce travail porte ses fruits, et l'on voit, grâce à notre expérimentation, réapparaître progressivement ces pelouses indispensables à la biodiversité. C'est un travail de longue haleine, mais qui montre que l'on peut réhabiliter un milieu pour peu que l'on cesse de l'agresser, cela va de soi. Les aménagements aux alentours avaient amené une pollution considérable, qui a provoqué la dégradation de la lagune, et avaient conduit à la modification de certains courants qu'il faut aujourd'hui rétablir. Le changement climatique est sans doute lui aussi responsable de cette modification.

Malheureusement, à proximité, de nouveaux travaux d'aménagements portuaires risquent de perturber encore le milieu lagunaire. Il faut qu'ils soient réalisés de façon extrêmement rationnelle si l'on veut que la vie se maintienne.

> ***“On peut réhabiliter un milieu, pour peu qu'on cesse de l'agresser”***

➔ PORTEZ-VOUS AUJOURD'HUI UN REGARD OPTIMISTE SUR LA MÉDITERRANÉE ?

Je suis une personne foncièrement optimiste, cependant, je suis beaucoup plus inquiet qu'il y a seulement une dizaine d'années. Inquiet à cause du changement climatique global, ne parlons pas uniquement de réchauffement, mais plutôt de perturbations climatiques.

Et en Méditerranée, mer considérée comme extrêmement polluée, encore aujourd'hui, on sait les efforts qui ont été consentis, dans le bassin occidental, par les pays de la Communauté européenne, aujourd'hui Union européenne. Des efforts considérables ont été réalisés depuis les années 1980 en matière de traitement des eaux usées, en matière d'aménagement du littoral, et, également, de protection des espèces et de leurs habitats, avec la création des aires marines protégées. Malheureusement, on continue à dégrader le milieu, au droit de certaines villes très importantes de la Méditerranée Orientale. Je prends l'exemple de Beyrouth, où l'on constate qu'il y a eu des stockages de milliers de tonnes de macro-déchets, qui sont poussés vers le milieu marin, et qui constituent des remblais sur lesquels on construit. C'est totalement aberrant. Des usines, en Tunisie par exemple, continuent à déverser leur pollution sur le littoral, tandis qu'au large d'Alexandrie, on observe des nappes dérivantes d'hydrocarbures… Donc, si on ne traite pas ces problèmes-là, on ne parviendra pas au maintien de la vie en Méditerranée. Encore faudrait-il qu'elle redevienne un espace de paix et de liberté. La biodiversité ne fait pas bon ménage avec les canons ! ■

Entretien avec Isabelle Croizeau
Janvier 2020

Castagnoles juvéniles, *Chromis chromis*

Blennie de roux, *Parablennius rouxi*

Gogonocéphale, *Astrospartus mediterraneus*

Corail solitaire jaune, *Leptopsammia pruvoti*

Crénilabre paon, *Symphodus tinca*

Quelque 12 000 espèces peuplent les eaux méditerranéennes, et représentent environ 10% de la biodiversité de l'Océan mondial

Faux corail, *Myriapora truncata*

Flabelline mauve, *Flabellina affinis*

Rouget, *Mullus surmuletus*

Anémone encroûtante jaune, *Parazoanthus axinellae*

Ph. P. Lelong

INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE PAUL RICARD

Nouvelle plateforme de recherche et formation en biologie marine, aquaculture et innovations durables

À L'HEURE OÙ SE TIENT LE CONGRÈS DE L'UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE (IUCN), L'INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE PAUL RICARD ACHÈVE LA CONSTRUCTION D'UN CENTRE DE COMPÉTENCES ET DE FORMATION. IMPLANTÉ SUR L'ÎLE DES EMBIEZ (VAR), IL SERA UN OUTIL DE POINTE AU SERVICE DU TERRITOIRE.

La nouvelle plateforme de recherche et de formation se situe en bordure des anciens marais salants de l'île des Embiez et de la lagune du Brusc. Elle présente un espace mutualisable de 600 m², qui complète les installations existantes (état d'avancement des travaux en mars 2021).

Ph. IOPR

Du point culminant de l'île des Embiez, on distingue la lagune du Brusc, les marais salants et le centre de recherche.

