

LES ÉCOSYSTÈMES MARINS

LES CORAUX
BATISSEURS DE RÉCIFS



FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

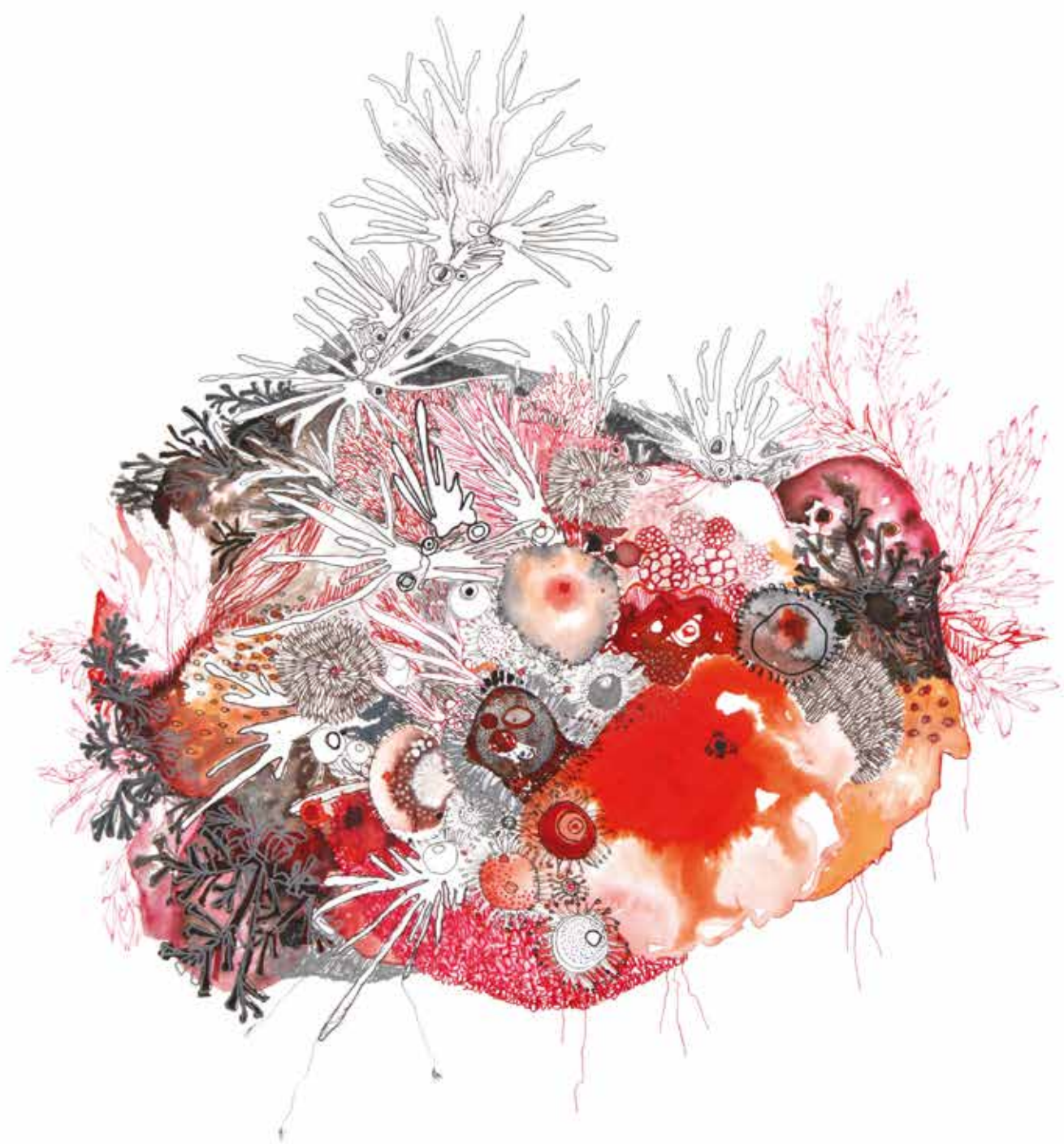
OcéanOpolis
BREST


MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
*Liberté
Égalité
Fraternité*



2021
2030

Décennie des Nations Unies
pour les sciences océaniques
au service du développement durable



LES ÉCOSYSTÈMES **MARINS**

LES CORAUX BÂTISSEURS DE RÉCIFS



FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

OcéanOpolis
BREST



2021 2030 Décennie des Nations Unies
pour les sciences océaniques
au service du développement durable

**DIRECTRICE
DE LA PUBLICATION**

Céline Liret
Directrice scientifique
Océanopolis

AUTEURS

Janique Etienne
Lionel Feuillassier
Catherine Gabrié
Marine Le Moal
Céline Liret
Anne Rognant

**COORDINATION
ÉDITORIALE**

Janique Etienne
Chargée de projets Gestion
du littoral et Haute mer
Secrétariat du FFEM

Céline Liret
Directrice scientifique
Océanopolis

REMERCIEMENTS

Denis Allemand
Carole Antoine
Alain Barrere
Dominique Barthelemy
Noëlinaud Robert Djerryh
Pascale Joannot
Sandrine Job
Richard Krebs
Sylvain Lenoir
Barbara Mathevon
Céline Miternique Agathe
Madi Bamdou Mouchitadi
Jean-Pascal Quod
Jérôme Suros
Clodio Travouck

Conception graphique
Rodhamine

Illustrations
Céline Bricard
pp. 2, 10, 30, 44

Impression
Media Graphic

Référence pour citation
FFEM et Océanopolis (2021)
– Les écosystèmes marins –
Les coraux, bâtisseurs de récifs.
Fonds Français pour l'Environnement
Mondial, Paris et Océanopolis, Brest
pp. 72

Utilisation possible
des informations et des photos,
sous réserve de la mention :
© Océanopolis / FFEM

Utilisation possible
des illustrations et des schémas
dans un cadre pédagogique
(non commercial),
sous réserve de la mention :
Schémas : © Rodhamine
Illustrations : © Cécile Bricard
Modification non autorisée

CHAPITRE 1 — ÉTAT DES CONNAISSANCES

- 12 Une histoire scientifique
- 14 Corail et phylogénie
- 16 Une mémoire calcaire
- 18 Le symbiocosme
- 20 La reproduction des coraux
- 22 Un espace, des espèces
- 24 Vivre ensemble
- 26 Une mosaïque vitale
- 28 Un récif, des ressources

CHAPITRE 2 — PRESSIONS ET MENACES

- 32 Des récifs en sursis
- 33 Le réchauffement climatique
- 34 L'acidification de l'océan
- 35 Les événements extrêmes
- 36 La surpêche
- 38 Les EEE... Espèces Exotiques Envahissantes
- 39 L'étoile de mer épineuse, un prédateur
- 40 Les activités récréatives
- 40 Les aménagements terrestres
- 41 Du macro au microplastique
- 42 Les apports polluants et eutrophisants
- 43 Parmi les cosmétiques, les crèmes solaires

CHAPITRE 3 — ACTION !

- 46 La résilience de l'écosystème corallien
- 48 Des compétences dédiées aux récifs coralliens
- 49 La recherche et l'enseignement supérieur
- 50 L'animation communautaire
- 52 La gestion de projets
- 54 L'écotourisme
- 56 La formation
- 58 La gestion d'espaces protégés
- 60 la sensibilisation et l'éducation
- 62 Le suivi et la surveillance
- 65 Nous pouvons protéger les récifs !

-
- 66 Bibliographie
 - 68 Crédits







INTRODUCTION

Janique Etienne & Céline Liret

Les récifs coralliens figurent parmi les écosystèmes les plus diversifiés de la planète et hébergent plus de 25% de la vie marine mondiale. Environ 4 000 espèces de poissons et 800 espèces de coraux constructeurs de récifs ont été décrites à ce jour. Véritables réservoirs de biodiversité marine, les récifs coralliens affichent une production annuelle de biomasse égale, voire deux fois supérieure à celle des forêts tropicales les plus productives. Protection des côtes, sécurité alimentaire, tourisme, régulation du climat... Les services fournis par les récifs et écosystèmes associés sont vitaux pour certaines populations des régions tropicales.

La dynamique naturelle des récifs coralliens est étroitement liée aux conditions environnementales, qui sont influencées par les pressions anthropiques (pollutions, pêche, aménagements), les événements extrêmes (hausse de la température, cyclones, fortes houles) et les perturbations biologiques (espèces exotiques envahissantes, infestations, maladies). Près d'un tiers des récifs sont actuellement menacés, en particulier par le changement climatique (réchauffement des eaux ; acidification)*. Une grande partie des récifs va subir un recul notable de leur couverture et connaître des extinctions significatives localement, aboutissant globalement à un déclin pouvant atteindre plus de 90% si le réchauffement climatique dépasse les 2°C en 2100 ! Les récifs construits par les coraux restants devraient être différents par leur composition et leur diversité. Cette situation compromettra fortement les services qu'ils procurent aux sociétés humaines avec des risques accrus sur la sécurité alimentaire liée aux ressources halieutiques.

La crise écologique actuelle marquée par une importante dégradation des écosystèmes dans un contexte de changement global nécessite une protection plus forte et plus durable des récifs coralliens, hauts lieux de la biodiversité marine mondiale. Devant les pressions et menaces auxquelles ils sont confrontés, il s'avère essentiel de limiter les impacts anthropiques directs et indirects afin d'accroître la résilience de ces écosystèmes. Maintenus en bon état écologique, les écosystèmes coralliens constituent des solutions naturelles pour lutter contre les effets du changement climatique. L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) met en avant les solutions fondées sur la nature pour relever les défis globaux, les définissant comme

« des actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en produisant des bénéfices pour la biodiversité ». La survie des récifs coralliens nécessite de réduire les pressions anthropiques, de protéger ces écosystèmes en multipliant les aires marines protégées avec des zones de protection forte plus étendues, de renforcer les réseaux de suivi des récifs, de développer l'acquisition des connaissances et de favoriser une bonne appropriation des enjeux en mobilisant tous les acteurs et en éduquant les citoyens.

