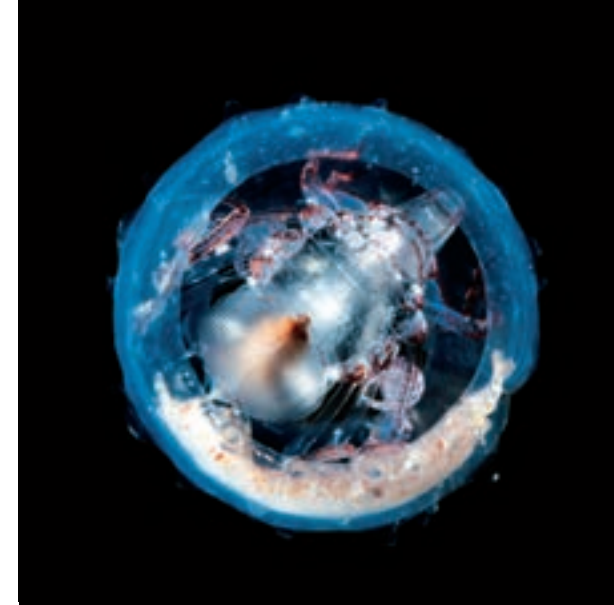




**GUIDE**  
DE L'EXPOSITION  
**L'Océan**  
RÉGULATEUR  
**DU CLIMAT**



EXHIBITION  
**GUIDE**  
**THE OCEAN**  
AS A CLIMATE  
**REGULATOR**



FONDS FRANÇAIS POUR  
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

EXPOSITION

# L'OCÉAN RÉGULATEUR DU CLIMAT



**En plus d'un hymne à la biodiversité marine, cette exposition a pour objectif d'aider les décideurs et le grand public à mieux comprendre le rôle de la planète bleue dans le climat et l'importance de la prendre en considération dans chacune des décisions politiques de ce XXI<sup>ème</sup> siècle.**

Les écosystèmes marins et côtiers ont un rôle capital dans la régulation du climat et dans l'atténuation des impacts des dérèglements climatiques : amortissement de la houle et des vagues, lutte contre l'érosion, atténuation de l'impact des tsunamis, etc.

Au travers de témoignages de chercheurs français et de la principauté de Monaco, et d'œuvres photographiques et picturales, le visiteur de l'exposition est invité

à partager l'extraordinaire capacité de régulation de ces écosystèmes, la complexité de leurs interactions et leur biodiversité, qui contribuent à renforcer la stabilité et la résilience de notre planète.

Le plancton dans toute sa diversité, les herbiers en Méditerranée, les mangroves et les récifs dans les régions tropicales, ainsi que les macro-algues sont à l'honneur.

Nous souhaitons également partager les interrogations des scientifiques face aux changements déjà amorcés : rejet de gaz à effet de serre, augmentation de la température, augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, etc.

Cette exposition est née de l'ouvrage collectif «Les écosystèmes marins dans la régulation du climat» coordonné par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) en partenariat avec la Fondation Tara Expéditions.

Elle n'aurait pas pu voir le jour sans les apports des nombreux scientifiques qui y ont contribué.

Elle s'inscrit dans le prolongement de l'Accord de Paris, adopté lors de la COP21 et souligne l'engagement du Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) et de ses partenaires, la Fondation Prince Albert II de Monaco et la Fondation TARA Expéditions, à soutenir la préservation et la valorisation des écosystèmes marins et côtiers.



EXHIBITION

# THE OCEAN AS A CLIMATE REGULATOR

**In addition to lauding our planet's marine biodiversity, this exhibition aims to help decision makers and the general public better understand the Blue Planet's role in terms of climate and the importance of taking this into account for every twenty-first century policy decision.**

*These marine and coastal ecosystems also play a key role in mitigating the impacts of climate changes and regulating the climate, such as compensating for ocean swell and waves, combating erosion and mitigating the impact of tsunamis.*

*Through testimonies by French researchers and the Principality of Monaco, and photographic and pictorial works, the exhibition visitor is invited to share the extraordinary*

*regulation capacity of these ecosystems, the complexity of their interactions and biodiversity, which contribute to strengthening the stability and the resilience of our planet.*

*Plankton in all its diversity, as well as Mediterranean sea grass, mangroves and reefs in the tropics, and macroalgae are all in the spotlight.*

*We also want to share scientific questions about the changes already under way such as greenhouse gas emissions, increased temperature, increased CO<sub>2</sub> in the atmosphere, etc.*

*This exhibition grew out of the collective work on «Marine ecosystems in climate regulation,» coordinated by the French Facility for Global Environment (FFEM) in partnership with the Tara Expeditions Foundation.*

*It would not have been possible without the aid of the many scientists who contributed.*

*It is part of the extension to the Paris Agreement, adopted at COP21, and underlines the commitment of FFEM and its partners, the Prince Albert II of Monaco Foundation and the Tara Expeditions Foundation, to supporting the preservation and the development of marine and coastal ecosystems.*







## L'OCÉAN, RÉSERVOIR DE VIE

« L'océan constitue le plus grand espace de vie de la planète et couvre actuellement 70,8 % de la surface de la Terre.

Avec une profondeur moyenne d'environ 3 800 mètres, il faut plutôt penser l'océan en volume, de l'ordre de 1,37 milliard de km<sup>3</sup>.

La principale caractéristique de ce gigantesque milieu est sa continuité, donc sa connectivité. »

**Gilles Boeuf**

### EPONGES ET ANÉMONES (YASAWAS, FIJI)

La stabilité de l'océan, au moins depuis 100 millions d'années, est tout à fait extraordinaire : pH, pression osmotique et salinité, température, contenu en gaz dissous.

La biodiversité marine qui s'y développe, encore largement méconnue, est considérablement plus qu'une liste d'espèces, c'est tout un ensemble d'interactions établies entre les êtres vivants et avec leur environnement.

A partir de cette biodiversité, les hommes pêchent depuis des temps ancestraux, certainement des centaines de milliers d'années.

Initialement la vie fut exclusivement marine et l'océan actuel garde son rôle primordial dans l'évolution de la vie et du climat.

## THE OCEAN, RESERVOIR OF LIFE

*"The ocean is the largest living space on the planet and now covers 70.8% of the surface of the Earth.*

*With an average depth of about 3,800 metres, we must instead think of the ocean as a volume of about 1.37 billion km<sup>3</sup>.*

*The main feature of this gigantic environment is its continuity, and therefore its connectivity."*

**Gilles Boeuf**

### SPONGE AND ANEMONES (YASAWAS, FIJI)

*The stability of the ocean, over the last 100 million years at least, has been quite extraordinary in terms of its pH, osmotic pressure and salinity, temperature, and dissolved gas content.*

*The marine biodiversity which has developed within it, and is as yet largely unrecognised, is considerably more than a list of species, it is a whole set of established interactions between living creatures and their environment.*

*Mankind have been using this biodiversity as a fishing resource since the times of their ancestors, which certainly equates to hundreds of thousands of years.*



## L'OCÉAN, RÉSERVOIR DE CHALEUR

« La machine climatique fonctionne grâce à l'énergie solaire et l'océan en est le principal récepteur : il absorbe près de 60 % du rayonnement solaire qui entre dans le système climatique.

L'atmosphère, assez transparente au rayonnement solaire, en absorbe deux fois moins. »

**Bruno Voituriez**

### PASSE SUD DE FAKARAVA, POLYNÉSIE FRANÇAISE

Les échanges permanents d'énergie et de chaleur entre atmosphère et océan induisent des modifications de température et de salinité. Les variations de densité qui en résultent produisent une circulation profonde, dite « thermohaline » : les eaux les plus denses plongent, les plus légères remontent.

Ces courants océaniques redistribuent l'excès de chaleur reçu dans les zones équatoriales vers les pôles.

La circulation thermohaline - Source Rapport 2001 du GIEC  
*Thermohaline circulation - Source IPCC 2001 Report*

## THE OCEAN, RESERVOIR OF HEAT

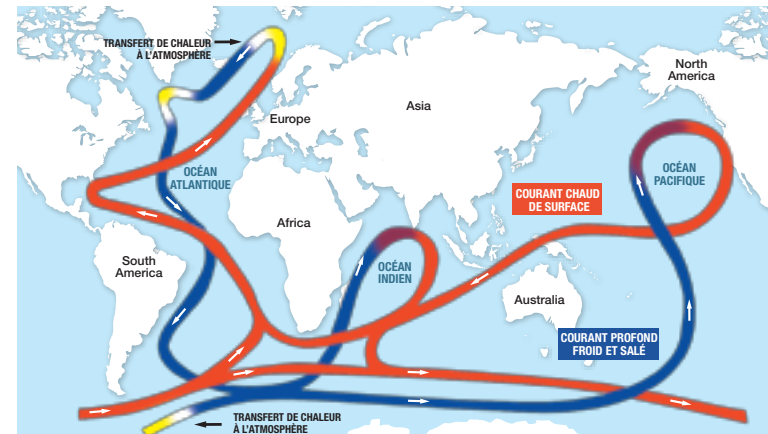
"The climate system works through solar energy and the ocean works as its main receiver: it absorbs almost 60% of solar radiation entering the climate system.

The atmosphere, fairly transparent to solar radiation, only absorbs half as much."