Ph. P. Leiong

DES RECHERCHES DE POINTE SUR DES THÉMATIQUES CLÉS…

La nouvelle plateforme des Embiez concentrera ses efforts de recherche sur deux grandes thématiques :

Aquaculture du futur, à travers plusieurs programmes :

- NAIADE, qui vise à développer un nouvel aliment à base de protéines d'insectes (voir « Gestion de la ressource », page 58).
- « Projet 13 Océan », ferme « permaquacole » urbaine, conçue pour fonctionner selon le principe de l'économie circulaire.
- Développement de l'aquaculture multitrophique intégrée (AMTI), qui consiste à élever ensemble plusieurs espèces dans des bassins, afin que les déchets d'une espèce servent de nourriture à une autre, et ainsi transformer les déchets en ressources.
- Élevage d'oursins.
- Réutilisation de déchets de la pêche issus de la criée d'Agde pour nourrir des crevettes…

Bioressources, avec des innovations liées à la biologie moléculaire :

- Programme ADN Environnemental (ADNe), lié à l'étude de la biodiversité (voir « Biodiversité », page 58).
- Sar-Lab, lié à la restauration écologique des petits fonds côtiers (voir « Restauration écologique », page 58).
- Marina, développement de peintures antifouling à partir de molécules naturelles.
- Pollutions marines et biotechnologies marines…

… QUI RÉPONDENT AUX ENJEUX DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Il importe, aujourd'hui plus que jamais, de développer des solutions concrètes qui participent à la protection et à la résilience des écosystèmes marins, mais aussi de parvenir à mettre en place des modèles de production aquacole compatibles avec le développement durable. Dans ce sens, les liens avec les collectivités locales et les gestionnaires de l'espace maritime, pour qui la connaissance scientifique doit être une aide à la prise de décision, constituent également un enjeu majeur. La sensibilisation de tous les acteurs professionnels à la préservation de l'Océan et des écosystèmes marins doit aussi être au centre des actions à mener.

DE LA RECHERCHE À LA TRANSMISSION…

La formation et la transmission sont au coeur des objectifs affichés de ce nouvel outil. Les équipements du centre doivent désormais permettre de renforcer l'offre de formation en recherche scientifique appliquée. Il s'agit d'accueillir étudiants, mais aussi chercheurs, venus de France ou de l'étranger, dans des conditions optimales.

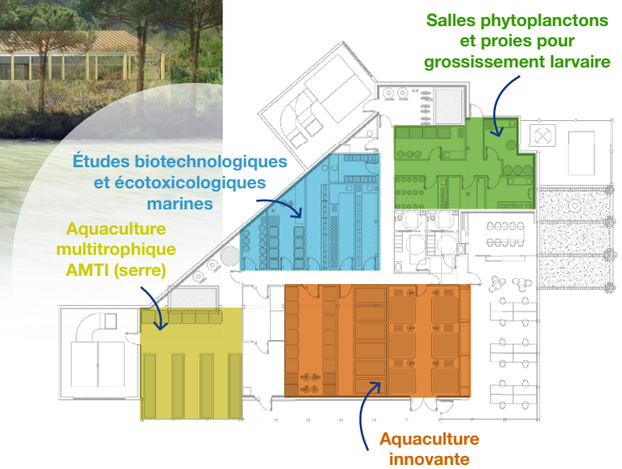
… EN S'INSCRIVANT DANS UN RÉSEAU INTERRÉGIONAL…

De l'Occitanie à la Corse, l'Institut océanographique Paul Ricard s'inscrit déjà dans un champ de collaborations qui regroupe des acteurs locaux et régionaux. Que ce soit dans le domaine de la recherche ou de la formation, le nouveau centre permettra de poursuivre le développement de ce réseau.

… ET EN MULTIPLIANT DES PARTENARIATS SOLIDES, EN FRANCE ET À L'ÉTRANGER

Pour mener à bien ses recherches, la nouvelle plateforme s'appuiera à la fois sur ses partenaires historiques, mais aussi sur un réseau dynamique, aux niveaux régional, national, et international.

Ph. architecte : Luc Lacortigue



Répartition par thématiques des expérimentations et équipements.

INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE PAUL RICARD

Une équipe multidisciplinaire

BIODIVERSITÉ

Robert Bunet, docteur en biologie moléculaire et directeur de l'Institut, travaille particulièrement sur l'ADN environnemental : cette technique novatrice s'appuie sur les traces ADN laissées dans leur environnement par tous les organismes vivants, qui révèlent leur présence ou leur passage récent. Elle permet, par un simple prélèvement d'eau, d'identifier chaque animal, et notamment d'inventorier les espèces nocturnes ou cachées ; ou difficiles à différencier morphologiquement ; les espèces halieutiques d'intérêts économique et patrimonial ; les espèces invasives et exotiques. Elle complète les outils traditionnels des biologistes marins, comme les observations en plongée ou les captures, et s'avère extrêmement utile en matière de gestion et de préservation de la biodiversité.
Le **Pr Nardo Vicente** assure une veille sur l'évolution de l'épizootie qui touche actuellement *Pinna nobilis*, la grande nacre de Méditerranée. Ses travaux portent également sur une meilleure connaissance de l'espèce et sur les interactions qui existent entre les différentes populations méditerranéennes, grâce à des études génétiques.

GESTION DE LA RESSOURCE

A travers le programme NAIADE (Nouvel aliment innovant pour une aquaculture durable et environnementale), mené dans le cadre des FEAMP, Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche (financement Région Sud/Europe), le but est de développer un nouvel aliment à base de protéines d'insectes destiné à une aquaculture durable. ll s'agit d'évaluer l'adaptation des poissons à un nouveau bol alimentaire sur les plans physiologique et morphologique, et d'analyser leur vitesse de croissance en comparaison avec un aliment classique à base de farines de poisson. Le projet a également un objectif de valorisation : de la ressource halieutique locale en développant à terme un label qualité autour de ces poissons d'élevage ; mais également de la filière aquacole en tant qu'acteur engagé dans la préservation du milieu naturel...

RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

Sylvain Couvray, docteur en biologie marine, secondé par **Aurélie Vion**, supervise le programme Sar-Lab. Il consiste à mener des opérations de restauration écologique, en zone portuaire et en zone lagunaire, sur le site atelier de la lagune du Brusc et dans le port de Saint-Pierre des Embiez : installation de *Biohut*, petites structures amovibles et non invasives pour améliorer les fonctions écologiques de ces milieux (nurseries pour les premiers stades de vie des espèces), bouturage de l'herbier de *Cymodocea nodosa* (magnoliophyte marine), et remise en état d'une zone humide, les anciens salins des Embiez. En parallèle, le programme prévoit une surveillance continue du site afin de rassembler des connaissances scientifiques et techniques sur la restauration écologique.

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Rémy Simide, docteur en biologie marine, s'attache particulièrement à la mise en œuvre du programme européen MaCoBios. Son but est à la fois d'améliorer les connaissances biologiques et écologiques sur la manière dont la biodiversité marine répond aux changements climatiques ; mais aussi de modéliser les écosystèmes côtiers, dans le cadre des solutions fondées sur la nature (*nature based solutions*). Il doit conduire à un renforcement des stratégies de gestion et de conservation du capital naturel marin européen, conformément aux travaux de la Convention sur la diversité biologique (CBD), de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), et du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). L'Institut, partenaire du programme, intervient à travers son expertise sur les herbiers de posidonie, et sur la restauration écologique menée dans la lagune du Brusc (Var), en s'appuyant particulièrement sur le programme Sar-Lab.

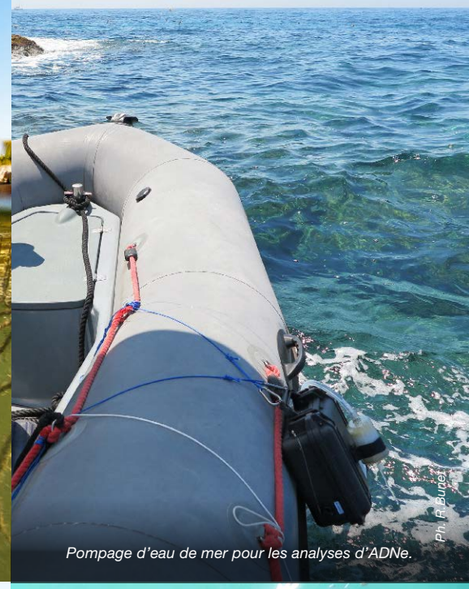
OCEAN LITERACY ET SENSIBILISATION

L'aquarium méditerranéen, géré par **Philippe Aublanc**, son conservateur, présente un certain nombre d'espèces des petits fonds côtiers, afin d'offrir à tous, grands et petits, la possibilité de découvrir le foisonnement de la vie sous les premiers mètres d'eau. Avec l'appui de l'équipe administrative, **Fabienne Orusa** et **Nathalie Caren**, il accueille le grand public et les scolaires au Fort Saint-Pierre, ancienne batterie marine de l'île des Embiez. Par ailleurs, **Aurélie Vion**, assistante ingénieure d'étude, outre l'appui qu'elle apporte au programme Sar-Lab, développe d'autres actions de sensibilisation, comme le partage des connaissances avec les collectivités locales, ou la réalisation de supports pédagogiques à destination du grand public.