Pour être à la hauteur de ces enjeux, il n'est plus possible que seules les politiques publiques mettent en œuvre ces activités. Une mobilisation globale, incluant les citoyens dans leurs pratiques au quotidien, fera la différence. Il est indispensable aujourd'hui que les générations futures se mobilisent et acquièrent les compétences nécessaires à la mise en œuvre des actions permettant la survie de ces écosystèmes essentiels. Cet ouvrage est destiné aux Organisations Non Gouvernementales qui agissent quotidiennement sur le terrain, aux étudiants et jeunes professionnels, aux gestionnaires d'espaces protégés, aux enseignants des territoires impliqués et aux collectivités. Il fait un état des connaissances actuelles sur les coraux bâtisseurs de récifs et traite des menaces et des pressions dont ils font l'objet. La dernière partie met en avant les métiers et les compétences nécessaires pour la survie et la sauvegarde des récifs coralliens. Loin d'être exhaustifs, ils pourront être une source d'inspiration pour les étudiants et jeunes professionnels. Face aux défis à relever, de nouveaux métiers pourront émerger des compétences et expertises existantes ; les générations futures devront faire preuve d'agilité pour accompagner ces évolutions.

En espérant que cet ouvrage, qui s'inscrit dans le cadre de la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable (2021-2030), inspire les générations futures et leur donne envie de s'impliquer dans la connaissance et la préservation des récifs coralliens !

*Les rapports internationaux de la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2019) et du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2019) dressent un tableau plutôt sombre de l'avenir des coraux.



CHAPITRE 1

État des connaissances

Une histoire scientifique

Si le corail est décrit dès l'Antiquité en revanche, sa véritable nature a longtemps été sujette à débats entre les naturalistes. Persuadés de leurs propres expériences, ces érudits étaient surtout partagés entre la nature minérale et l'origine végétale du corail.

Ainsi, le corail fut tour à tour assimilé aux pierres sanguines (hématites), aux agates, aux particules rocheuses, aux pierres arborescentes tandis que d'autres s'attachaient à le décrire comme une plante pétrifiée, une plante pierreuse, une plante de la mer ou une plante de corail voire même un insecte semblable à une petite ortie, au pourpre, avec l'épanouissement de fleurs étoilées.

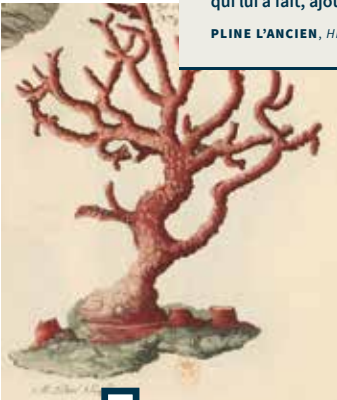
77 AP. J.-C.

Le *Traité d'Histoire naturelle* (Livre II) de **Pline l'Ancien** (23-79 ap. J.-C.) révèle que le corail a la forme « d'un arbrisseau » pourvu de « baies (...) blanches et molles sous l'eau et qui devinrent dures et rouges en dehors ». Dès cette époque, le corail est cité pour ses nombreuses vertus médicinales.



« D'après Pline l'Ancien, le mot « corail » dérive du grec κοράλλιον, la tonte. Ce mot fait référence à la collecte du corail : « on dit qu'il suffit de le toucher pendant qu'il est encore vivant pour le pétrifier, et que pour cette raison on cherche à le prévenir, l'arrachant avec un filet ou le coupant avec un fer bien aiguisé : c'est cette espèce de tonte qui lui a fait, ajoute-t-on, donner le nom de corail. »

PLINE L'ANCIEN, HISTORIA NATURALIS, 77 AP. J.-C.



-310



« Et l'Hématite ou Pierre sanguine qui est d'une texture dense et solide (...) comme si elle était formée de sang caillé. (...) Le corail par sa substance approche celle des pierres sanguines ; la couleur rouge et la forme cylindrique semblable (...) à une racine. Il croît dans la mer ».

THÉOPHRASTE, DE LAPIDIBUS, ≈ 310 AV. J.-C.

310 AV. J.-C.

Le *Traité des pierres* du philosophe et botaniste **Théophraste** (372-288 av. J.-C. - disciple et successeur d'Aristote) est le premier recueil à dépeindre la nature du corail. Dès cette époque, il est acquis que le corail semble évoluer comme un être vivant. Cependant le dualisme entre sa dureté pierreuse et son apparence végétale va jeter le trouble parmi ses observateurs et pour plusieurs siècles.



Rapporté par les pêcheurs, le corail rouge de Méditerranée, *Corallium rubrum*, était la principale espèce étudiée.

16



Nunc quoque curalii eadem natura remansit, Duritiam tacto capiant ut ab aere, quodque Uimen in aequore erat, fiat super aequora saxum. Maintenant encore les coraux présentent la même propriété : ils n'acquièrent leur dureté qu'au contact de l'air, et leur tige souple dans la mer devient de la pierre quand elle en sort.

OVIDE, PERSÉE ET ANDROMÈDE, MÉTAMORPHOSE DES CORAUX, 1-17 AP. J.-C.

16 AP. J.-C.

Le poète latin **Ovide** (43 av. J.-C. - 18 ap. J.-C.) décrit la formation du corail dans *Métamorphoses – Origine du Corail* (années 1 à 17 ap. J.-C.). Selon la mythologie grecque, Persée trancha la tête de la gorgone Méduse,

capable de transformer ses ennemis en pierre d'un simple regard. En déposant la tête de Méduse sur des algues, le regard de la terrible Méduse pétrifia les végétaux marins qui devinrent du corail. Ainsi, le corail serait une branche flexible sous les eaux mais dure dans l'air.



XIII



HERBIER MÉDIEVAL RÉPERTORIAN LE CORAIL PARMI LES PLANTES MÉDICINALES

« Le corail est chaud et sec au second degré. C'est une sorte de substance terreuse que l'on trouve dans les régions... et plus précisément dans les montagnes cavernueuses qui sont en la mer. Le corail croît comme une sorte d'humeur gluante, qui adhère aux rochers. Par la chaleur de la mer, elle sèche et se transforme en une substance semblable à la pierre ».

EXTRAIT DU LIVRE DES SIMPLES MÉDECINES (XIII^e SIÈCLE)



Défini par Ehrenberg en 1833, les Anthozoaires désignent les « animaux en forme de fleurs ».

1518

LE CORAIL, UN ANIMAL ?

L'appartenance au règne animal du corail est envisagée pour la première fois par **Dodoens** dès 1518. D'autres naturalistes suggéreront cette origine. Cependant, en 1585 le chevalier **J.-B. de Nicolaï** décrit le corail comme une « branche aussi dure dans l'air que dans l'eau, entourée d'une écorce molle et capable de rendre une liqueur laiteuse » comparable selon **O. de la Poitiers** (1613), « au lait du figuier ».

En 1674, **P. Boccone** comparera les polypes coralliens à des insectes. Mais ses observations furent remises en question par les expériences de **Marsigli** (1706) qui consistaient à déposer, dans un vase rempli d'eau de mer, des branches justes récoltées de corail rouge. Il y observa le déploiement des polypes qualifiés de « fleurs de corail ».

1706

« Ce fut un effet du hasard, que la découverte de ces fleurs du corail ». Expérience de Marsigli (1706-1707)



Quand M. Peyssonnel, fondé sur les résultats Chymiques que lui avoient donné les prétendues fleurs du Corail s'avisait de dire que cette substance appartenait au règne animal, & n'étoit rien autre chose que des logements d'insectes : on regarda la découverte de l'habile Physicien comme fort hasardée, & aux yeux de bien des gens rien ne parut plus bizarre qu'une opinion qui renversoit les notions reçues sur le Corail. De vrais Savans pensèrent autrement; ils ajoutèrent des expériences nouvelles aux expériences de M. Peyssonnel, & il a résulté de ces recherches, que ce dernier avoit très-bien vu, qu'en un mot il falloit nécessairement considérer le Corail comme une pépinière d'insectes & les prétendues fleurs de cette substance comme les animaux qui formoient & habitoient cette demeure.

LETRE DE M. DE ROME DELISLE À M. BERTRAND, SUR LES POLYPES D'EAU DOUCE (JOURNAL DES SÇAVANS, ART. III, OCTOBRE 1766)

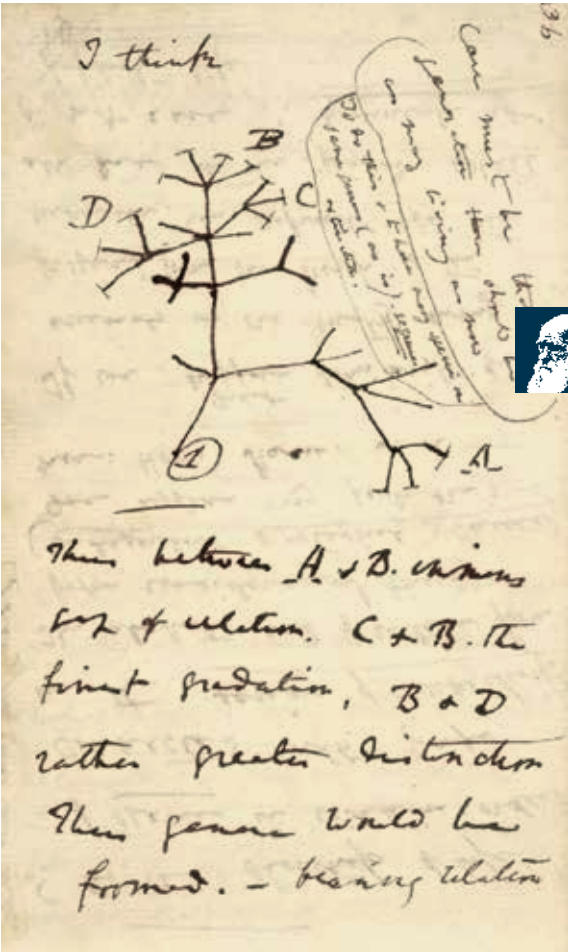
1766

J.-A. Peyssonnel (1694-1759), évoque à nouveau la thèse animale en se fondant sur les écrits anciens et sur les résultats de ses propres expériences. Il suggéra dès 1724 l'idée de coquillages et proposa de les classer parmi les Animalcules en 1726. Sa proposition fut vivement contestée dès 1727 par les membres influant de l'Académie des Sciences dont Jussieu, Guettard et Réaumur. Il faudra attendre seulement 1742 avant que son appartenance au règne animal ne soit clairement acceptée par la communauté scientifique.