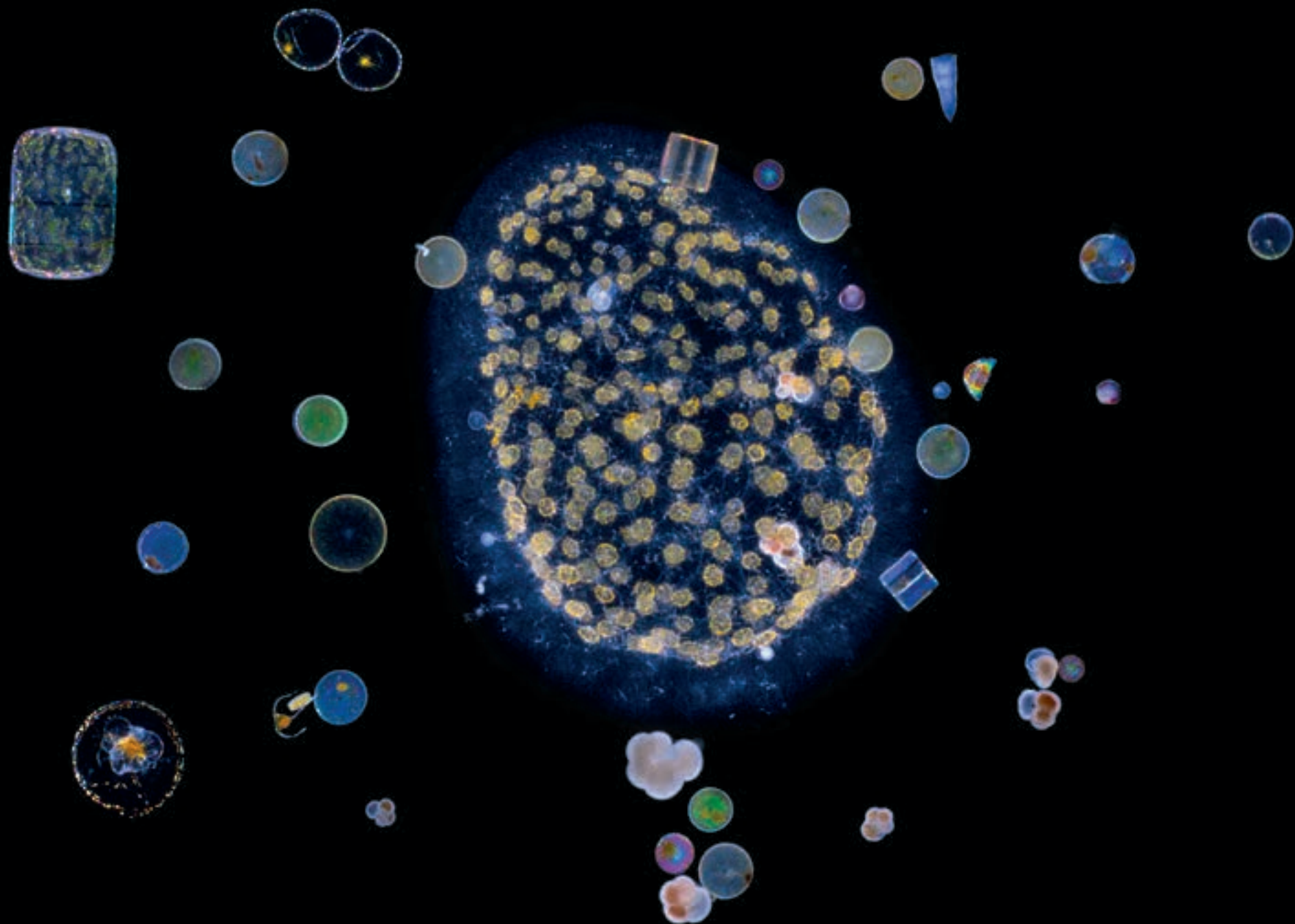
**Bruno Voituriez**

### SOUTH OF FAKARAVA, FRENCH POLYNESIA

The ongoing exchange of energy and heat between the ocean and the atmosphere causes temperature and salinity changes. The resulting density variations produce a large-scale circulation, called "thermohaline" in which the denser water sinks, and the lighter water rises. These ocean currents redistribute excess heat from equatorial regions to the poles.









## A L'ORIGINE DU VIVANT, LE PHYTOPLANKTON

« Plancton, atmosphère et climat sont irrémédiablement liés et cela depuis les premières traces de vie sur la planète. Cette histoire commence il y a plus de 3 milliards d'années, quand des cyanobactéries photosynthétiques, tirant leur énergie de la lumière du soleil, ont commencé à injecter de l'oxygène dans une atmosphère primitive qui en était dépourvue. »

**Christian Sardet**

### MÉLANGE DE PROTISTES. BAIE DE TOBA (JAPON)

Les organismes microscopiques du plancton capables de photosynthèse - le phytoplancton - sont de grands régulateurs du climat par leur capacité à fabriquer de la biomasse, absorbant et régulant ainsi le CO<sub>2</sub> atmosphérique.

En fin de vie, cette matière organique sédimente sous forme de cadavres, détritiques et déjections, nourrissant les créatures des abysses. Depuis des millions d'années, cette « neige marine » emmène au fond des océans une gigantesque quantité de carbone. L'ensemble du processus constitue la « pompe à carbone ».

## THE ORIGINS OF LIFE, PHYTOPLANKTON

*"Plankton, atmosphere and climate have been irremediably linked from the very first traces of life on the planet. This story begins over 3 billion years ago, when photosynthetic cyanobacteria, drawing their energy from sunlight, began injecting oxygen into a primitive atmosphere that was devoid of it."*

**Christian Sardet**

### MIXTURE OF PROTISTS TOBA BAY (JAPAN)

*The microscopic plankton organisms capable of photosynthesis - phytoplankton - are major regulators of the climate through their ability to produce biomass, thus regulating and absorbing atmospheric CO<sub>2</sub>. In later life, this organic matter creates a shower of sediment in the form of dead material, detritus and excrement, which feeds abyssal zone creatures.*

*Over millions of years, this «marine snow» takes a huge amount of carbon with it to the ocean floor. The process as a whole is called the "carbon pump".*





## L'OCÉAN, ACTEUR DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

« Acteur, parce qu'il a largement contribué à atténuer l'ampleur du changement climatique contemporain, en absorbant 93 % de la chaleur accumulée dans l'atmosphère du fait de l'augmentation de l'effet de serre ; en captant plus du quart des émissions de CO<sub>2</sub> d'origine anthropique depuis 1750 ; et en recevant la quasi-totalité de l'eau produite par la fonte des glaces.»

**Jean-Pierre Gattuso et Alexandre Magnan**

### LAGON DE RANGIROA À MARÉE BASSE

L'océan est également victime du changement climatique. L'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau de mer entraîne une diminution du pH et une réduction des ions carbonate. Ce phénomène, connu sous le nom d'acidification de l'océan, menace tous les organismes marins qui possèdent un squelette calcaire. La température des eaux océaniques de surface augmente. Les conséquences seront majeures : migration d'espèces, perturbation des échanges d'oxygène, blanchissement des récifs coralliens. L'élévation du niveau de la mer aura également comme effets la submersion plus ou moins temporaire des plaines côtières et la salinisation des sols en zone littorale.

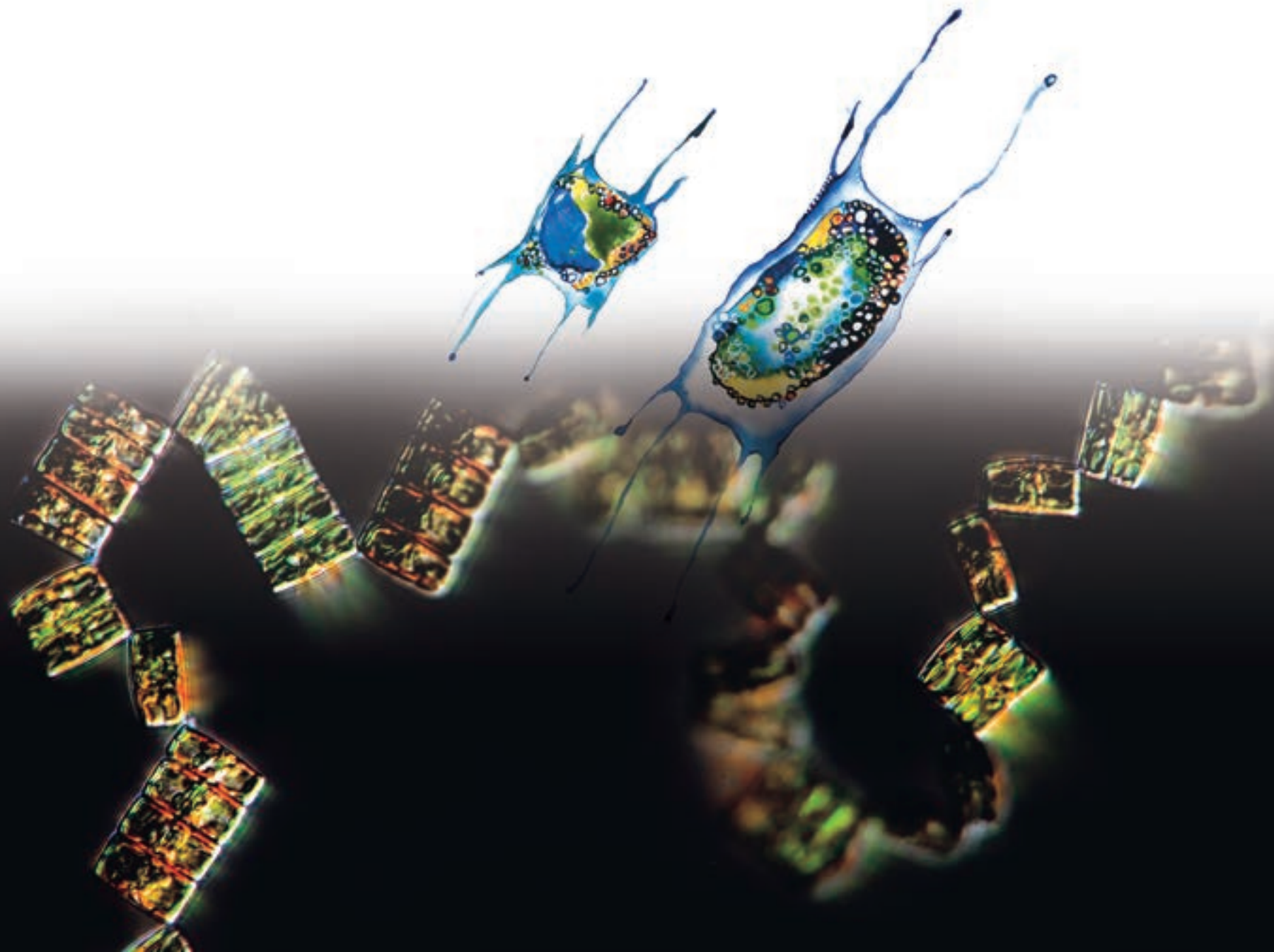
## THE OCEAN, A KEY PLAYER IN CLIMATE CHANGE

*"It is an agent, because it has contributed towards reducing the magnitude of contemporary climate change, absorbing 93% of the accumulated heat in the atmosphere due to the increase in the greenhouse effect; capturing more than a quarter of CO<sub>2</sub> emissions from anthropogenic sources since 1750; and accommodating almost all of the water produced by melting ice."*

**Jean-Pierre Gattuso and Alexandre Magnan**

### RANGIROA LAGOON AT LOW TIDE

*The ocean is also a victim of climate change. The increase in the CO<sub>2</sub> content dissolved in sea water causes a decrease in pH and a reduction of carbonate ions. This phenomenon, known as ocean acidification, is a threat to all the marine organisms that have a calcareous skeleton. The temperature of ocean surface water is increasing. The consequences will be major: species migration, disruption of oxygen exchanges and coral bleaching. Rising sea levels will also have an impact in the more or less temporary flooding of coastal plains and salinisation of soils in coastal areas.*





## LES DIATOMÉES, MOTEURS DE LA POMPE À CARBONE

« Grâce à leurs parois siliceuses lourdes, les diatomées sont considérées comme les principales actrices de la pompe biologique à carbone car mortes, elles plongent vers les grandes profondeurs et génèrent un flux net vertical de carbone qui peut être stocké sur de longues périodes géologiques. »

**Chris Bowler**

### CHAÎNE DE DIATOMÉES PENNÉE (ATLANTIQUE SUD) ET AQUARELLE

La caractéristique la plus spectaculaire des diatomées est leur paroi cellulaire à base de silice finement structurée qui présente une étonnante variété de formes et de motifs.