Ph. P. Lelong

Observation de l'évolution d'un Biohut dans la lagune du Brusc.

Ph. A. Rosenfeld



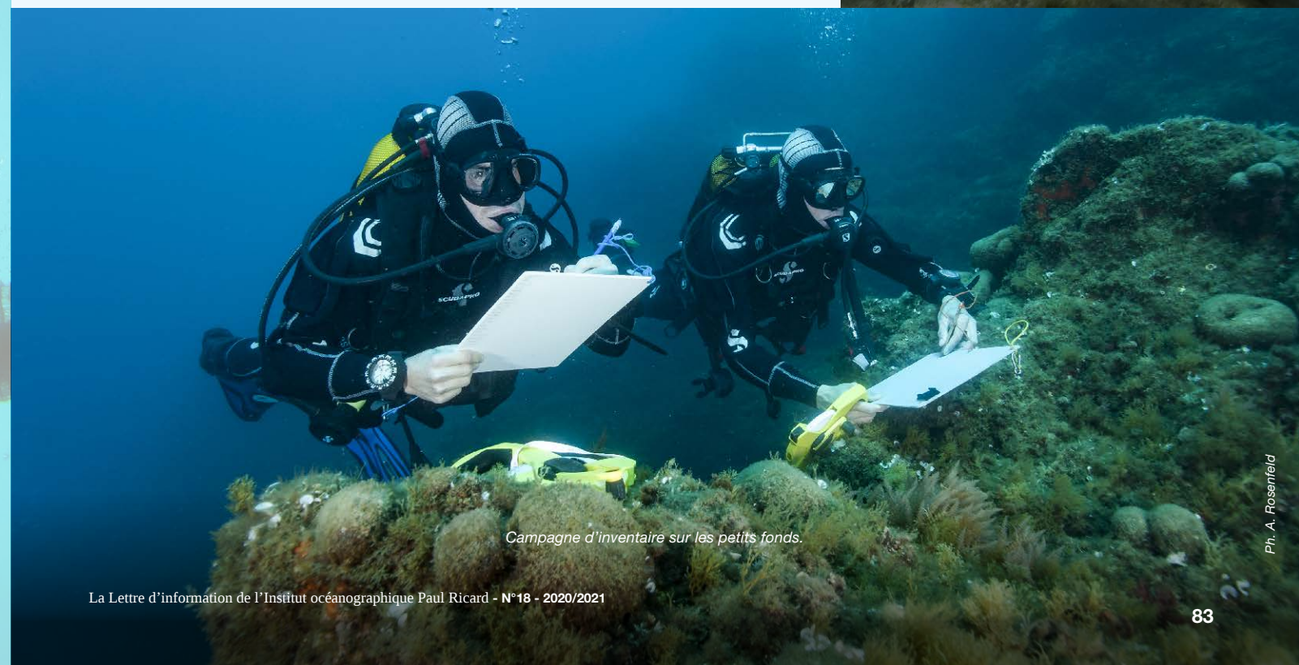
Pompage d'eau de mer pour les analyses d'ADNe.

Ph. P. Lelong

De haut en bas et de gauche à droite : Robert Bunet, Nardo Vicente, Sylvain Couvray, Rémy Simide, Aurélie Vion, Philippe Aublanc, Fabienne Orusa et Nathalie Caren.

Repiquage de cymodocea nodosa dans la lagune du Brusc.

Ph. R. Simide



Campagne d'inventaire sur les petits fonds.

Ph. A. Rosenfeld

ENTRETIEN AVEC

ROBERT BUNET

Directeur de recherche à l'Institut océanographique Paul Ricard

> ***“Les scientifiques vont devoir encore davantage se rapprocher des acteurs de terrain, et les solutions proposées devront de plus en plus s'appuyer sur des solutions offertes par la nature”***

QUELQUES MOIS APRÈS SA PRISE DE FONCTION, LE DR ROBERT BUNET PARTAGE SA VISION DE L'AVENIR. IL NOUS EXPLIQUE COMMENT LE NOUVEAU CENTRE VA DYNAMISER LES PROGRAMMES DE RECHERCHE, ET COMMENT LES CHANGEMENTS GLOBAUX INFLUENCENT AUJOURD'HUI LES TRAVAUX DES BIOLOGISTES MARINS.