TRAITÉ DU CORAIL, PEYSSONNEL 1744

« Ayant mis le vase plein d'eau où le vase était, près du feu, tous ces petits insectes s'épanouirent. Je poussai le feu et je fis bouillir l'eau, et je les conservai épanouis hors du corail ».





Corail et phylogénie



LE CORAIL DE LA VIE

Afin d'appuyer sa théorie sur l'évolution des espèces, Charles Darwin publie en 1859 *L'origine des espèces* qui sera assorti d'un dessin, de 1837, à l'allure d'un arbre ramifié. Le degré d'apparentement des espèces est représenté par les ramifications et les branches. Longtemps considérée comme l'arbre de la vie, certains auteurs soulignent que cette configuration rappelle davantage l'organisation corallienne. Darwin lui-même évoquera cette idée « The tree of life should perhaps be called the coral of life ».

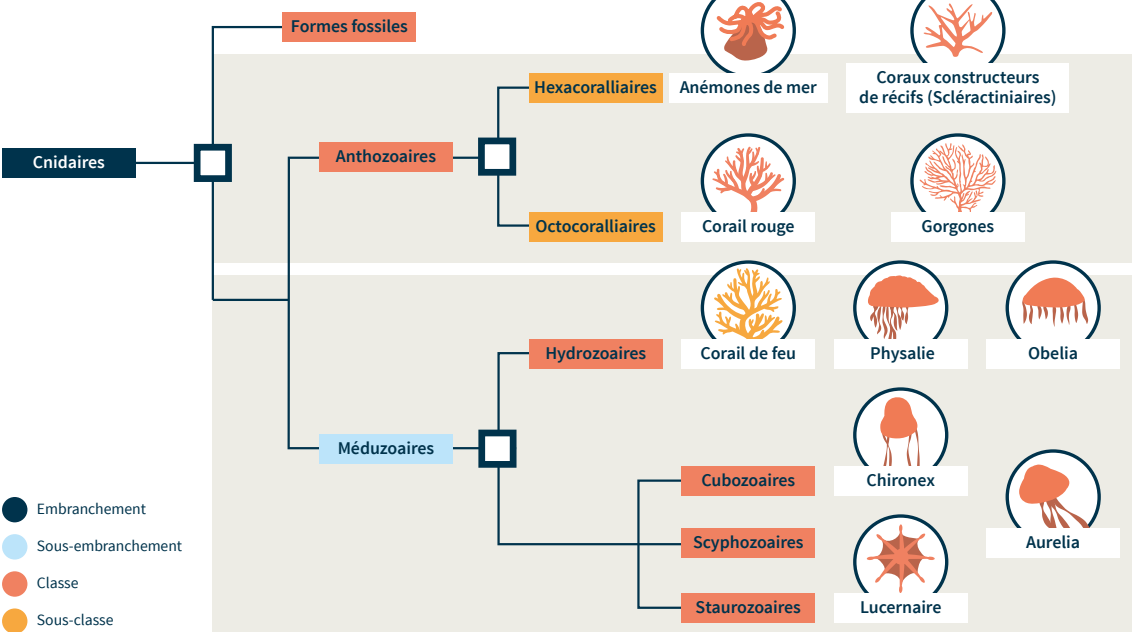
La représentation contemporaine en 3D du buisson phylogénétique s'apparente plus à la ramification du corail. Les parties anciennes et mortes du corail constituent la base des espèces actuelles. À partir des ramifications se formeront de nouvelles lignées d'espèces issues de mutations tandis que d'autres disparaîtront.

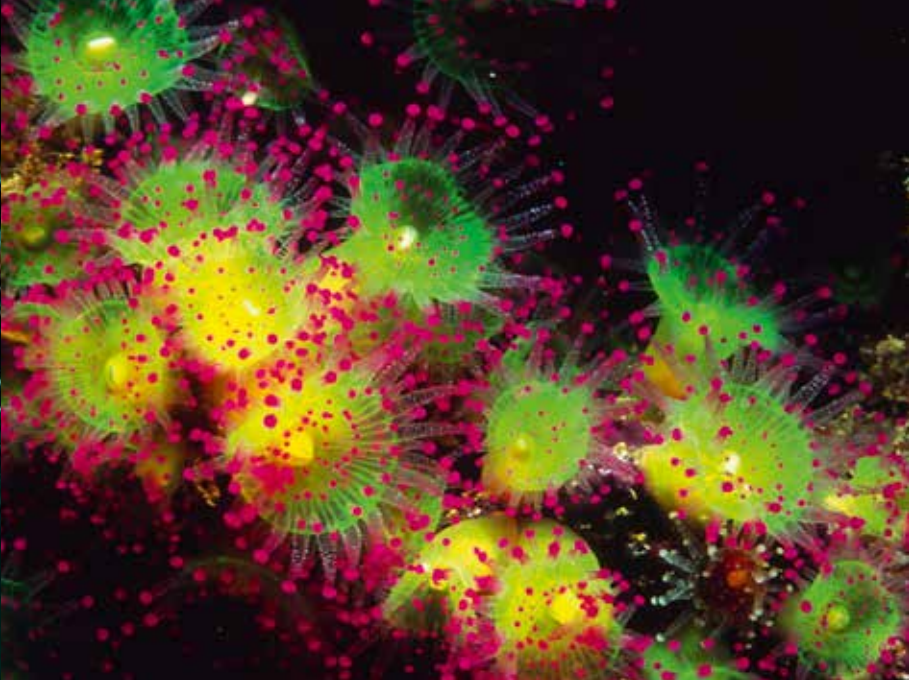


Les coraux fossiles les plus anciens remonteraient entre 600 et 700 millions d'années. Aujourd'hui près de 10 000 espèces sont répertoriées parmi les Cnidaire.

CLASSIFICATION DES CNIDAIRES

D'APRÈS OU ET AL., 2017







Une mémoire calcaire

Derrière le mot « corail » se cache un animal ressemblant à une petite anémone de mer et appelé le polype.

IL EXISTE 2 CATÉGORIES DE POLYPES

Les polypes capables de bio-calchifier un exosquelette calcaire pour les coraux durs (constitués de calcite ou d'aragonite)

1

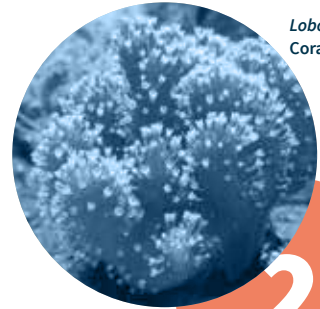
Acropora sp.
Corail dur



Les polypes capables de synthétiser uniquement des aiguilles calcaires (les sclérites ou les spicules) soutenant le tissu pour les coraux mous.

2

Lobophytum sp.
Corail mou



Le mot « polype » dérive du latin *polypus* ou du grec *polypous/polypodos*, signifiant en zoologie « de nombreux pieds ».



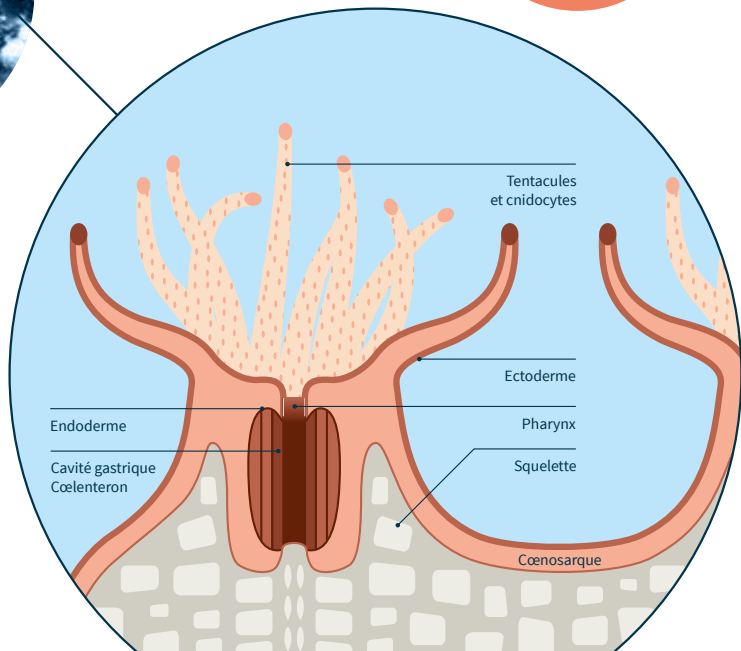
LA CROISSANCE CORALLIENNE

Soutenue par l'activité photosynthétique des zooxanthelles, la vitesse de calcification des Scléractiniaires (endosynthèse) est 4 à 5 fois plus rapide en présence de lumière qu'à l'obscurité. La croissance corallienne varie en fonction des conditions environnementales mais aussi de l'espèce. Ainsi, certains coraux branchus peuvent croître de quelques dizaines de centimètres de haut par an tandis que les coraux en boule (massifs) grandiront d'à peine 1 cm de diamètre dans l'année. Cependant, soumis à l'érosion et à la pression de la faune associée (bactéries, virus, éponges, champignons, etc), la croissance du récif reste faible (10 mm par an maximum). Ainsi, le récif de Moorea en Polynésie française cumulerait jusqu'à 80 m de corail accumulé soit 8 000 ans d'Histoire...