Particulièrement adaptées aux environnements turbulents, les diatomées dominent les systèmes d'upwelling\* comme par exemple au large de l'Afrique ou de l'Amérique du Sud.

Présentes jusqu'à environ 50 mètres de profondeur, dans une couche appelée le « Deep Chlorophyll Maximum » où il y a suffisamment de lumière pour la photosynthèse et de nutriments pour leur croissance, elles produisent, via la photosynthèse, presque autant d'oxygène que les forêts tropicales.

L'ancienne biomasse des diatomées a apporté une contribution majeure aux combustibles fossiles.

*\*remontées d'eaux froides depuis les profondeurs vers la surface.*

## DIATOMS, BIOLOGICAL CARBON PUMP

*"With their heavy siliceous walls, diatoms are considered the key players in the biological carbon pump because when they are dead, they plunge to great depths and generate a net vertical flux of carbon that can be stored over long geological periods."*

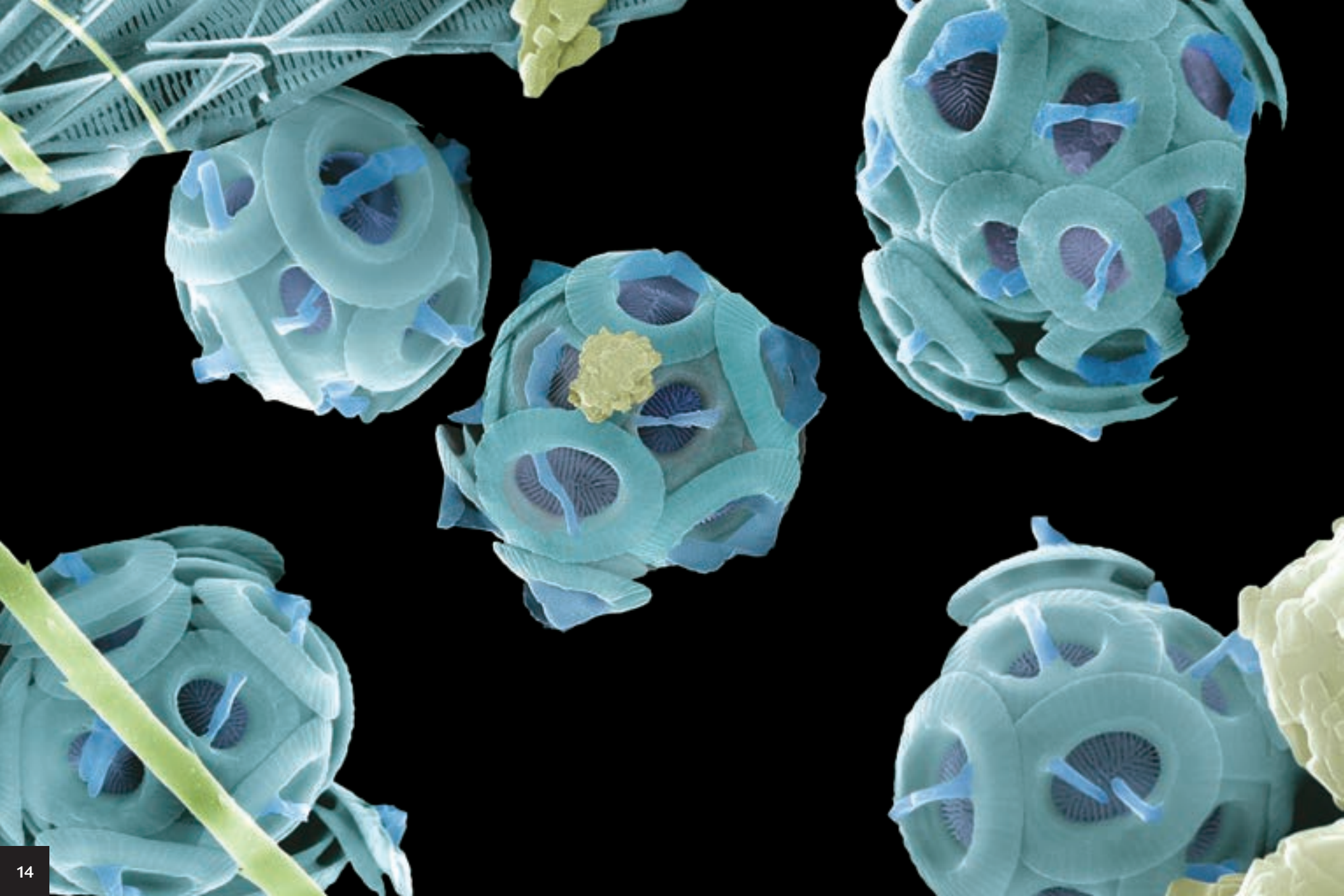
**Chris Bowler**

### PENNATE DIATOM RIBBON (SOUTH ATLANTIC) AND WATERCOLOUR

*The most spectacular feature of diatoms is their finely structured silica cell wall which features an amazing variety of shapes and patterns. Particularly suited to turbulent environments, diatoms dominate upwelling systems such as those off the coast of Africa or South America.*

*Living at depths of up to 50 metres, in a layer called the «Deep Chlorophyll Maximum» where there is enough light for photosynthesis and nutrients for their growth, they produce, through photosynthesis, almost as much oxygen as tropical forests.*

*The prehistoric diatom biomass has made a major contribution to fossil fuels.*





## COCOLITHOPHORIDÉS, À L'ORIGINE DES ROCHES SÉDIMENTAIRES MARINES

« Ces organismes unicellulaires flottant au large à la surface des océans, produisent de minuscules écailles calcaires disposées autour de leurs cellules qui les protègent de la prédation.

Leur abondance est telle que depuis 220 millions d'années, ils produisent une part importante des roches sédimentaires marines. D'ailleurs leur nom signifie "porteurs de graines de pierre". »

**Luc Beaufort**

### COCCOLITHES COLORIÉS PÊCHÉS AU NORD DE LA PAPOUSIE NOUVELLE GUINÉE

Ces organismes produisent un gaz (DMS) qui s'évapore dans l'atmosphère.

Les DMS participent à la nucléation des gouttelettes d'eau à l'origine des nuages.

Les coccolithophoridés permettent donc la formation de nuages !

La théorie scientifique de GAIA de James Lovelock avait pris cet exemple des coccolithophoridés pour expliquer la relative stabilité des climats de notre planète depuis 220 millions d'années : quand la terre se réchauffe, les coccolithophores produisent plus de DMS et il y a plus de nuages, ce qui provoque alors un refroidissement.

Les deux phénomènes s'équilibrent vers un climat idéal.

## COCOLITHOPHORIDS AT THE ORIGIN OF MARINE SEDIMENTARY ROCKS

"These single-celled organisms floating on the surface in the middle of the ocean, produce tiny calcareous shells around their cells that protect them from predators.

Their abundance is such that for 220 million years, they have produced a significant proportion of the ocean's sedimentary rocks. Besides, their name means "stone seed carriers". "

**Luc Beaufort**

### COLOURED COCCOLITHS FOUND NORTH OF PAPUA NEW GUINEA

These organisms produce a gas (DMS) that evaporates into the atmosphere.

DMS gases are involved in the nucleation of water droplets to form clouds.

This means that coccolithophorids actually enable cloud formation!

James Lovelock's scientific GAIA theory has taken this example of coccolithophorids to explain the relative stability of our planet's climate for 220 million years: when the earth warms up, coccolithophores produce more DMS gases and there are thus more clouds, which then cause cooling.

The two phenomena are balanced for an ideal climate.



## CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET BIODIVERSITÉ DU PLANCTON

« Les conséquences du changement climatique sur la biodiversité du plancton ne seront pas uniformes dans l'espace. La biodiversité des eaux chaudes tropicales aura tendance à diminuer alors que celle des eaux tempérées et des eaux polaires devrait augmenter. La réorganisation globale de la biodiversité et les changements biologiques et écologiques dans les eaux de surface pourraient être très importants. »

**Grégory Beaugrand**

### MÉLANGE DE PLANCTON DE 5 À 7 MM COLLECTÉ EN BAIE DE SHIMODO (JAPON)

Les organismes planctoniques sont très sensibles aux fluctuations des températures.

On observe d'ores et déjà des mouvements de certaines espèces des tropiques vers les eaux tempérées et des eaux tempérées vers les pôles.

Les espèces caractérisant les eaux chaudes étant les plus nombreuses, ces mouvements s'accompagnent d'une augmentation de la biodiversité de certains groupes dans l'océan Atlantique-Nord.

Ce phénomène s'est accompagné d'une réduction de la taille moyenne des copépodes (zooplancton) impactant notamment la présence des morues dans cette partie de l'océan et amplifiant l'effet de leur surexploitation.

## CLIMATE CHANGE AND BIODIVERSITY OF PLANKTON

*"The consequences of climate change on the biodiversity of plankton will not be uniform in space. Biodiversity in tropical warm waters will tend to decrease, while that of temperate waters and polar waters should increase. The global reorganisation of biodiversity and biological and ecological changes in surface waters could be major."*

**Grégory Beaugrand**

### PLANKTON MIXTURE OF 5 TO 7MM COLLECTED IN SHIMODO BAY (JAPAN)

*Planktonic organisms are very sensitive to temperature fluctuations. We have already observed the movement of certain species from the tropics to temperate waters and from temperate waters towards the poles.*

*As warm water species are most numerous, these movements are accompanied by an increase in the biodiversity of certain groups in the North Atlantic Ocean.*

*This phenomenon has been accompanied by a reduction in the average size of copepods (zooplankton) particularly affecting the presence of cod in that part of the ocean and amplifying the effect of overexploitation.*





## LES CÉTACÉS DANS L'ÉCOSYSTÈME MARIN

« Dans les eaux froides où ils s'alimentent, les grands cétacés jouent un rôle non négligeable dans le cycle du carbone. Ils se nourrissent dans les profondeurs et remontent respirer à la surface où ils libèrent des panaches de matières fécales riches en nutriments qui stimulent la photosynthèse et la croissance du plancton. »

### GROUPE DE CACHALOTS (CÔTE OUEST DE L'ÎLE MAURICE)

Joe Roman, biologiste et co-auteur d'une étude de l'Université de Vermont (États-Unis) souligne l'importance des baleines dans l'équilibre des écosystèmes marins, et évoque un « tapis roulant » baleinier des profondeurs vers la surface.