➔ QUELLES SONT LES NOUVELLES ORIENTATIONS QUE VOUS SOUHAITEZ DONNER À LA RECHERCHE AU SEIN DE L'INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE PAUL RICARD ?

Il n'est pas question de tout révolutionner ! Les programmes de l'institut s'inscrivent dans une logique pérenne de compréhension des écosystèmes marins (un des fondements de l'*Ocean literacy*). Il n'y a pas de solutions sans connaissance préalable ! Et quelles que soient les techniques employées, les suivis et inventaires de biodiversité pour alerter au besoin et participer à la conservation et à la protection des espèces marines restent et resteront l'un des piliers de l'institut. Nos travaux sont toujours tournés vers une meilleure compréhension des petits fonds côtiers, de leur biodiversité et des phénomènes anthropiques qui peuvent perturber les habitats et organismes vivants qui les peuplent, vers la protection et la restauration des espaces et des espèces qui y vivent, vers la mise en œuvre de solutions innovantes visant à diminuer notre impact sur l'Océan. Et les programmes phares actuellement en cours s'inscrivent pleinement dans cette démarche (voir page 58).

➔ LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ONT-ILS MODIFIÉ LA FAÇON DE TRAVAILLER DES CHERCHEURS, SUR LES THÈMES DE TRAVAIL, ET SUR LA FAÇON DE LES METTRE EN ŒUVRE ?

En effet, les grands enjeux climatiques, environnementaux et démographiques (ou comment nourrir la planète de façon plus durable ?) de ce siècle modifient l'approche des chercheurs. Il est évident que si notre ambition est de répondre, à notre échelle locale, de façon concrète, à ces grands défis, les scientifiques vont devoir se rapprocher encore davantage des acteurs de terrain, et des institutions publiques et gouvernementales pour un impact renforcé. Et à mon sens, les solutions proposées devront se rapprocher de plus en plus des solutions offertes par la nature. Et elles devront impérativement, pour des questions économiques et d'adaptation aux singularités locales, être faciles à mettre en œuvre et de technicité modérée. Nous espérons mettre en place le concept du « *low tech/ high efficiency* », c'est-à-dire le moins de technologie possible pour une efficacité optimale !

Dr Robert Bunet en cours d'échantillonnage.

➔ VOUS INSISTEZ SUR LA NÉCESSITÉ, DANS CETTE OPTIQUE, DE METTRE EN PLACE UNE APPROCHE INTÉGRÉE…

Etant donné les enjeux des programmes de l'institut pour les trois prochaines années, on se rend bien compte que la recherche de solutions innovantes repose désormais sur une multidisciplinarité de la recherche. L'approche intégrée, c'est-à-dire celle qui fait intervenir au sein d'une même équipe différentes disciplines scientifiques et experts de terrain (sciences dures, sciences techniques et ingénierie, sciences humaines, économiques et sociales, professionnels du secteur, etc.) devra se développer par le biais de partenariats forts afin de tirer le meilleur des données et des connaissances acquises et leur offrir une applicabilité au niveau des territoires en terme de proposition de solutions novatrices. Le programme NAIADE en est un bon exemple. Financé à part égale par le FEAMP (Fonds européens pour la pêche) et la Région Sud, il est basé sur la recherche de solutions innovantes afin de rendre plus durable notre aquaculture actuelle, et particulièrement sur la mise au point d'une nourriture pour les poissons d'élevage à base de farines d'insectes et de microalgues, moins énergivores et moins impactantes pour les écosystèmes marins. Cette étude, qui met autour d'une même table les acteurs du secteur (aquaculteurs, gestionnaires du territoire, producteur d'insectes et scientifiques) se situe bien dans cette mouvance : il s'agit de retrouver un peu de sobriété et de bon sens en termes de bilan carbone et d'utilisation des ressources vivantes.

➔ COMMENT LE NOUVEAU CENTRE DE RECHERCHE ET DE FORMATION VA-T-IL S'INSCRIRE DANS CETTE DÉMARCHE ?