300 000

Les analyses réalisées par les scientifiques sur le récif de Moruroa, atoll de l'archipel des Tuamotu, en Polynésie française, ont permis de dater avec précision les fossiles coralliens. Situés 140 m en dessous de la surface actuelle de l'océan, ces récifs vieux de 300 000 ans (dernière glaciation) pourraient indiquer un niveau de l'océan bien plus faible que le niveau actuel.

D'APRÈS CAMOIN ET AL., 2001



LA CALCIFICATION

La calcification définit la capacité du corail à synthétiser un squelette calcaire. Les Scléractiniaires figurent parmi les organismes calcifiants ayant un taux de calcification de 2 à 6 kg de carbonate de calcium.m⁻².an⁻¹.

À l'échelle de la planète, les récifs coralliens précipiteraient plus d'1 Gigatonne de CaCO₃.an⁻¹. Cette minéralisation d'origine biologique (biominéralisation) est très sensible aux conditions environnantes. Des carottages effectués dans les patates coralliennes permettent aux paléoclimatologues de comprendre les évolutions climatiques du passé et de suivre les variations du niveau de l'océan.

Le symbiocosme

En 1882, les « corps jaunes » et les « corps verts » observés dans les tissus d’organismes marins sont d’abord considérés comme des « algues parasites ». L’année suivante, l’importance nutritionnelle du « phytozoon » hébergé dans les tissus animaux est établie.

L’association symbiotique entre le corail et l’algue unicellulaire est perceptible chez les formes fossiles dès l’ère Primaire. Un tel caractère adaptatif apparu il y a 400 millions d’années est certainement responsable du succès évolutif des coraux et de l’apparition des formes actuelles 200 millions d’années plus tard.

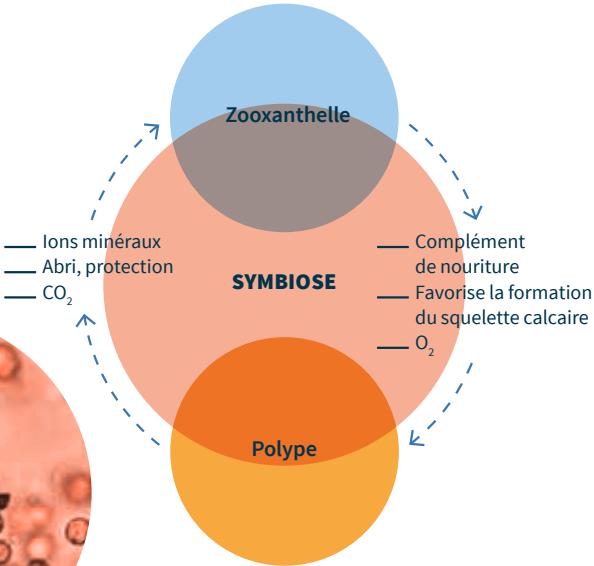
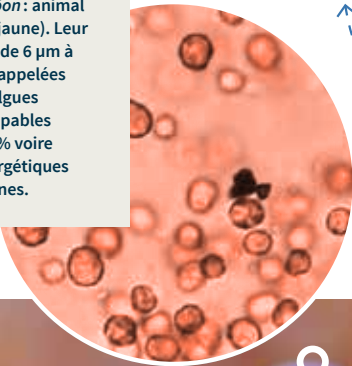


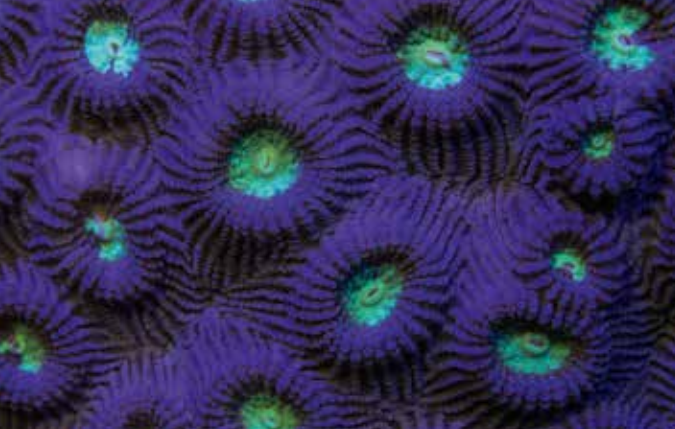
Le symbiocosme désigne une nouvelle entité biologique créée par la symbiose. Comme pour le polypier, cette désignation est aussi employée pour les insectes.



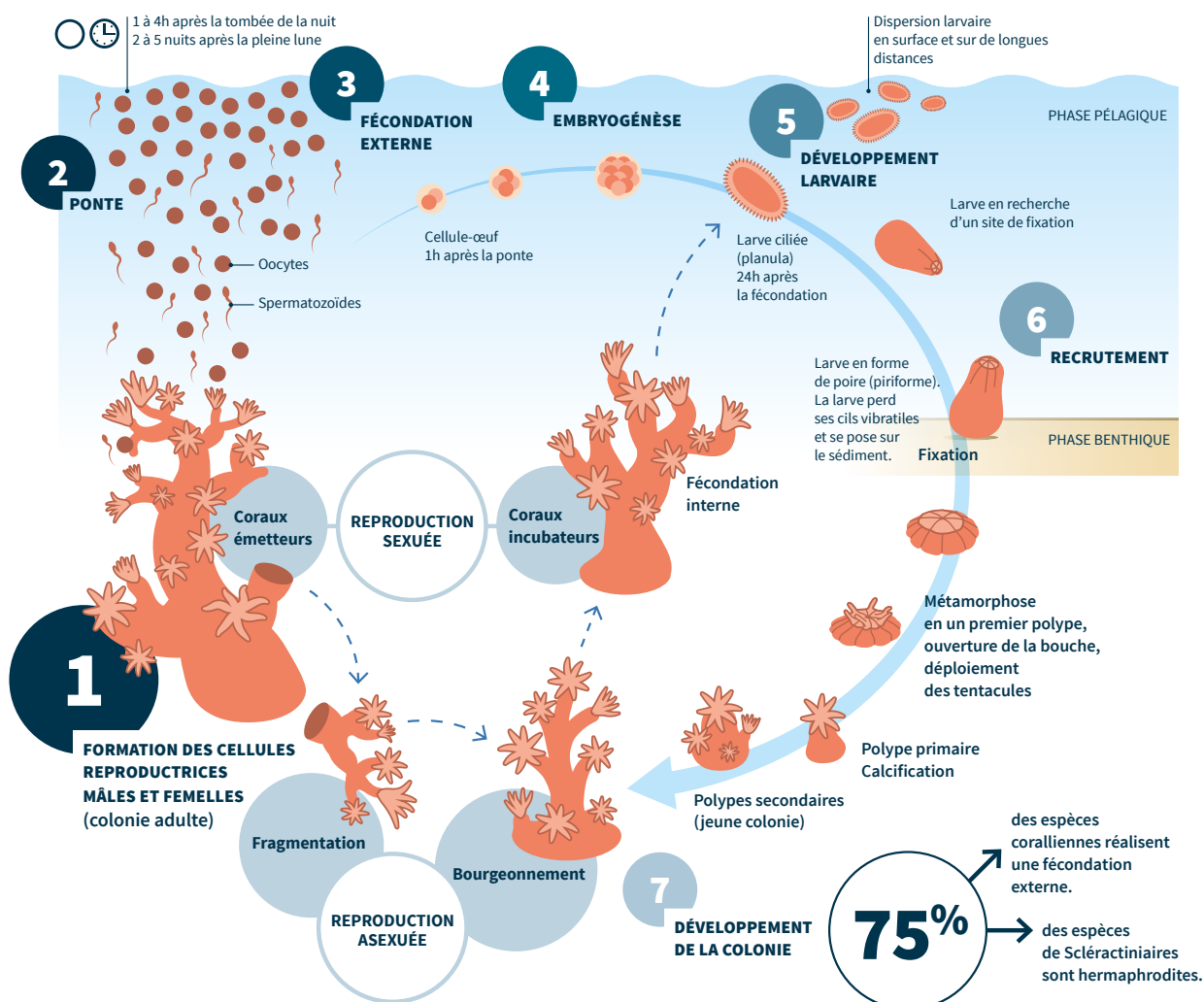
ZOOXANTHELLES

Les microalgues symbiotiques sont communément appelées des zooxanthelles (zōon : animal et du grec *ksanthos* : jaune). Leur diamètre peut varier de 6 µm à plus de 15 µm. Aussi appelées « symbiontes », ces algues unicellulaires sont capables de couvrir de 70 à 90% voire 99% des besoins énergétiques des cellules coralliennes.





La reproduction des coraux



CYCLE DE DÉVELOPPEMENT DU CORAIL

Pour les coraux incubateurs, la fécondation et l'embryogénèse sont internes. Elles se déroulent dans la cavité gastro-vasculaire du polype. Les larves incubées ont un développement embryonnaire généralement plus rapide que celles issues de la fécondation externe.