D'après cette étude, les cétacés de grande taille, baleines à fanons et cachalots, ont certainement joué un rôle encore plus important par le passé, avant que leurs populations ne soient décimées par la chasse commerciale.

Depuis l'arrêt de la chasse commerciale, certaines populations ont montré des signes de restauration, mais elles subissent néanmoins les impacts négatifs du changement global : réchauffement, compétition sur la ressource, pollution, et trafic maritime qui double tous les 20-25 ans.

## CETACEANS IN THE MARINE ECOSYSTEM

*"In the cold waters where they feed, great whales play a significant role in the carbon cycle. They feed in the depths and return to breathe at the surface where they release plumes of faeces rich in nutrients that stimulate the photosynthesis and growth of plankton."*

### SPERM WHALES GROUP (WEST COAST OF MAURITIUS)

*Joe Roman, biologist and co-author of a study from the University of Vermont (United States) stresses the importance of whales in the balance of marine ecosystems, and talks of a whaling «conveyor belt» from the depths to the surface.*

*According to this study, great whales, cachalots and baleen whales certainly played a more major role in the past, before their populations were decimated by commercial whaling.*

*Since the decision to ban commercial whaling, some populations have shown signs of recovery, but they are still suffering the negative impacts of global change, such as global warming, competition for resources, pollution and maritime traffic doubling every 20-25 years.*





## LA MANGROVE, À LA RENCONTRE DES EAUX DOUCES ET MARINES

« Le palétuvier rouge, caractérisé par ses grandes racines échasses, se développe bien en front de mer sur un sol très souvent gorgé d'eau, faisant de cette espèce un emblème pour le piégeage et le stockage du CO<sub>2</sub> atmosphérique »

**Cyril Marchand**

### L'ILE DE FADIOUTH (PETITE-CÔTE, SÉNÉGAL) ET AQUARELLE

La mangrove est un ensemble d'arbres, d'arbustes et d'herbiers se développant dans la zone de balancement des marées en région tropicale.

Le mélange de ces eaux, associé à une forte évapotranspiration, induit une large gamme de salinité qui conduit à une zonation de la mangrove, en franges plus ou moins distinctes, parallèles au trait de côte, chacune dominée par une espèce végétale différente.

La capacité de la mangrove à transformer le CO<sub>2</sub> atmosphérique en matière organique via la photosynthèse est très forte.

Outre cette fixation, le stockage de carbone dans les sols de mangrove est particulièrement important : estimé à environ 10 t CO<sub>2</sub> équivalent/ha/an.

Ces sols sont en effet gorgés d'eau et les processus de décomposition des débris végétaux, qui forment la litière, y sont très lents en raison du manque d'oxygène nécessaire aux décomposeurs (bactéries et champignons).

## MANGROVE WHERE FRESH AND MARINE WATERS MEET

"The red mangrove, characterised by its large buttress roots, grows well on the sea front in soil that is very often waterlogged, making this species an emblem for the capture and storage of atmospheric CO<sub>2</sub>."

**Cyril Marchand**

### FADIOUTH ISLAND (PETITE-CÔTE, SENEGAL) AND WATERCOLOUR

Mangroves are a collection of trees, shrubs and plant beds that grow in the intertidal zones of the tropics.

The intermingling of these waters, combined with high evapotranspiration, creates a wide range of salinity that leads to the zoning of mangroves in more or less distinct fringes, running parallel to the coastline, each dominated by a different plant.

The mangrove's ability to transform atmospheric CO<sub>2</sub> into organic material through photosynthesis is very strong.

In addition to this fixation, carbon storage in mangrove soil is particularly significant, and is estimated at about 10 t CO<sub>2</sub> equivalent / ha / year. Indeed, this soil is saturated with water and the process of decomposition of plant debris that forms the forest litter, is very slow due to lack of oxygen which is needed by decomposers (bacteria and fungi).



## MANGROVE, LIGNE DE DÉFENSE NATURELLE DES LITTORAUX TROPICAUX

« Présente dans 120 pays et sur près de 75% des littoraux tropicaux et subtropicaux, la mangrove sert de barrière naturelle contre l'érosion due à la houle, en diminuant l'énergie des vagues et en modifiant la circulation de l'eau. Dans certaines conditions, on estime qu'une largeur de mangrove de 100 mètres serait suffisante pour réduire l'énergie des vagues de 90 % . »

**Cyril Marchand**

### MANGROVE DE LA FORÊT DE MOINDOU (PROVINCE SUD DE LA NOUVELLE CALÉDONIE)

La mangrove joue un rôle essentiel aussi bien physique qu'écologique dans la conservation des littoraux et la stabilisation du trait de côte. Leur canopée, qui atténue la puissance du vent, et leur réseau dense de racines aériennes forment une ligne de défense naturelle contre les événements météorologiques extrêmes.

En outre, la mangrove sert de refuge à un grand nombre d'espèces et protège les juvéniles avant leur migration dans les eaux côtières.

La mangrove figure parmi les écosystèmes les plus menacés par les activités humaines. Sa destruction pour des aménagements côtiers et sa conversion pour l'aquaculture de crevettes, la production de riz, de sel ou la consommation du bois, ont contribué à une diminution drastique de sa surface dans le monde.

## MANGROVE, NATURAL COASTAL TROPICAL DEFENCE LINE

"Growing in 120 countries and nearly 75% of tropical and subtropical coastlines, mangroves serve as a natural barrier against the erosion caused by waves, reducing wave energy and changing the flow of water. Under certain conditions, it is estimated that a mangrove width of 100 metres would be sufficient to reduce wave energy by 90%."

**Cyril Marchand**

### MOINDOU MANGROVE FOREST (SOUTHERN NEW CALEDONIA PROVINCE)

Mangroves play an essential role both in the physical and the ecological conservation of coasts and the stabilisation of the coastline.

Their canopy, which reduces the power of the wind, and their dense network of aerial roots form a natural line of defence against extreme weather events.

In addition, mangroves are a refuge for many species and protect their young before their migration to coastal waters.

Mangroves are among the ecosystems that are most threatened by human activities.

Their destruction for coastal development and conversion for shrimp farming, production of rice and salt, and the consumption of their wood have contributed to a drastic decrease of their surface area in the world.





## LES HERBIERS DE POSIDONIE : PILIERS DE LA SÉQUESTRATION EN MÉDITERRANÉE

« Posidonia oceanica, espèce endémique de Méditerranée, est très fréquente sur le littoral français. Constituée d'un faisceau de cinq à huit feuilles rubanées, disposé à l'extrémité d'un rhizome dressé, elle édifie des structures très particulières, appelées mattes qui séquestrent le carbone sur plusieurs décennies, voire quelques millénaires. »

**Christine Pergent**

### RHIZOMES DE POSIDONIE (MÉDITERRANÉE)

Les herbiers de Posidonie constituent un « puits » de carbone à court terme grâce à une production de biomasse importante. Il constitue aussi un « puits » à long terme avec la séquestration du carbone au sein de la matte pour des décennies voire quelques millénaires.

Cette propriété exceptionnelle s'explique par la canopée luxuriante des herbiers et la densité des faisceaux de feuilles, qui réduisent la circulation de l'eau, favorisent la sédimentation, et limitent la remise en suspension de la matière organique et l'aération des sédiments.

## POSIDONIA BEDS: PILLARS OF MEDITERRANEAN SEQUESTRATION

*"Posidonia Oceanica, a species endemic to the Mediterranean, is very common on the French coast. Consisting of a bundle of five to eight ribboned leaves, arranged at the end of an erect rhizome, it builds very specific structures, called mattes that sequester carbon over decades or even a few millennia. "*

**Christine Pergent**

### POSIDONIA RHIZOMES (MEDITERRANEAN)

*Posidonia beds are a short-term carbon "sink" through their significant carbon biomass production.*

*There is also a long-term «sink» sequestering carbon in the matte for decades or even a few millennia.*

*This exceptional property is explained by the beds' lush canopy and the density of leaf bundles that reduce water circulation, promote sedimentation, and limit the resuspension of organic matter and aerating sediment.*







## LES HERBIERS DE POSIDONIE, PROTECTION DES PLAGES MÉDITERRANÉENNES

« Une caractéristique commune aux côtes sableuses de Méditerranée est l'accumulation sur la plage des feuilles mortes de Posidonie. Ces banquettes, qui peuvent atteindre plus de 2 mètres de hauteur et jusqu'à 20 mètres de largeur, offrent une protection très efficace des plages contre l'érosion du littoral. »

**Charles François Boudouresque**

### BANQUETTE DE POSIDONIE (BORMES-LES-MIMOSAS, FRANCE)

L'accumulation des débris de Posidonie peut se consolider et donner naissance à une structure très compacte et résistante qui peut rester en place pendant plusieurs années, protégeant les plages contre l'érosion. Les feuilles mortes de Posidonie contribuent à la formation des dunes d'arrière plage, directement en stabilisant le sédiment et en permettant l'installation d'autres végétaux, et indirectement en constituant une source d'azote pour ces derniers. Ces dunes jouent également un rôle essentiel dans la résistance des plages aux tempêtes.

## POSIDONIA BEDS, PROTECTION OF MEDITERRANEAN BEACHES

"A common feature of sandy coasts of the Mediterranean is the accumulation on the beach of dead Posidonia leaves. These beds, which can be more than 2 metres in height and up to 20 metres wide, provide very effective beach protection against coastal erosion."

**Charles François Boudouresque**

### POSIDONIA BANK (BORMES-LES-MIMOSAS, FRANCE)

The accumulation of Posidonia debris can consolidate and give rise to a very compact and resistant structure that can remain in place for several years, protecting the beaches against erosion. The dead leaves of Posidonia contribute to the formation of rear beach dunes directly through stabilizing the sediment and allowing other plants to take root, and indirectly by providing a source of nitrogen for these. These dunes also play a vital role in the resistance of beaches to storms.