Ce projet, qui focalise actuellement toute notre attention et notre énergie, s'inscrit doublement dans la démarche. Notre nouveau centre de recherche, mais aussi plateforme de formation adossée à notre laboratoire, est une structure innovante mutualisable de 600 m², aux installations de pointe. Elle permettra d'une part de disposer de tous les équipements nécessaires pour renforcer les capacités de développement de solutions en matière d'aquaculture durable, de restauration écologique, de biotechnologie marine et des solutions fondées sur la nature (biomimétisme). Une grande partie de la nouvelle plateforme expérimentale sera d'ailleurs dédiée aux recherches en aquaculture innovante. Elle permettra aussi de multiplier les collaborations avec d'autres laboratoires français et étrangers dont les compétences sont complémentaires aux nôtres et qui doivent être encouragées.

➔ COMMENT IMAGINEZ-VOUS LA TRANSMISSION DU SAVOIR AU PUBLIC, CE QUE L'ON APPELLE AUJOURD'HUI L'*OCEAN LITERACY* ?

L'Institut océanographique Paul Ricard, depuis sa création, a toujours joué un rôle fort dans ce domaine. Cette transmission, comme cela est le cas depuis près de 60 ans, doit continuer à se faire avec simplicité, et le plus objectivement possible.

>>

Robert Bunet et un étudiant sud-coréen accueilli à l'Institut.

>>

ROBERT BUNET NOUS PARLE DE
SON PARCOURS

Comme tout bon étudiant ayant l'envie de faire de longues études en science, mais ne sachant pas forcément comment m'y prendre et vers quoi me diriger, j'ai commencé par me chercher avant de chercher !

Ph. S. Granzotto

Après une année en prépa intégrée d'école d'ingénieur, qui manquait cruellement pour moi de matières « vivantes », j'ai décidé de revenir à un cursus universitaire classique en m'orientant vers la biologie : DEUG, Licence puis Maîtrise (Master I) en biologie cellulaire, physiologie et microbiologie, avant un DEA (Master II) avec six mois de stage en laboratoire de microbiologie et biologie moléculaire qui m'a donné l'envie d'aller plus loin et de poursuivre avec une thèse de doctorat en microbiologie et génétique moléculaire, réalisée en Allemagne. Je travaillais alors sur la compréhension des mécanismes de régulation de gènes impliqués dans la synthèse de molécules antibiotiques chez une bactérie (la grande majorité des antibiotiques utilisés en médecine humaine et vétérinaire proviennent du métabolisme de microorganismes. Si petits mais si utiles !).

À la suite de cette thèse, j'ai continué avec trois années en post-doc à étudier l'expression des gènes de synthèse de molécules actives chez les bactéries. Puis j'ai été débauché par une start-up de l'Université de Cambridge avec pour objectif de mettre au point des nouvelles molécules thérapeutiques grâce à des techniques, innovantes à l'époque, de bio-ingénierie moléculaire. On fabriquait alors des microorganismes génétiquement modifiés pour leur faire synthétiser des substances actives anti-inflammatoires.

Après trois années en Angleterre, je suis revenu dans le sud de la France où j'ai pu trouver un poste d'ATER (Attaché Temporaire à l'Enseignement et à la Recherche) à l'université de Toulon. J'y ai enseigné et effectué quelques recherches sur l'impact des polluants d'origine anthropique sur l'adaptation génomique et génétique de l'oursin comestible de Méditerranée, *Paracentrotus lividus*. C'était en 2012. C'est à cette période précise que ma carrière à pris un tournant vers le milieu marin.

La génétique moléculaire étant incontournable dans tous les grands domaines de la biologie dont la biologie marine (tous les organismes vivants possèdent un patrimoine génétique unique sous forme d'ARN ou d'ADN qui nous renseigne sur leur biologie), j'ai intégré l'équipe de l'Institut océanographique Paul Ricard en 2014 en tant que chercheur. J'y ai fait mes premières plongées scientifiques. En 2020, suite au départ à la retraite de notre directeur de la recherche, Jean-Luc Bonnefont, je poursuis cette aventure avec la double casquette de chercheur et de directeur scientifique.

Ph. P. Lelong

« Il s'agit de retrouver un peu de sobriété et de bon sens en termes de bilan carbone et d'utilisation des ressources vivantes »

Ph. Adobe stock/Damedias

BIOMIMÉTISME MARIN

Des solutions fondées sur la nature

PLUS QUE JAMAIS, LE BIOMIMÉTISME, QUI CONSISTE EN QUELQUE SORTE À S'APPUYER SUR LE GÉNIE DE LA NATURE, EST AU CŒUR DES SOLUTIONS À ADOPTER, DANS UN CONTEXTE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE MISE EN PLACE D'UNE ÉCONOMIE BLEUE. CETTE APPROCHE CONSISTE À OBSERVER LA NATURE ET SES PHÉNOMÈNES, À ESSAYER DE LES COMPRENDRE ET D'EN TIRER DES INNOVATIONS PROFITABLES.