En fonction des espèces, les larves résultant de la fécondation externe peuvent être pourvues de microalgues (larves zooxanthellées) ou non (larves azooxanthellées). La transmission parentale peut se faire par les gamètes (spermatozoïdes/oocytes). Certains coraux incubateurs sont capables de libérer des larves zooxanthellées.

Bénéficiant des nutriments issus de la photosynthèse des microalgues (glucides, acides aminés, etc), ces larves peuvent rester plus longtemps au stade planctonique et réaliser une dispersion plus importante.

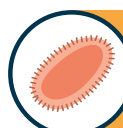


MOBILITÉ

Le polype des anémones de mer (Actiniaires) peut conserver une mobilité pendant les stades juvénile et adulte. Cependant de nombreuses espèces de coraux se fixent définitivement (espèces sessiles).



L'hermaphrodisme est favorable à la stabilité des petites populations de corail.



La larve représente le seul stade libre du corail.



Du choix du site de fixation de la planula dépendra le développement du corail adulte.



Générations asexuées

Le bourgeonnement réalisé par les polypes est un cas de reproduction asexuée.

De nombreuses espèces de coraux peuvent régénérer leurs tissus après une fragmentation (cassure accidentelle ou non). Ces modes de reproduction viennent renforcer la capacité du corail à se développer dans des milieux de vie instables (séisme, ouragan, etc).

La reproduction asexuée produit un nouvel individu génétiquement identique au parent. Ce mode de transmission favorise le développement de la nouvelle génération dans son milieu environnant.

La colonisation de l'espace par l'espèce sera plus rapide en raison du nombre plus important de clones produits en peu de temps. Que ce soit par voie sexuée ou asexuée, les coraux ne recherchent pas de partenaires sexuels. L'économie d'énergie sera allouée à d'autres fonctions vitales de l'organisme (croissance, régénération, etc). En revanche, en l'absence de croisements génétiques, les descendants ne s'adapteront pas (ou très lentement) à l'évolution des conditions du milieu de vie (réchauffement climatique, acidification de l'océan, etc).



SOLITAIRES VS SOLIDAIRES

Le polype peut avoir un mode de vie solitaire ou colonial. Les colonies coralliennes sont formées de polypes clones, reliés les uns aux autres par un tissu de liaison (le coenosarque) les rendant tous solidaires. Ils se partageront les éléments nutritifs, véhiculeront l'eau, les signaux de défense, de reproduction, etc, *via* des canaux internes.



Un espace, des espèces

Les récifs coralliens *sensu stricto* (sans les autres structures associées) couvrent moins de 0,2 % de la surface de l'océan (surface océanique = 361 132 millions de km²). En prenant en compte les écosystèmes associés (mangroves, herbiers, estuaires, lagons...), les zones récifales s'étendent sur 617 000 km². Il existerait près de 1 400 espèces de coraux durs et mous à travers le monde dont près de 850 espèces de coraux constructeurs de récifs.



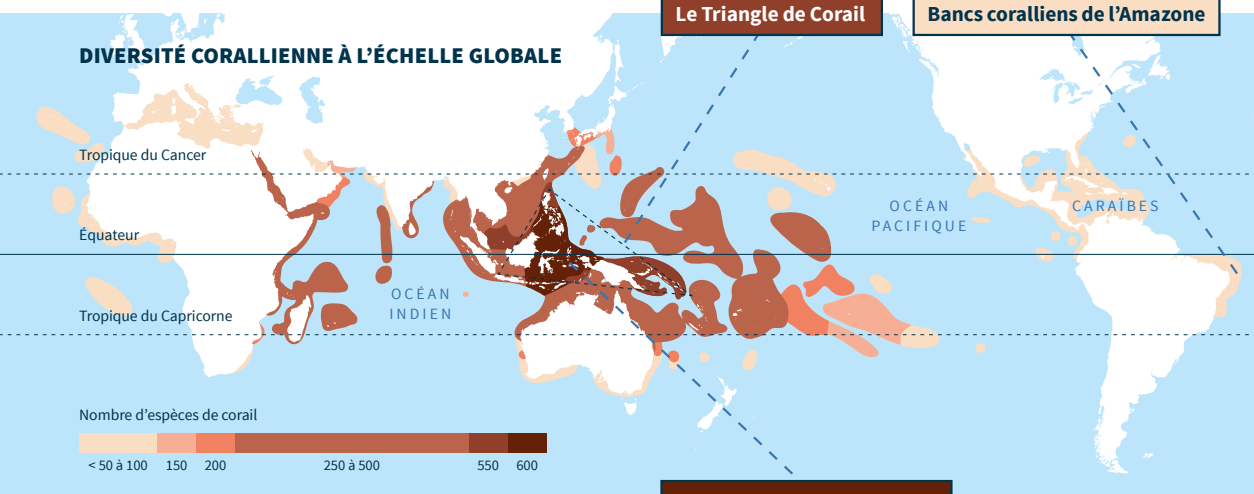
RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

La majorité des Scléractiniaires se répartit dans les eaux peu profondes (entre 0 et 50 m) des zones tropicales et inter-tropicales, entre les latitudes 30°N et 30°S (Tropiques du Cancer et du Capricorne).

- Réparti sur 6 millions de km²
- Près de 35% des récifs coralliens de la planète
- Jusqu'à 350 espèces de coraux par km²

- Connus dans les années 1950
- Exposé au delta de l'Amazone (eaux boueuses, faible lumière, sédimentation permanente, salinité fluctuante, importante acidité).

DIVERSITÉ CORALLIENNE À L'ÉCHELLE GLOBALE



La Grande Barrière de Corail

- Plus grande bio-construction de la planète
- Longue de 2 600 km
- Inscrite depuis 1981 au Patrimoine Mondial par l'UNESCO
- Plus de 400 espèces coralliennes

40%

des récifs
► océan Pacifique

20%

des récifs
► océan Indien

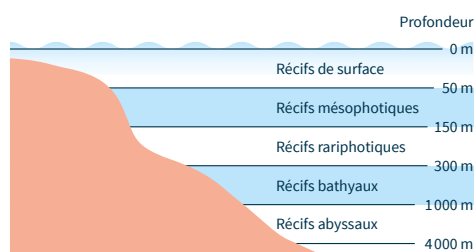
8%

des récifs
► Caraïbes



RÉPARTITION BATHYMÉTRIQUE DU CORAIL

La pénétration de la lumière dans la colonne d'eau est considérée comme indispensable au développement du corail. Ce paramètre demeure un facteur limitant; l'essentiel des coraux se développe dans la zone suffisamment éclairée de l'océan pour permettre la photosynthèse de leurs algues symbiotiques (zone euphotique). Néanmoins, certaines espèces arrivent à proliférer à des profondeurs beaucoup plus importantes.



TEMPÉRATURES

Les températures océaniques fluctuent entre 18 et 35°C avec un optimal de croissance pour le corail tropical situé entre 25 et 29°C.



Les coraux constructeurs de récifs sont appelés les Scléractiniaires ou les coraux durs.

PROFIL D'UN LAGON PRÉSENTANT LA RÉPARTITION DU CORAIL



Coraux colonnaires

1



Coraux en plateau

2



Coraux foliacés

3



Coraux branchus

4



Coraux massifs

5



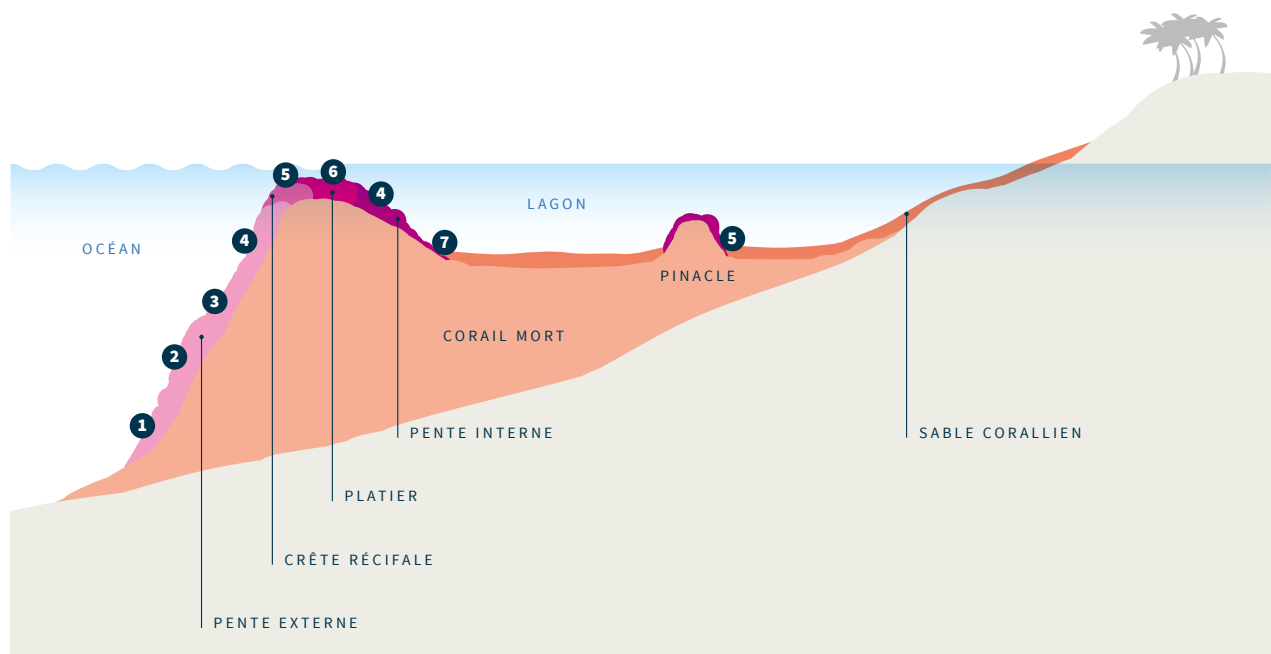
Coraux encroûtants

6



Coraux turbinés

7



Véritables réservoirs de biodiversité marine, les récifs coralliens affichent une production annuelle de biomasse égale voire deux fois supérieure à celle des forêts tropicales les plus productives.