## SOUS LA CANOPÉE DES GRANDES ALGUERAIES

« Les macroalgues sont omniprésentes dans les habitats côtiers, depuis les champs de laminaires ou les grandes forêts de kelp, jusqu'aux récifs coralliens où dominent les espèces calcaires, en passant par les algueraies à Fucales (Sargasses) qui forment une canopée sous la surface de l'eau. De nombreuses études mettent en avant la capacité des macroalgues à réduire les gaz à effet de serre. »

**Claude Payri**

### FORÊT DE LAMINAIRES (BRETAGNE, FRANCE), STATION BIOLOGIQUE DE ROSCOFF

Les forêts et les champs d'algues se développent le long des littoraux rocheux et occupent près de 58 000 km de linéaire côtier, depuis les hautes latitudes jusqu'aux régions tropicales.

Leur taux de production primaire et de renouvellement sont très élevés mais contrairement aux herbiers de phanérogames et aux mangroves, il n'y a pas ou peu d'enfouissement de matière organique.

Lorsqu'elles sont soumises à un stress, certaines algues libèrent rapidement des ions iodures volatiles.

Sous l'effet de la lumière (photolyse), cet iode se complexe avec l'ozone de l'air en particules qui condensent ensuite la vapeur d'eau, menant à la formation de nuages comme les stratocumulus.

## UNDER THE CANOPY OF LARGE SEAWEED BEDS

*"Macroalgae are ubiquitous in coastal habitats from the Laminaria seaweed fields or large kelp forests, coral reefs of dominant calcareous species, to Fucales seaweed beds (Sargassums) that form a canopy beneath the surface of the water. Many studies highlight the ability of macroalgae in reducing greenhouse gases."*

**Claude Payri**

### FOREST KELP (BRITTANY, FRANCE) ROSCOFF BIOLOGICAL STATION

*Forests and seaweed beds grow along rocky shores and occupy almost 58,000km of coastline, from the high latitudes to the tropics.*

*Their rate of primary production and renewal are very high but unlike seagrass beds and mangroves, there is little or no organic material sediment.*

*When subjected to stress, some seaweeds quickly release volatile iodide ions.*

*Under the effect of light (photolysis), the iodine complexes with ozone air particles which then condense water vapour, leading to the formation of clouds such as stratocumulus.*





## GRANDES FORÊTS D'ALGUES BRUNES : ÉCOSYSTÈMES PROTECTEURS ET NOURRICIERS

« Elles constituent les plus grandes structures biogéniques des écosystèmes marins benthiques et forment ainsi un habitat en trois dimensions, fournissant substrat, protection et nourriture en quantité à d'autres organismes marins. »

**Philippe Potin et Myriam Valéro**

### LAMINARIA DIGITATA (BRETAGNE, FRANCE)

Ces grandes forêts d'algues brunes atténuent considérablement l'énergie hydraulique, sur des dizaines de mètres de profondeur dans le cas des forêts d'algues géantes de *Macrocystis pyrifera*.

Ces peuplements, adaptés à des conditions d'hydrodynamisme extrême, subissent toutefois des mortalités importantes lors d'événements majeurs comme des houles exceptionnelles et de grandes amplitudes de marées.

Les échouages massifs qui en résultent, contribuent à la stabilité des plages et des milieux dunaires.

## LARGE FORESTS OF KELP: ECOSYSTEMS THAT FEED AND PROTECT

*"They are the largest biogenic structures in benthic marine ecosystems and thus form a three-dimensional habitat, providing substrate protection and large amounts of food for other marine organisms."*

**Philippe Potin and Myriam Valéro**

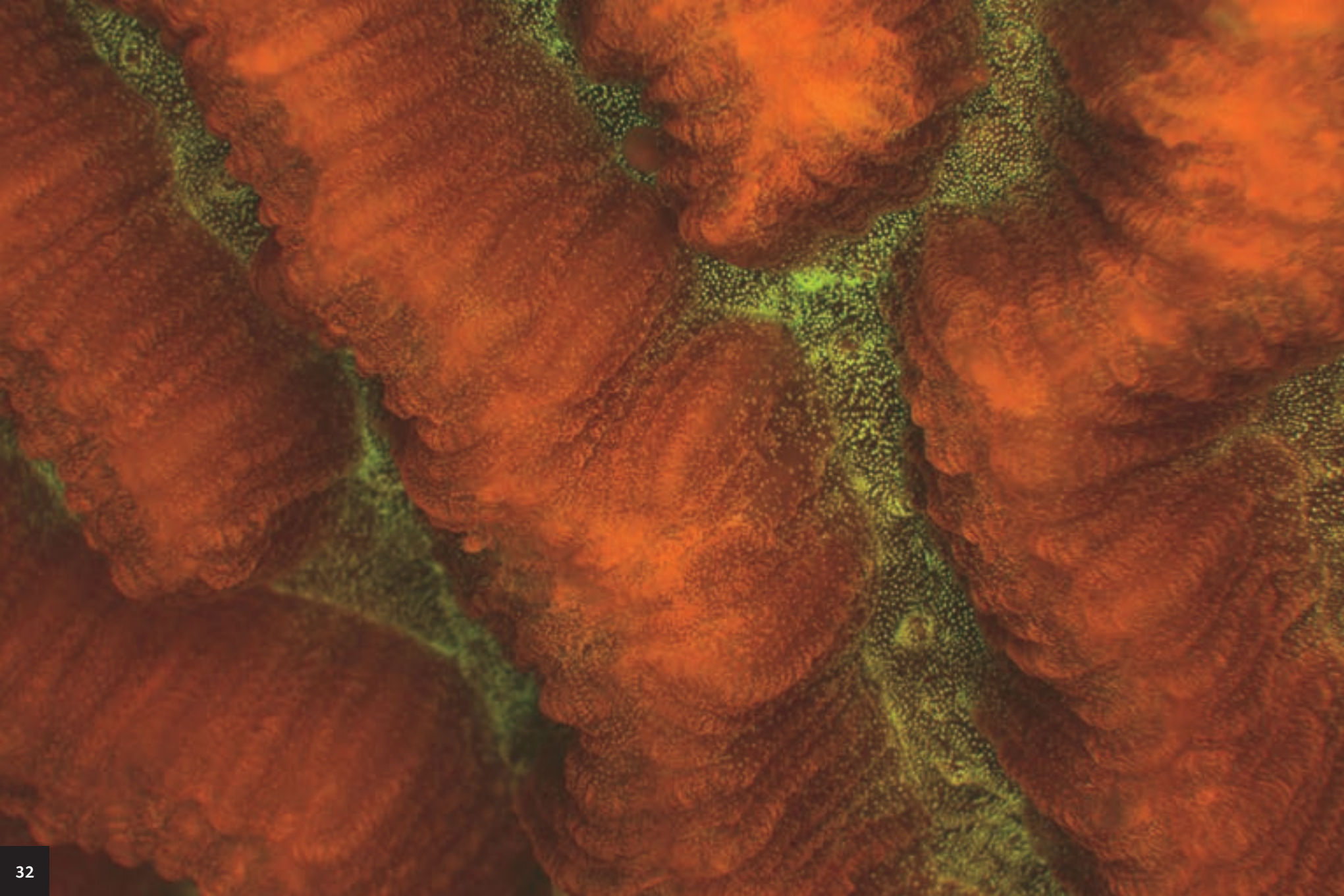
### LAMINARIA DIGITATA (BRITTANY, FRANCE)

*These large kelp forests greatly mitigate hydropower, over tens of metres in the case of giant seaweed forests of *Macrocystis pyrifera*.*

*These stands, which have adapted to conditions of extreme hydrodynamics, do however, suffer high mortality rates during major events such as abnormal swells and tidal ranges.*

*The resulting mass stranding of seaweed, contributes to the stability of beaches and dune environments.*







## RÉCIFS CORALLIENS, REMPARTS NOURRICIERS

« Formés par l'amoncellement des squelettes de coraux solidifiés par l'activité biologique d'organismes tels que les algues calcaires, les récifs coralliens constituent de véritables barrières qui protègent les côtes et leurs habitants des tempêtes, cyclones et tsunamis. »

**Serge Planes et Denis Allemand**

### PLATYGYRA ACUTA AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE (MER ROUGE)

Un récif peut briser jusqu'à 97% de l'énergie des vagues et diminuer la hauteur des vagues de 85%, contribuant ainsi à la réduction des impacts lors d'événements climatiques extrêmes.  
Ils constituent aussi une source de revenus considérable pour nombre de territoires insulaires.  
On estime que 30 millions de personnes dans le monde dépendent des récifs pour leur alimentation.  
Les récifs coralliens font face à des régressions dramatiques : près de 25% d'entre eux ont disparu au cours des 20 dernières années.

## CORAL REEFS, BARRIERS THAT FEED

"Formed by the accumulation of coral skeletons solidified through the biological activity of organisms such as calcareous algae, coral reefs are genuine barriers protecting the coasts and their people from storms, cyclones and tsunamis."

**Serge Planes and Denis Allemand**

### PLATYGYRA ACUTA UNDER ELECTRONIC MICROSCOPE (RED SEA)

A reef can break up to 97% of the energy of waves and reduce wave height by 85%, contributing to impact reduction during extreme weather events.  
Reefs also represent a significant source of income for many island territories.  
An estimated 30 million people worldwide depend on reefs for food.  
Coral reefs are facing dramatic regression: nearly 25% of them have disappeared over the past 20 years.







## RÉCIFS CORALLIENS, OASIS DE VIE

« Concentrés de biodiversité, les récifs coralliens abritent le tiers de la faune et de la flore marine connues à ce jour, sur seulement 0,2 % des surfaces marines mondiales.

1 km<sup>2</sup> de récif corallien contient autant d'espèces que l'ensemble du littoral métropolitain français. »

**Serge Planes et Denis Allemand**

### EXPLOSION DE VIE EN MER ROUGE

Il existe 32 000 espèces de poissons connues dont plus du tiers est inféodé aux récifs coralliens.

Cette richesse en espèces connaît d'importantes différences naturelles d'une région à l'autre : la zone délimitée par le Triangle de Corail abrite le maximum de diversité en poissons coralliens.

Dans l'Atlantique, ce maximum se situe dans les Caraïbes.

La biodiversité des récifs, presque infinie si l'on considère le monde microbien, est encore largement méconnue.

Cette diversité et les relations complexes qu'ont construites les espèces récifales entre elles sont essentielles.