Les domaines auxquels la démarche peut s'appliquer sont innombrables ! Elle fonctionne notamment en matière d'aquaculture, comme l'ont d'ailleurs déjà montré les premières expérimentations menées il y a quelques années au sein de l'Institut en matière d'aquaculture multitrophique intégrée. Cette technique aquacole consiste à associer plusieurs espèces dans une même ferme à terre, de façon à ce que les déchets produits par les uns nourrissent les autres. En imitant l'écosystème naturel, on peut ainsi créer un modèle circulaire d'élevage, beaucoup moins gourmand en énergie et qui nécessite bien peu d'apports extérieurs. En quelque sorte, la nature se débrouille ! Le biomimétisme s'applique aussi par exemple aux recherches menées sur les peintures antifouling : en s'inspirant des propriétés anti-adhésives de certains organismes marins, on pourra à terme remplacer totalement les peintures antisalissure toujours polluantes, même si certains composants sont désormais interdits. Là encore, l'Institut a apporté son concours à travers le programme MARINA*.

DES FORMES, DES MATÉRIAUX, DES ÉQUILIBRES…

Ailleurs, comme par exemple dans le cadre du projet GIREL mené dans le port de commerce de Marseille, il s'agit de développer des micro-habitats biomimétiques d'herbiers de posidonie : l'idée est de reproduire, artificiellement, la fonctionnalité de nurserie des herbiers caractéristiques du milieu, perdue ou dégradée suite aux aménagements portuaires réalisés. D'autres micro-habitats, inspirés quant à eux du fonctionnement symbiotique des oursins diadèmes tropicaux qui servent d'abri aux juvéniles face aux prédateurs, doivent permettre d'améliorer le taux de réussite du cycle de développement des espèces présentes. Tout comme le font les Biohut, aujourd'hui installés dans plus d'une trentaine de sites le long de la côte méditerranéenne.

DES PROJETS DE PLUS EN PLUS NOMBREUX

Partout, les projets se multiplient. Comme par exemple, la technologie développée par Eel Energy, dont l'équipe est basée à Boulogne-sur-Mer. Son prototype d'hydrolienne à membrane ondulante s'appuie quant à elle sur l'énergie naturelle des courants. Les premiers développements portent pour l'instant sur les hydroliennes alimentées par les courants de marées, mais des applications sont déjà envisagées pour les courants océaniques et fluviaux. Cette technologie permettrait à de nombreux pays disposant d'une surface côtière, particulièrement en Europe de l'Ouest et en France, de produire facilement une énergie renouvelable.

La démarche biomimétique peut aujourd'hui prendre mille visages, tant les champs d'application sont nombreux : certains programmes concernent les formes et les structures, d'autres les matériaux, d'autres enfin les équilibres naturels produits par les écosystèmes. Mais tous vont dans la même direction. Ils consistent à nous appuyer sur les millions d'années d'expérience de la nature pour trouver des solutions innovantes de développement durable. Pour parvenir à une véritable croissance bleue.

** Retrouvez nos programmes complets sur le site de l'Institut : www.institut-paul-ricard.org*

Ph. T. Miard

Ph. R. Bunet

Pour ralentir le phénomène naturel de fixation sur les coques de bateaux d'algues et animaux, on utilise des peintures antisalissures efficaces mais pas inoffensives. D'où l'intérêt de trouver des molécules naturelles qui assurent le même effet sans être néfastes à l'environnement. C'est l'objet du programme MARINA développé par l'Institut.

Ph. R. Bunet

“ Nous avons une décennie pour changer les choses et nous avons tous un rôle à jouer ”

Alexis Rosenfeld

1 OCEAN, LE GRAND TÉMOIGNAGE SUR L’OCÉAN
UNE DÉCENNIE D’EXPLORATION SOUS-MARINE

La campagne d’exploration « 1 OCEAN » nous emmènera dans les 10 ans à venir dans toutes les mers du monde pour porter un message clair : l’Océan est unique, sans frontière, et sa préservation doit être l’affaire de tous. Un projet de la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l’UNESCO et du photographe Alexis Rosenfeld, soutenu par l’Institut océanographique Paul Ricard et le groupe Pernod Ricard.