HOT-SPOT

Parmi les 36 hot-spots planétaires figurent Madagascar et des îles de l'Océan Indien (îles et archipels des Mascareignes – La Réunion, Maurice et Rodrigues –, des Comores et des Seychelles). Ce réservoir de biodiversité fait état d'une extrême diversité spécifique, abritant environ 15 000 espèces de plantes.

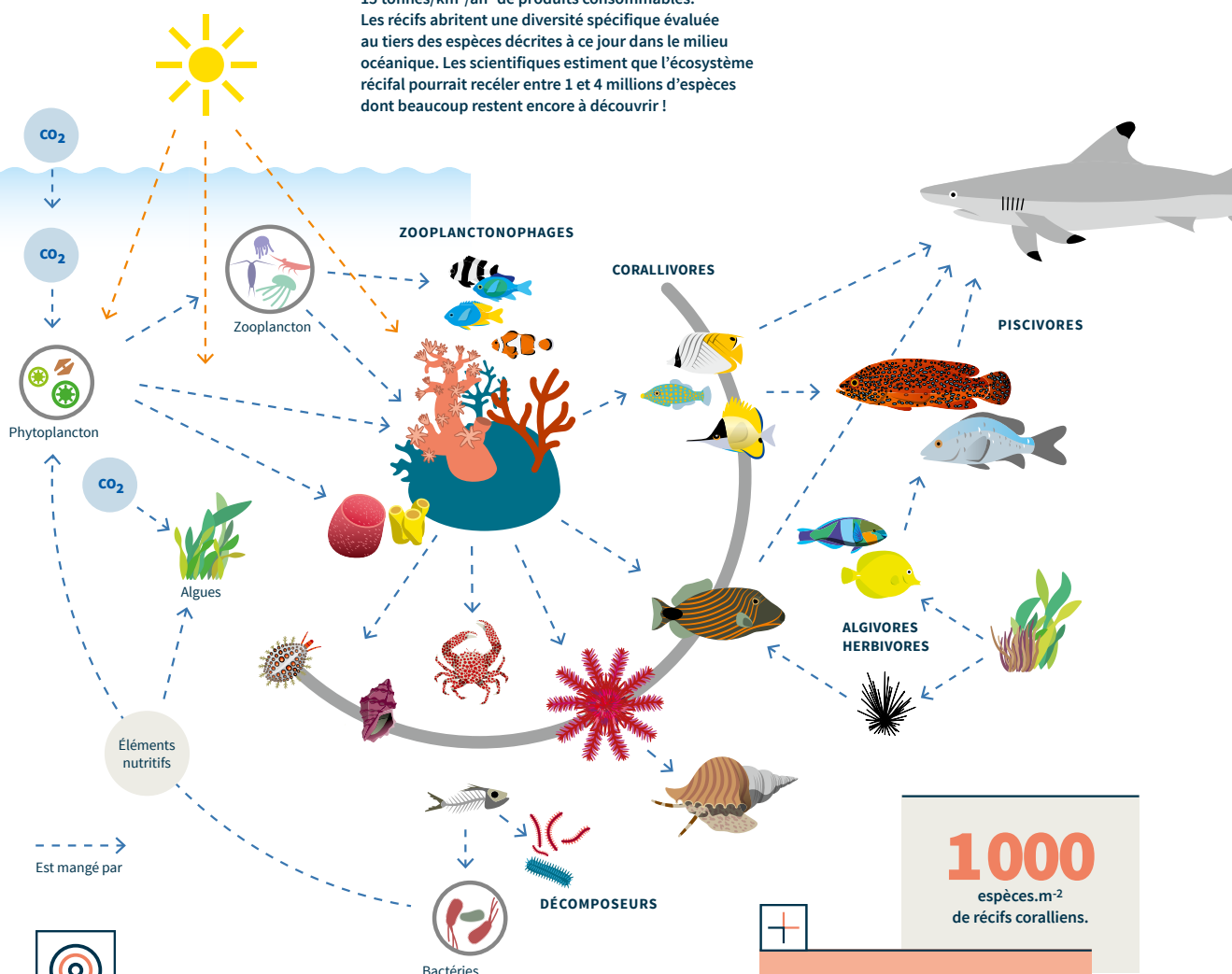




Vivre ensemble

Sur des surfaces extrêmement limitées et dans des eaux pauvres en nutriments (eaux oligotrophes), l'écosystème corallien représente l'un des milieux les plus productifs de notre planète.

Un récif en bonne santé peut produire jusqu'à 15 tonnes/km²/an¹ de produits consommables. Les récifs abritent une diversité spécifique évaluée au tiers des espèces décrites à ce jour dans le milieu océanique. Les scientifiques estiment que l'écosystème récifal pourrait receler entre 1 et 4 millions d'espèces dont beaucoup restent encore à découvrir !



1000
espèces.m⁻²
de récifs coralliens.

Les espèces de poissons de petites tailles sont beaucoup plus abondantes sur les récifs que les grandes espèces. Cependant, ces dernières ont de plus grandes capacités de dispersion.

La richesse spécifique de la faune associée à un récif corallien est aussi dépendante de la surface et de la diversité des habitats du récif ainsi que de la température de l'eau.

D'APRÈS BARNECHE ET AL., 2019

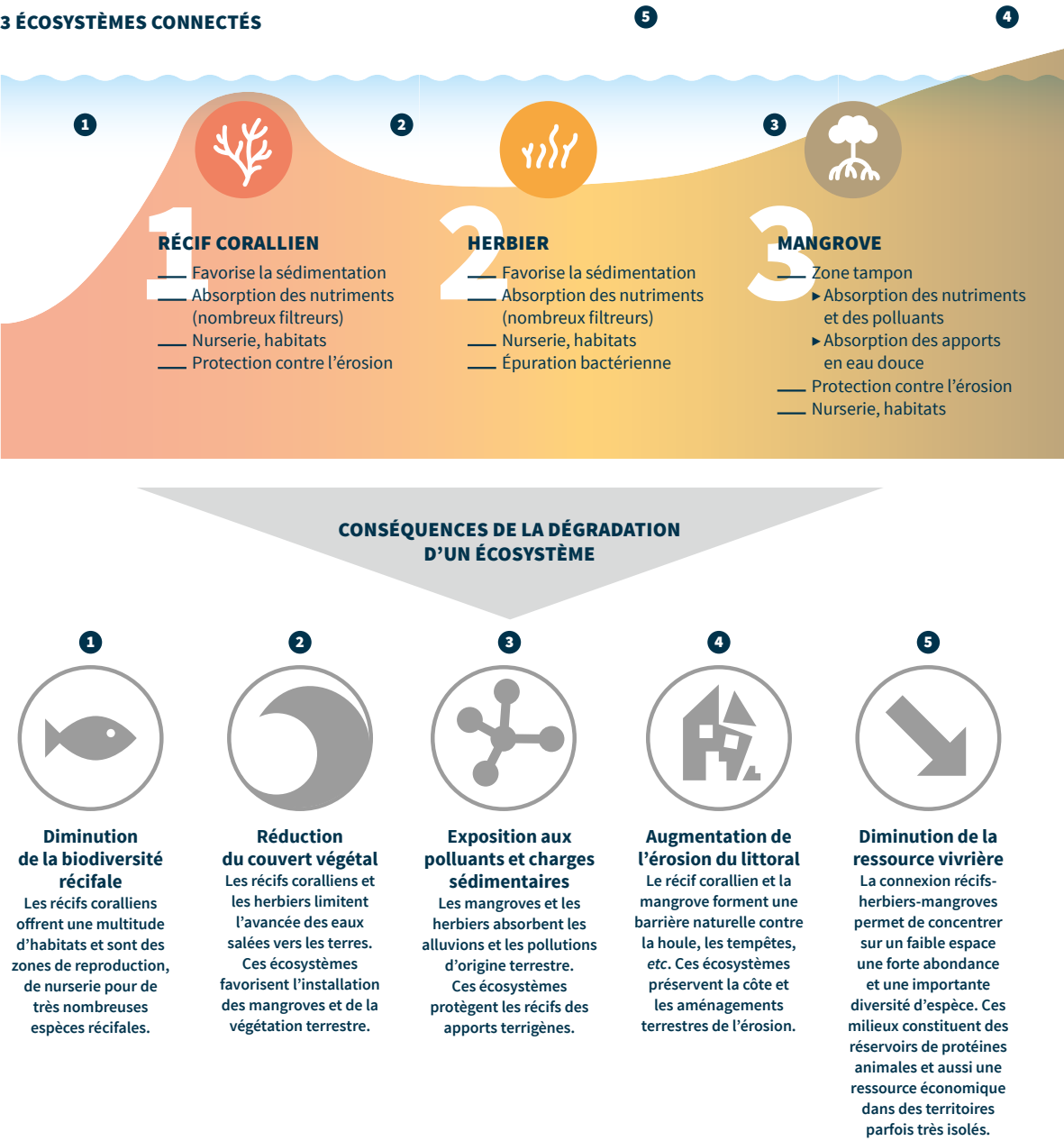
LES REQUINS AU SERVICE DES CORAUX

Qualifiés de super-prédateurs, les requins influencent le développement et la survie des coraux. Leur surpêche peut être dramatique pour l'écosystème corallien.