Des études récentes ont montré que les variables qui influencent le plus la survie du récif après un stress sont sa complexité structurelle et sa diversité.

## CORAL REEFS, LIFE'S OASES

*"As concentrated biodiversity, coral reefs are home to a third of the marine wildlife and plant life known today, across only about 0.2% of the world's marine surfaces.*

*1 km<sup>2</sup> of coral reef contains as many species as the whole mainland French coastline."*

**Serge Planes and Denis Allemand**

### EXPLOSION OF LIFE IN THE RED SEA

*There are 32,000 known species of fish of which over a third is dependent on coral reefs.*

*This wealth of species undergoes significant natural differences from one region to another: the area bounded by the Coral Triangle is home to the greatest diversity in coral fish.*

*In the Atlantic, the maximum diversity is to be found in the Caribbean.*

*The biodiversity of reefs is almost endless when you consider the microbial world is still largely unknown.*

*This diversity and the complex relationships that the reef species have built between them are essential.*

*Recent studies have shown that the variables that most influence the survival of the reef after stress are its structural complexity and diversity.*





## LE BLANCHISSEMENT DES CORAUX, CONSÉQUENCE VISIBLE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

« Depuis ces 420 000 dernières années, les récifs coralliens n'ont jamais été confrontés à de telles conditions de réchauffement global et d'acidification des océans.

En 2016, le phénomène a été particulièrement important et a frappé des récifs jusqu'alors relativement épargnés comme la Grande barrière d'Australie et la Nouvelle-Calédonie. »

**Denis Allemand**

### COLONIE DE CORAIL BLANCHI (NOUVELLE-CALÉDONIE)

Les coraux constructeurs de récifs sont répartis dans les eaux tropicales et subtropicales, où la lumière disponible est suffisante pour assurer leur croissance, à des températures comprises entre 22 et 29°C.

Une augmentation de température de seulement 1°C pendant plusieurs jours provoque la rupture de l'association qui unit le corail à certaines microalgues qui assurent une partie de leurs besoins métaboliques. Privé de ces microalgues, le corail perd ses couleurs et blanchit, puis meurt si la température ne revient pas en quelques jours à son niveau initial.

Le pH est un autre paramètre important pour la vie des organismes : dans la majorité des cas, l'acidification inhibe la calcification et donc la croissance des récifs.

## CORAL WHITENING, VISIBLE RESULT OF CLIMATE CHANGE

*"For the past 420,000 years, coral reefs have never been confronted with such conditions of global warming and ocean acidification. In 2016, the phenomenon was particularly significant and affected hitherto relatively untouched reefs like the Great Barrier Reef of Australia and New Caledonia."*

**Denis Allemand**

### BLEACHED CORAL COLONY (NEW CALEDONIA)

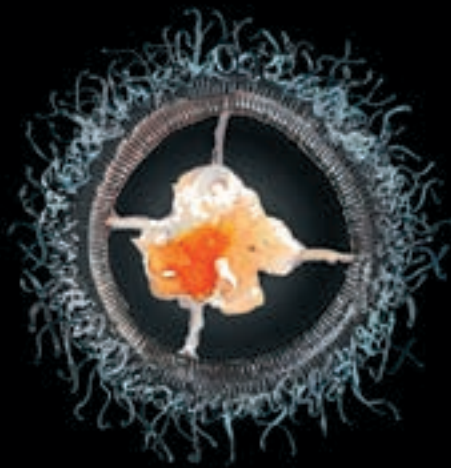
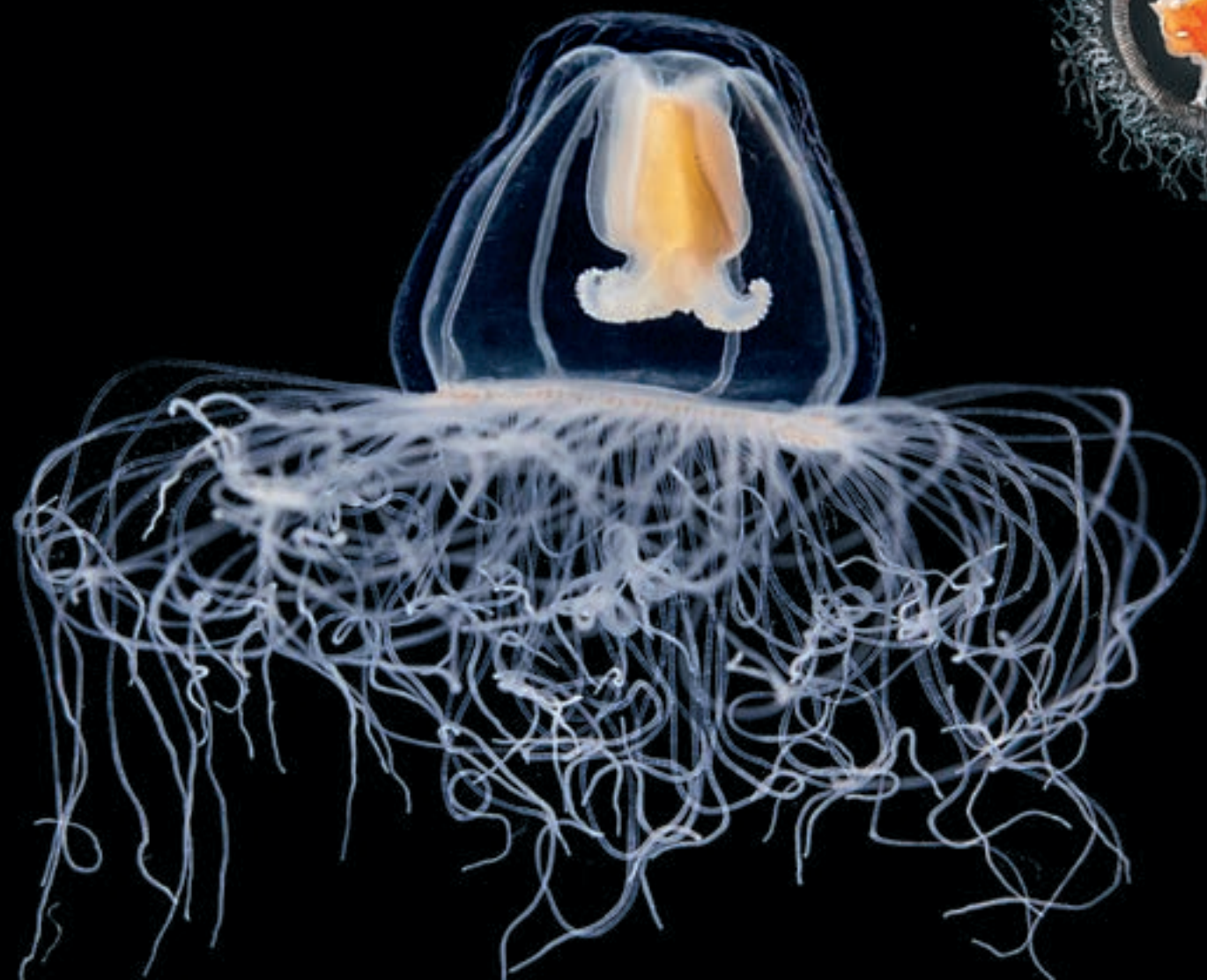
*Reef-building corals are distributed throughout tropical and subtropical waters where the available light is sufficient for growth at temperatures between 22 and 29°C.*

*A temperature increase of just 1°C for several days causes a rupture in the link that ties the coral to certain microalgae that provide some of their metabolic needs.*

*Without these microalgae, the coral loses its colour and whitens and dies if the temperature does not return to the original level in a few days.*

*pH is another significant parameter in the life of organisms as, in most cases, acidification inhibits calcification and thus the growth of reefs.*







## TURRITOPSIS, LA BELLE « IMMORTELLE »

« Les capacités de survie et d'adaptation des méduses, de la reproduction sexuée au bourgeonnement, ou à la régénération, sont extraordinaires. Cette petite méduse peut effectuer un développement à l'envers, car elle est capable de se re-transformer en polype. »

**Christian Sardet**

### TURRITOPSIS NUTRICULLATA, MÉDUSE COLLECTÉE EN MÉDITERRANÉE ET AQUARELLE

Si elle est soumise à un stress après avoir atteint sa maturité sexuelle, cette méduse peut inverser son processus de vieillissement : du stade adulte elle va régresser jusqu'à revenir à l'état de polype. Ce phénomène est dû au fait que des cellules non souches se différencient en d'autres types de cellules. Turritopsis peut renouveler ce miracle autant de fois que nécessaire, elle est donc jugée potentiellement immortelle !

## TURRITOPSIS, BEAUTIFUL AND "IMMORTAL"

*"A jellyfish's ability to survive and adapt, from sexual reproduction to budding or regeneration, is extraordinary. This little jellyfish is able to develop in reverse, as it is able to re-transform into a polyp."*

**Christian Sardet**

### TURRITOPSIS NUTRICULLATA, JELLYFISH FOUND IN THE MEDITERRANEAN AND WATERCOLOUR

*If it is under stress after reaching sexual maturity, this jellyfish can reverse the ageing process, whereby at the adult stage it will regress and revert into a polyp state. This phenomenon is due to the fact that non-stem cells are differentiated into other cell types. Turritopsis may renew this miracle as many times as necessary, it is therefore considered potentially immortal!*



## QUAND ÇA CHAUFFE POUR LA BIODIVERSITÉ

«On pourrait assister à une réorganisation globale de la biodiversité, avec un affaiblissement de la richesse de certains groupes, ou au contraire un accroissement de certaines espèces résistantes, à des migrations d'espèces vers des eaux plus propices, ou encore à des perturbations dans les relations entre proies et prédateurs. »

**Catherine Gabrié**

### RASCASSE VOLANTE DU GENRE DE PTEROIS

La prévision des réponses des écosystèmes marins aux dérèglements climatiques est difficile et les effets conjugués des différents facteurs sont encore mal connus.

On peut s'attendre à des réponses différenciées en fonction des régions, des communautés et des espèces.

Les pressions agissent en synergie et s'ajoutent aux pressions humaines. Les bouleversements sont déjà bien réels et l'homme devra s'accommoder des nouvelles situations halieutiques, avec le risque que les futurs écosystèmes marins lui soient moins favorables.