Alors que s’ouvre cette année la Décennie des Nations Unies pour les sciences océanographiques au service du développement durable, dont la mise en œuvre est coordonnée par la COI-UNESCO, le projet photographique d’Alexis Rosenfeld souhaite mêler exploration et partage. Il met en lumière le rôle central de la connaissance et veut s’appuyer sur la puissance de l’image pour changer les comportements, dans la ligne de ce que l’on appelle l’*Ocean literacy*.
« *Partager la connaissance*, rappelle Vladimir Ryabinin, secrétaire exécutif de la COI-UNESCO, *transmettre le savoir, sensibiliser sur ce monde merveilleux sans frontière fait partie des actions clés de la Commission océanographique intergouvernementale de l’UNESCO. Le projet 1 OCEAN se fait le relais, auprès des décideurs, des scientifiques et du grand public, des préoccupations environnementales de l’UNESCO.* »

1000 PHOTOGRAPHIES POUR UNE DÉCENNIE

Le travail d’Alexis Rosenfeld nous entraînera dans tous les océans et toutes les mers du monde, au gré des missions scientifiques et d’exploration qui permettront de découvrir mille facettes du milieu marin, à travers ses habitants, mais aussi à travers les travaux de recherche menés pour les connaître et les protéger. À travers l’émotion photographique, c’est une invitation à une prise de conscience de la beauté fragile de l’Océan mondial, et des menaces qui pèsent de plus en plus sur les écosystèmes.

Une exposition photographique consacrée au projet sera présentée, en parallèle du congrès mondial de la nature de l’UICN à Marseille, du 30 août à la fin du mois d’octobre. Deux autres expositions sont prévues dans des gares parisiennes, dans la continuité d’autres collaborations déjà menées avec SNCF Gares & Connexions.

Au large de la Nouvelle-Calédonie, serpent à tête de tortue Emydocephalus annulatus.
Il arbore ici une robe rayée, qui peut parfois devenir entièrement noire dans les zones anthropisées.

Ph. A. Rosenfeld

LA LETTRE
D'INFORMATION
N°18 - 2020/2021

2021 2030 United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development

« Parallèlement à une meilleure compréhension par la science, nous devons aussi renforcer notre travail sur l'Ocean literacy… »

Audrey Azoulay,
Directrice générale de l'UNESCO,
lors de l'ouverture de la 51e session
*du Conseil exécutif de la COI**

(*) Commission océanographique intergouvernementale

CRÉER OU RECRÉER DE VÉRITABLES LIENS ENTRE LES HOMMES ET L'OCÉAN…

L'Ocean literacy, un enjeu majeur

La Décennie des Nations unies pour les sciences océaniques au service du développement durable, annoncée en 2017 lors de la 72e Session de l'Assemblée Générale des Nations Unies, a démarré en février 2021. Cette Décennie est une véritable reconnaissance de l'importance du rôle joué par l'Océan dans la régulation du climat : en soutenant les sciences océaniques, la communauté internationale souhaite ainsi augmenter nos chances d'atteindre les Objectifs de Développement durable fixés par l'Agenda 2030.

Mais le partage des connaissances sur l'Océan, pour gagner en efficacité, devra impérativement s'appuyer sur ce que l'on appelle l'*Ocean literacy*.

L'*OCEAN LITERACY* S'APPUIE SUR SEPT GRANDS PRINCIPES :

1. La Terre n'a qu'un seul Océan, même s'il a des caractéristiques multiples
2. L'Océan et la vie océanique dessinent les caractéristiques terrestres
3. L'Océan joue un rôle majeur dans l'évolution du climat
4. L'Océan a rendu la Terre habitable
5. L'Océan abrite une grande diversité de formes de vies et d'écosystèmes
6. L'Océan et les hommes sont inextricablement connectés
7. L'Océan est largement inexploré

Le but est de faire de chacun d'entre nous, partout à travers le monde, des citoyens éclairés, en augmentant notre connaissance des écosystèmes marins, en nous aidant à prendre conscience de l'importance de leur préservation, notamment à travers des programmes éducatifs ; et de créer, ou de recréer, de véritables liens entre les hommes et l'Océan. La Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO propose de partager les connaissances sur les océans du monde grâce à la création d'un portail internet (*Ocean Literacy Portal*) : ***oceanliteracy.unesco.org/fr/.***

INSTITUT PAUL RICARD OCÉANOGRAPHIQUE
www.institut-paul-ricard.org

Imprimé sur papier 100% recyclé. IMPRIM'VERT®

Crédits Photos : AdobeStock/hakase420