En l'absence de requins, certaines espèces prédatrices vont proliférer et consommer davantage de poissons herbivores comme le poisson-perroquet. Ces brouteurs d'algues sont pourtant indispensables pour permettre aux coraux de se développer. Les excréments des requins permettraient également l'apport de quantités importantes de composés azotés qui favoriseraient l'activité des producteurs primaires du récif.

Une mosaïque vitale

Les récifs coralliens sont connectés entre eux mais aussi avec d'autres écosystèmes tels que les mangroves, les couvertures algales, l'océan. À travers cette mosaïque d'écosystèmes interconnectés, les déséquilibres de l'un d'eux perturberont directement le fonctionnement des autres écosystèmes.





Un récif, des ressources

Les récifs coralliens offrent de nombreuses ressources pour l'être humain, en particulier aux populations locales. À l'échelle de la planète, cet écosystème concentre de forts intérêts sociaux, économiques et culturels.



Le concept de Récif Urbain repense l'organisation de nos sociétés urbaines en s'inspirant de l'organisation squelettique, du réseau d'interactions et de l'association symbiotique décrits chez les coraux.

D'APRÈS GERARD, 2017

20%

des besoins en protéines apportés par l'océan à près de 3 milliards d'êtres humains

D'APRÈS HOEGH-GULDBERG, 2019

Les récifs coralliens sains fourniraient à eux seuls de la nourriture et des moyens de subsistance pour plus de 500 millions de personnes réparties dans les zones tropicales et sub-tropicales

D'APRÈS HOEGH-GULDBERG, 2019 ; SWEET ET AL., 2019

50%

L'épisode de blanchissement des coraux qui a touché l'Océan Indien en 1998 a fait diminuer de moitié la densité globale des poissons de récifs de certaines zones particulièrement impactées des Chagos ou encore des Seychelles.

D'APRÈS L'UICN, 2008

Environ 3,5 milliards de personnes vivent à moins de 100 km de la côte

D'APRÈS WRIGHT & NICHOLS, 2019

Protection contre l'érosion du littoral

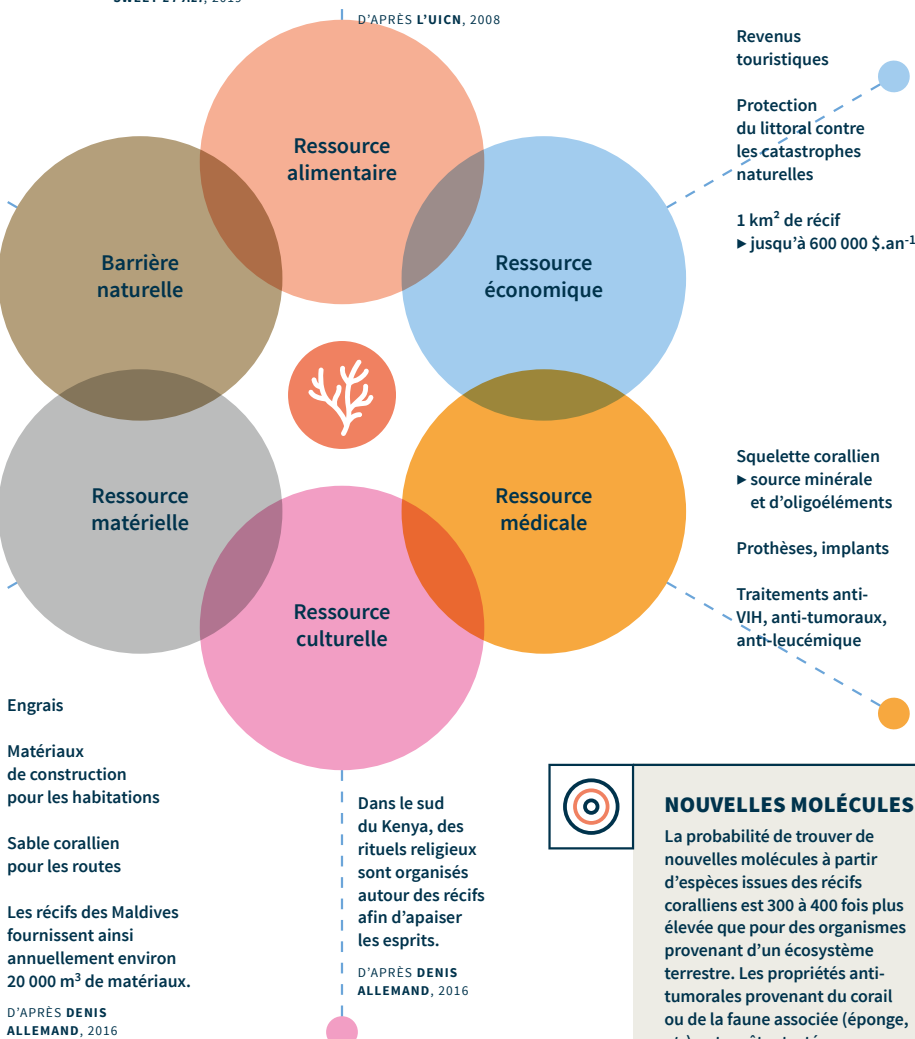
Les récifs coralliens réduisent la hauteur des vagues jusqu'à 70%

D'APRÈS NARAYAN ET AL., 2016

Réduction de la houle, des tsunamis. Lors du tsunami dévastateur de 2004 dans l'océan Indien, les côtes protégées par des récifs coralliens en bonne santé n'ont été que peu affectées par la vague mortelle.

D'APRÈS DENIS ALLEMAND, 2016

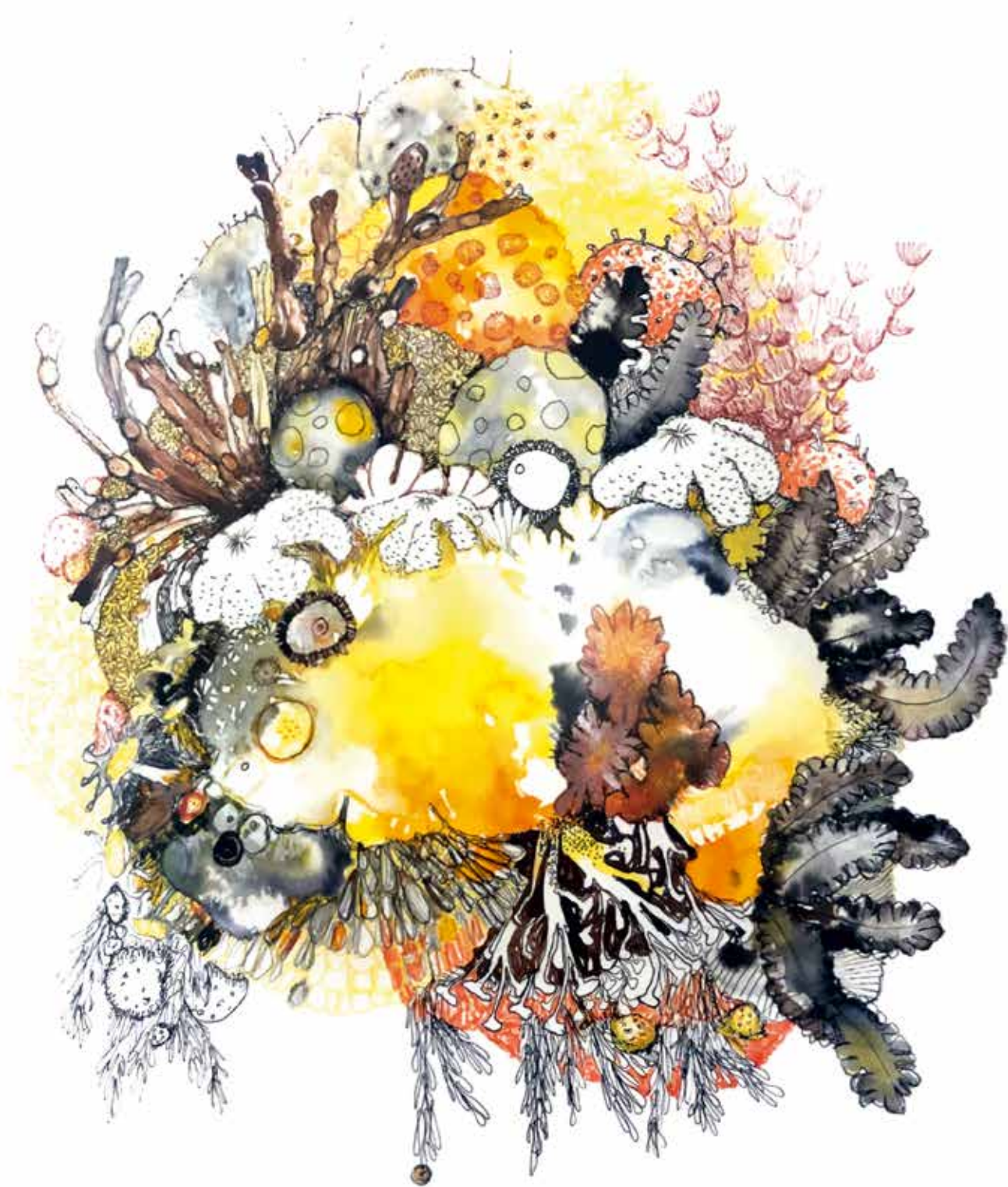
400 atolls dépendants des récifs



NOUVELLES MOLÉCULES

La probabilité de trouver de nouvelles molécules à partir d'espèces issues des récifs coralliens est 300 à 400 fois plus élevée que pour des organismes provenant d'un écosystème terrestre. Les propriétés anti-tumorales provenant du corail ou de la faune associée (éponge, etc) ont pu être testées sur près de 60 cancers différents.