## IT'S HOTTING UP FOR BIODIVERSITY

*"There could be a global reorganization of biodiversity, with a weakening in the richness of certain groups, or conversely an increase in certain tougher species, from species migration to more favourable waters, to disturbances in the relationship between prey and predators."*

**Catherine Gabrié**

### PTEROIS LIONFISH

*Predicting the responses of marine ecosystems to climatic changes is difficult and the combined effects of different factors are still poorly understood.*

*You can expect different responses in different regions, communities and species.*

*These pressures act synergistically and are in addition to human pressures.*

*Such upheavals are already taking place and humanity will have to accommodate new fishing situations, with the risk that future marine ecosystems are less favourable to mankind.*





**L'AVENIR DES OCÉANS  
N'EST PAS ÉCRIT,  
IL SERA CE QUE L'ON EN FERA**

«Préserver la diversité du plancton d'aujourd'hui, c'est sauver pour demain la respiration des océans, c'est participer à l'équilibre des échanges gazeux mer et atmosphère, c'est garantir les ressources alimentaires pour l'humanité.»

**Pierre Mollo**

**THE FUTURE OF OUR OCEANS HAS  
NOT BEEN WRITTEN. IT WILL BE  
WHAT WE MAKE OF IT**

*"Preserving the diversity of plankton today is about saving the ocean respiratory system for tomorrow, and is about getting involved in the balance of sea and atmosphere gas exchanges, and securing food resources for humanity."*

**Pierre Mollo**

# PARTENAIRES DE L'EXPOSITION

## **Fondation Tara Expéditions**

Initiative privée (à but non lucratif) française, Tara Expéditions agit depuis 2003 en faveur de l'environnement et de la recherche grâce à un bateau mythique, Tara, taillé pour les conditions extrêmes.

## **Fondation Prince Albert II de Monaco**

La Fondation Prince-Albert-II-de-Monaco se consacre à la protection de l'environnement et au Développement durable avec pour objectifs prioritaires le changement climatique et la promotion d'énergies renouvelables, la biodiversité et la gestion des ressources en eau.

## **Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM)**

Instrument financier de la coopération française dédié à la préservation de l'environnement mondial, le FFEM est un acteur pionnier sur les questions de développement durable. Il soutient des projets qui testent de nouvelles méthodes ou pratiques, puis il s'assure de la diffusion des résultats et des enseignements tirés de la mise en œuvre effective de ces projets pilotes, en visant à terme un changement d'échelle ou une réplique dans de nouvelles géographies par d'autres acteurs ou bailleurs de fonds.

# PARTNERS OF THE EXHIBITION

## **TARA Expeditions Foundation**

As a private (nonprofit) French initiative, since 2003 Tara Expeditions has acted in favour of the environment and research through the legendary boat, Tara, which was built for extreme conditions.

## **Prince Albert II of Monaco Foundation**

The Prince Albert II of Monaco Foundation is dedicated to protecting the environment and to sustainable development with its priority objectives being climate change and promoting renewable energy, biodiversity and water resource management.

## **French Facility for Global Environment (FFEM)**

As a financial instrument of French cooperation dedicated to the preservation of the global environment, the French Facility for Global Environment (FFEM) is a pioneering player in sustainable development issues. It supports projects that test new methods or practices, then ensures the dissemination of the results and lessons learned from the effective implementation of these pilot projects, aiming at scaled-up versions or replications of this in new regions by other actors or donors.



# PARTENAIRES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

## TECHNICAL AND SCIENTIFIC PARTNERS

### **FONDATION TARA EXPÉDITIONS** **TARA EXPEDITIONS FOUNDATION**

### **FONDATION PRINCE ALBERT II DE MONACO** **PRINCE ALBERT II OF MONACO FOUNDATION**

#### **DENIS ALLEMAND**

directeur scientifique, Centre Scientifique de Monaco (CSM)  
*scientific director, Scientific Centre of Monaco (CSM)*

#### **LUC BEAUFORT**

directeur de recherche, CNRS, Cerege  
*director of research, CNRS, Cerege*

#### **GREGORY BEAUGRAND**

directeur de recherche, laboratoire d'océanologie et de géosciences (LOG)  
*director of research, marine science and geosciences laboratory (LOG)*

#### **ISABELLE BIEGALA**

chercheur à l'IRD, unité mixte de recherche de l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO)  
*IRD researcher, joint research unit of the Mediterranean Institute of Oceanology (MIO)*

#### **GILLES BOEUF**

conseiller scientifique pour l'environnement, la biodiversité et le climat au cabinet de Ségolène Royal au Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer  
*scientific adviser for the environment, biodiversity and the climate at the Ségolène Royal Cabinet in the Ministry of the Environment, Energy and the Sea*

#### **CHARLES FRANÇOIS BOUDOURESQUE**

professeur émérite de biologie et d'écologie marine, Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO)  
*emeritus professor of biology and marine ecology, Mediterranean Institute of Oceanology (MIO)*

#### **CHRIS BOWLER**

directeur de recherche au CNRS, Institut de Biologie de l'Ecole Normale Supérieure  
*director of research at CNRS, Institute of ENS Biology*

#### **CATHERINE GABRIÉ**

docteur en océanographie  
*doctorate in oceanography*

#### **JEAN-PIERRE GATTUSO**

directeur de recherche au CNRS, laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-mer  
*director of research at CNRS, Villefranche-sur-mer Oceanography Laboratory*

#### **MICHEL KULBICKI**

chercheur à l'Institut de recherche pour le développement (CHOREUS, IRD)  
*researcher at the French Research Institute for Development (CHOREUS, IRD)*

#### **ALEXANDRE K. MAGNAN**

chercheur à l'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri)  
*researcher at the Institute of Sustainable Development and International Relations (IDDRI)*

#### **CYRIL MARCHAND**

chercheur à l'Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie, IRD  
*researcher at the Institute of Mineralogy, Material Physics and Cosmochemistry, IRD*

#### **FRANCK MAZEAS DEAL**

Guadeloupe – IFRECOR (Initiative française sur les récifs coralliens)  
*Guadeloupe – IFRECOR (French Initiative on Coral Reefs)*

#### **PIERRE MOLLO**

enseignant-chercheur (planctondumonde.org)  
*research professor (planctondumonde.org)*

#### **CLAUDE PAYRI**

directeur de recherche, UMR ENTROPIE  
*research director, UMR ENTROPIE*

#### **GÉRARD PERGENT**

équipe « Ecosystèmes littoraux », Université de Corse  
*« Coastal Ecosystems » team, University of Corsica*

## PARTENAIRES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES TECHNICAL AND SCIENTIFIC PARTNERS

### **CHRISTINE PERGENT-MARTINI**

équipe « Ecosystèmes littoraux », Université de Corse  
*«Coastal Ecosystems» team, University of Corsica*

### **SERGE PLANES**

directeur du Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE - USR 3278 EPHE-CNRS-UPVD)  
*director of Island Research and Environmental Observatory Centre (CRIOBE - USR 3278 CNRS-EPHE-UPVD)*

### **PHILIPPE POTIN**

directeur de recherche, Station Biologique de Rosco  
*Research Director, Rosco Biological Station*

### **CHRISTIAN SARDET**

directeur de recherche émérite au CNRS, Station Marine de Villefranche-sur-Mer  
*emeritus director of research at CNRS, Villefranche-sur-Mer Marine Station*

### **VALERIE STIGER-POUVREAU**

docteur en écologie marine, LEMAR, Institut universitaire européen de la mer  
*doctor in marine ecology, LEMAR, European University Institute of the Sea*

### **DENIS ODY**

docteur en océanologie - co-fondateur du GIS3M  
*Doctor of Oceanology - co-founder of GIS3M*

### **MYRIAM VALERO**

directrice de recherche au CNRS, directrice de l'UMI3614, Rosco et Chili  
*director of research at CNRS, director of UMI3614, Rosco and Chile*

### **BRUNO VOITURIEZ**

océanographe docteur ès Sciences  
*oceanographer, doctorate*

## COORDINATION SCIENTIFIQUE DE L'EXPOSITION SCIENTIFIC COORDINATION OF THE EXHIBITION

Janique Etienne (FFEM)  
Catherine Gabrié

## ARTISTE PLASTICIENNE VISUAL ARTIST

Céline Bricard

Animatrice et enseignante en arts plastiques et arts appliqués, Céline BRICARD vit et travaille à Bagnolet (France). Ses dessins à la mine de plomb, à l'encre et au feutre mêlent le règne végétal et animal. Ses oeuvres fourmillent de détails et de respirations, tout en liberté et en poésie. Sa vision d'un monde éphémère et en mouvement traduit une représentation onirique liant intimement les êtres, la nature et le temps. <http://celine.bricard.free.fr>

*As a facilitator and teacher of visual and applied arts, Celine Bricard lives and works in Bagnolet (France). Her drawings in pencil, ink and felt bring together the plant and animal kingdoms. Her works are full of detail and life, with a true sense of freedom and poetry. Her vision of an ephemeral world in motion reflects a dreamlike state linking beings, nature and time. <http://celine.bricard.free.fr>*

# PHOTOGRAPHES ET ARTISTE / PHOTOGRAPHS AND ARTIST

© THOMAS VIGNAUD

L'Océan, Réservoir de Vie  
THE OCEAN, RESERVOIR OF LIFE



© THOMAS VIGNAUD

L'Océan, Réservoir de Chaleur  
THE OCEAN, RESERVOIR OF HEAT



© THOMAS VIGNAUD

L'Océan, Acteur du Changement  
Climatique  
THE OCEAN, A KEY PLAYER IN CLIMATE CHANGE



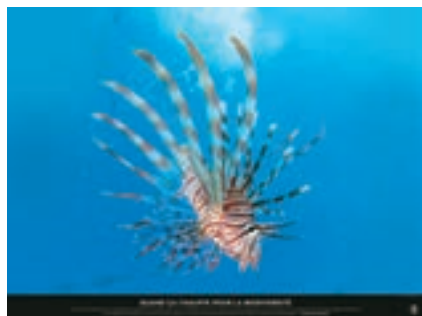
© THOMAS VIGNAUD

Récifs Coralliens, Oasis de Vie  
CORAL REEFS, LIFE'S OASES



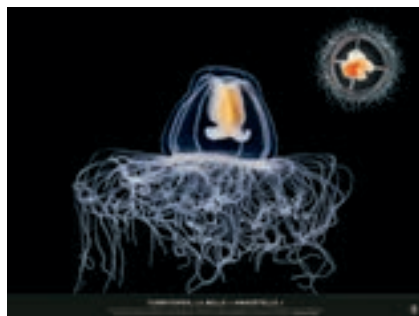
© THOMAS VIGNAUD

Quand ça chauffe pour la Biodiversité  
IT'S HOTTING UP FOR BIODIVERSITY



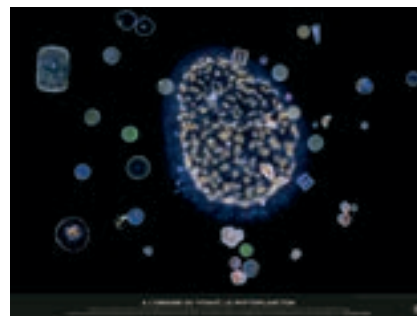
© CHRISTIAN SARDET « PLANCTON -  
AUX ORIGINES DU VIVANT » ULMER 2013 /  
AQUARELLE © CÉLINE BRICARD

Turrityopsis, la belle « immortelle »  
TURRITOPSIS, BEAUTIFUL AND "IMMORTAL"



© CHRISTIAN SARDET / TARA OCEANS / CNRS / CHRONIQUES DU PLANCTON

A l'origine du vivant,  
le Phytoplancton  
THE ORIGINS OF LIFE, PHYTOPLANKTON

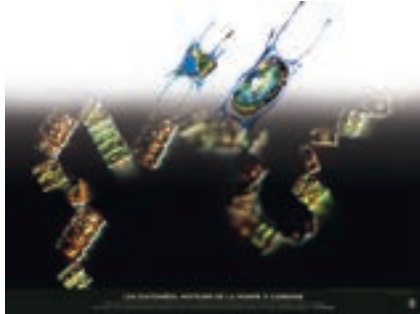


Changements climatiques et  
Biodiversité du Plancton  
CLIMATE CHANGE AND BIODIVERSITY OF  
PLANKTON

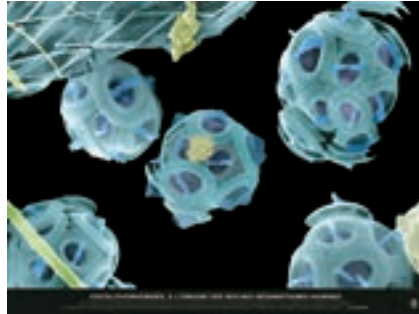




© SOPHIE MARRO ET CHRISTIAN SARDET /  
TARA OCEANS / CNRS / CHRONIQUES DU  
PLANCTON / AQUARELLE © CÉLINE BRICARD  
LES DIATOMÉES, MOTEURS DE LA POMPE À  
CARBONE  
DIATOMS, BIOLOGICAL CARBON PUMP



© LUC BEAUFORT  
COCOLITHOPHORIDÉS, À L'ORIGINE DES  
ROCHES SÉDIMENTAIRES MARINES  
COCOLITHOPHORIDS AT THE ORIGIN OF MARINE  
SEDIMENTARY ROCKS



© ALEXIS ROSENFELD  
LES CÉTACÉS DANS L'ÉCOSYSTÈME MARIN  
CETACEANS IN THE MARINE ECOSYSTEM



© VALERIE FAKIR  
AQUARELLE © CÉLINE BRICARD  
MANGROVE, À LA RENCONTRE DES EAUX  
DOUCES ET MARINES  
MANGROVE WHERE FRESH AND MARINE  
WATERS MEET



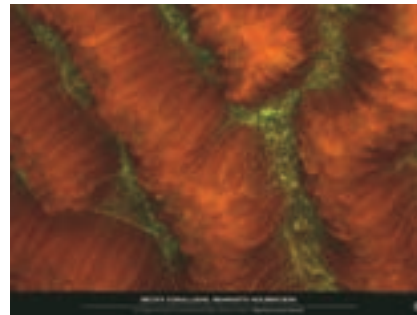
© MARTIAL DOSDANE  
MANGROVE, LIGNE DE DÉFENSE NATURELLE  
DES LITTORAUX TROPICAUX  
MANGROVE, NATURAL COASTAL TROPICAL  
DEFENCE LINE



© JANIQUE ETIENNE  
LES HERBIERS DE POSIDONIE, PROTECTION  
DES PLAGES MÉDITERRANÉENNES  
POSIDONIA BEDS, PROTECTION OF MEDITER-  
RANEAN BEACHES



© ERIC TAMBUTTE  
CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO  
RÉCIFS CORALLIENS, REMPARTS NOURRICIERS  
CORAL REEFS, BARRIERS THAT FEED



© SANDRINE RUITTON  
LES HERBIERS DE POSIDONIE : PILIERS DE  
LA SÉQUESTRATION EN MÉDITERRANÉE  
POSIDONIA BEDS: PILLARS OF MEDITERRANEAN  
SEQUESTRATION



© SANDRINE RUITTON

SOUS LA CANOPÉE DES GRANDES  
ALGUERAIRES  
UNDER THE CANOPY OF LARGE SEAWEED BEDS



© ERWAN AMICE - CNRS

GRANDES FORÊTS D'ALGUES BRUNES :  
ÉCOSYSTÈMES PROTÉCTEURS ET  
NOURRICIERS  
LARGE FORESTS OF KELP: ECOSYSTEMS THAT FEED  
AND PROTECT



© IRD, JEAN-MICHEL BORE

LE BLANCHISSEMENT DES CORAUX,  
CONSÉQUENCE VISIBLE DU CHANGEMENT  
CLIMATIQUE  
CORAL WHITENING, VISIBLE RESULT OF CLIMATE  
CHANGE



AQUARELLE © CÉLINE BRICARD

L'AVENIR DES OCÉANS N'EST PAS ÉCRIT,  
IL SERA CE QUE L'ON EN FERA  
THE FUTURE OF OUR OCEANS HAS NOT BEEN  
WRITTEN. IT WILL BE WHAT WE MAKE OF IT



© Franck Mazeas



# NOS PARTENAIRES / PARTNERS



## FONDS FRANÇAIS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

### Secrétariat du FFEM

Agence Française de Développement  
5, rue Roland Barthes 75598 Paris Cedex 12  
TEL. +33 1 53 44 42 42

<http://www.ffem.fr> • Contact : [ffem@afd.fr](mailto:ffem@afd.fr) • Twitter : @FFEM\_Fr

## INSTITUTIONS-MEMBRES DU FFEM

**Ministère de l'Economie et des Finances**  
Direction générale du Trésor  
139, rue de Bercy 75572 Paris cedex 12

**Ministère des Affaires étrangères et du Développement international**  
Direction générale de la Mondialisation, du Développement et des Partenariats  
Sous-direction du Climat et de l'Environnement  
27, rue de la Convention - CS 91533  
75732 Paris cedex 15

**Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer**  
Direction des Affaires européennes et internationales  
Tour Pascal A - 92055 La Défense CEDEX

**Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt**  
Sous-direction des Echanges internationaux  
3, rue Barbet-de-Jouy - 75349 Paris 07 SP

**Ministère de l'Education nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche**  
Direction générale pour la recherche et l'innovation  
1, rue Descartes - 75005 Paris

**Agence Française de Développement**  
5, Rue Roland Barthes 75598 Paris Cedex 12



## FFEM MEMBER INSTITUTIONS

**Ministry for the Economy and Finance**  
Directorate-General of the Treasury  
139, rue de Bercy 75572 Paris Cedex 12

**Ministry of Foreign Affairs and International Development**  
Directorate-General of Globalisation, Development and Partnerships  
Sub-Directorate for Climate and the Environment  
27, rue de la Convention - CS 91533  
75732 Paris Cedex 15

**Ministry of the Environment, Energy and the Sea**  
Directorate of International and European Affairs  
Tour Pascal A - 92055 La Défense CEDEX

**Ministry of Agriculture, Food and Forestry**  
Sub-Directorate of International Relations  
3, rue Barbet-de-Jouy - 75349 Paris 07 SP

**Ministry of National Education, Higher Education and Research**  
Directorate-General for Research and Innovation  
1, rue Descartes - 75005 Paris

**Agence Française de Développement (French Development Agency)**  
5, Rue Roland Barthes 75598 Paris Cedex 12



## LES ÉCOSYSTÈMES MARINS DANS LA RÉGULATION DU CLIMAT

Cet ouvrage paru en 2015 pour la conférence des Nations Unies sur le Climat à Paris (COP21), traite du rôle des écosystèmes marins et côtiers, dont l'importance dans la régulation du climat est souvent sous-estimée et mal comprise. Ils jouent aussi un rôle dans l'atténuation des impacts des dérèglements climatiques : amortissement de la houle et des vagues, lutte contre l'érosion, atténuation de l'impact des tsunamis. Le plancton dans toute sa diversité, les herbiers en Méditerranée, les mangroves dans les régions tropicales, les récifs et les macro-algues sont à l'honneur.



## MARINE ECOSYSTEMS IN CLIMATE REGULATION

*This work, which appeared in 2015 for the United Nations Conference on Climate Change in Paris (COP21) discusses the role of marine and coastal ecosystems, whose importance in climate regulation is often underestimated and misunderstood. These ecosystems also play a role in mitigating the impacts of climate changes, such as compensating for ocean swell and waves, combating erosion and mitigating the impact of tsunamis. Plankton in all its diversity, as well as Mediterranean seagrass, mangroves in the tropics, reefs and macro-algae are all in the spotlight.*

FFEM (2015)

Les écosystèmes marins dans la régulation du climat.  
Fonds Français pour l'Environnement Mondial, Paris, 80 pages.

FFEM (2015)

*Marine ecosystems in climate regulation.*

*Fonds Français pour l'Environnement Mondial, (French Facility for Global Environment) Paris, 80 pages.*





## FONDS FRANÇAIS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

Les océans absorbent près du quart des émissions de gaz carbonique d'origine anthropique. Les zones littorales et marines participent ainsi à la régulation climatique tout en abritant des écosystèmes uniques et essentiels au développement des territoires. Elles sont cependant menacées par les effets cumulés du dérèglement climatique et de l'impact des activités humaines.

Le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM) participe à la préservation des zones littorales et marines et à leur nécessaire adaptation face à ces pressions. Les projets financés renforcent la résilience des territoires insulaires ou côtiers, leur valorisation et une gouvernance partagée de ces zones entre usagers, institutions et gouvernements concernés.

*Oceans absorb up to a quarter of anthropogenic greenhouse gas emissions. Coastal and marine areas thus participate in climate regulation, while sheltering unique and essential ecosystems and contributing to the development of many territories. However, they are threatened by the combined effects of climate change and the impact of human activities.*

*The French Facility for Global Environment (FFEM) is involved in the preservation of coastal and marine areas and their need to adapt to face these pressures. Funded projects strengthen the resilience of island or coastal areas, their development and a shared governance of these areas between users, institutions and governments.*