CHAPITRE 2

Pressions et menaces



20%

des récifs
de la planète
ont disparu.

Des récifs en sursis

Les années 2010 ont débuté avec un constat inquiétant : la planète traverse-t-elle une nouvelle crise de la biodiversité ? Il pourrait s'agir de la 6^e extinction de masse des espèces en 500 millions d'années.

Aujourd'hui, les scientifiques estiment que jusqu'à 100 000 espèces disparaîtraient chaque année, induisant une régression de 50% de la biodiversité d'ici 2050.

L'accélération et l'intensification des événements naturels seraient en partie induites par les nombreuses activités anthropiques. Une extinction des espèces estimée jusqu'à 500 fois supérieure à la disparition naturelle d'une espèce après 250 000 ans de présence humaine et seulement 200 ans d'ère industrielle.

En constante régression à travers le monde, l'écosystème corallien inquiète et mobilise la communauté scientifique. Il est désormais établi que l'intensification et l'augmentation de la fréquence des épisodes de mortalité massive des coraux s'accompagnent d'une diminution de la biodiversité marine associée ainsi que d'une érosion côtière accélérée.

Les perturbations sont d'autant plus visibles sur des milieux fortement diversifiés. Les écosystèmes coralliens figurent ainsi parmi les plus menacés par le changement global. Pourtant, l'espèce humaine tire de nombreux profits des milieux récifaux.

70%

des récifs sont
dégradés par
les activités
humaines.

2050

90% des coraux
de la planète
seront menacés.

30%

des récifs
sont menacés
d'extinction.



EN SAVOIR PLUS

Dans l'Océan Indien, près de 65% des récifs coralliens sont menacés par les activités locales et près de 35% d'entre eux le sont à un niveau élevé ou très élevé.

Le réchauffement climatique

Les coraux sont sensibles aux fluctuations et aux fortes températures ; de nombreuses espèces sont proches de leur seuil maximal de tolérance thermique.

Une exposition prolongée des coraux à des températures océaniques de +1 voire +2°C est susceptible d'entraîner un stress thermique (stress physiologique) du corail et de leurs zooxanthelles. La mort et l'expulsion des microalgues se manifestent par un phénomène de blanchissement corallien à grande échelle. Le squelette calcaire du corail devient alors visible avec la transparence des tissus dépourvus de zooxanthelles.

Le blanchissement du corail est connu depuis plus de 70 ans avec des descriptions sur des colonies isolées ou des spots récifaux. Le premier blanchissement de masse a été rapporté en 1979 dans l'Est Pacifique.

Les épisodes de blanchissement semblent survenir désormais tous les 3 ans. L'adaptation évolutive des espèces coralliennes face à ces nouvelles conditions est un processus lent. Ainsi, de nombreuses espèces sont menacées de disparition. En 1997-1998, le phénomène El Niño a entraîné dans certaines régions une régression de 50% voire jusqu'à 90% de la couverture corallienne.

Depuis les épisodes récurrents de 2016 et 2017, ce sont plus de 90% du récif de la Grande Barrière qui ont été touchés et plus de la moitié des coraux ont disparus. Cette année, seulement 1% du plus grand récif corallien du Japon était encore en vie.

Avec l'augmentation de température, les coraux devront également s'adapter à la montée du niveau de l'océan.

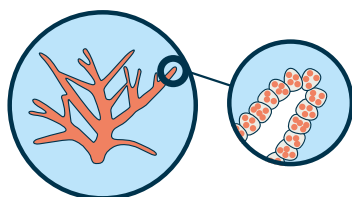
40
gigatonnes de CO₂
émis tous les ans

+40%
de CO₂ atmosphérique
depuis 1870

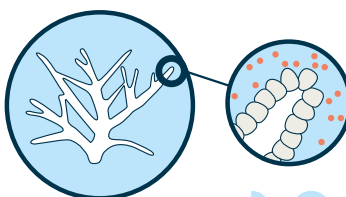
+0,9°C
depuis 1870

+3°C
à +5°C d'ici 2100

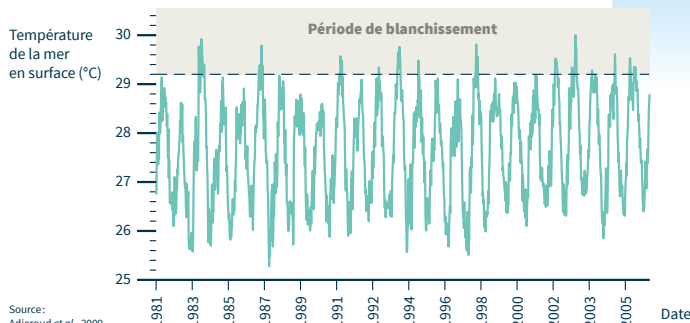
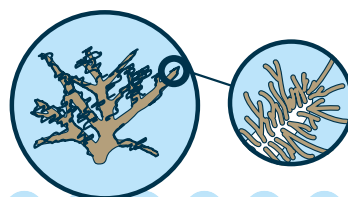
CORAIL EN BONNE SANTÉ



CORAIL BLANCHI



CORAIL MORT COLONISÉ PAR DES ALGUES FILAMENTEUSES



ESPOIR

Un suivi mené pendant 40 ans sur un récif à l'Est de l'océan Indien, révèle que l'augmentation du niveau de l'océan, provoqué par le réchauffement global, pourrait être favorable au développement de la couverture corallienne et limiter le blanchissement du corail lors des épisodes de fortes températures.

D'APRÈS BROWN ET AL., 2019



La microalgue *Symbiodinium thermophilum* est capable de résister à des températures de plus de 36°C. Les coraux en symbiose avec cette espèce supportent plus facilement les variations de température.



ESPOIR

En 30 000 ans, la Grande Barrière de Corail a survécu 5 fois à des extinctions massives. Couvrant seulement 3% de la Grande Barrière, un cœur de récif sain a été découvert en 2017. Ce récif moins touché par les agressions pourrait avoir la capacité de fournir des larves sur près de 50% de la Grande Barrière de Corail. Un espoir pour ce 6^e déclin de la biodiversité ?

L'acidification de l'océan

Véritable puit de dioxyde de carbone (CO₂), l'océan concentre 50 fois plus de carbone que l'atmosphère.

Une telle capacité d'absorption est liée à l'utilisation du CO₂ par les microalgues pour leur photosynthèse (= pompe biologique) et au stockage du carbone par les courants océaniques dans les eaux profondes et froides (= pompe physique). Chaque année, ce sont près de 25 milliards de kilos de CO₂ absorbés dont 70 à 90 millions de tonnes de carbone stockées par les récifs coralliens.

Mais le piégeage du CO₂ a un coût, l'océan est aujourd'hui 30% plus acide qu'au début de la révolution industrielle. En 2100 cette acidité océanique pourrait atteindre 150%.

Le pH des eaux de surface pourrait ainsi diminuer à 7,8 contre une valeur de 8,2 avant les années 1870. Un tel niveau d'acidité n'aurait pas été atteint depuis 20 millions d'années.

En 30 ans, le taux de calcification des coraux aurait été réduit de 40%. Une calcification moindre qui conduirait à une érosion plus importante du récif (tempête, houle, etc) et à une diminution de la biodiversité de l'écosystème récifal. Mais l'acidification s'accompagne également d'autres répercussions physiologiques notamment sur la reproduction.

En Atlantique Nord, les coraux d'eau profonde seraient les plus affectés par l'acidification plus importante des masses d'eau en profondeur. La distribution de ces espèces pourrait s'en trouver limitée à 1 500 m de profondeur contre les 2 500 m actuels. Les répercussions sur la faune associée et la richesse des fonds seraient alors considérables.

MINÉRALISATION

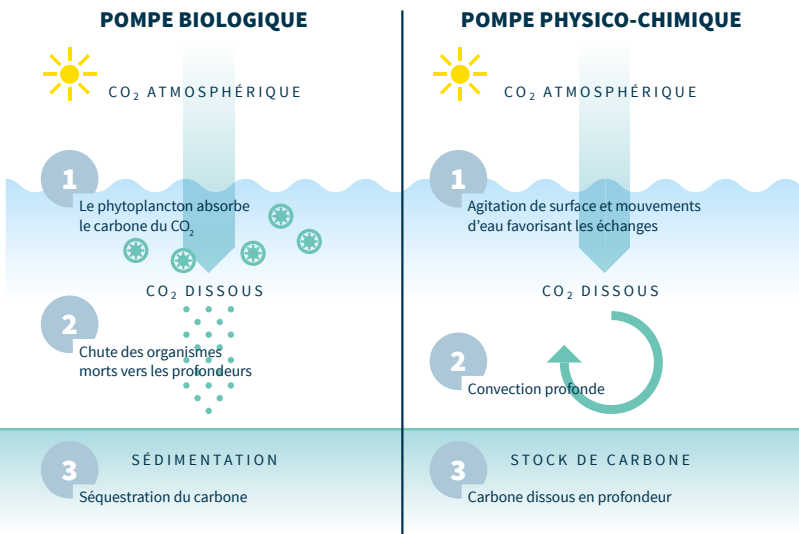
Certaines espèces pourraient s'adapter en situation plus acides. Ainsi, le corail *Stylophora pistillata* semblerait résister et évoluer face à ces nouvelles conditions.



pH

« Le pH de l'océan pourrait atteindre 7,7 d'ici 2100, soit un triplement de son acidité par rapport à la période préindustrielle. (...) Il ne faut pas espérer conserver plus de 20 à 30 % des récifs coralliens qui existent aujourd'hui. »

JEAN-PIERRE GATTUSO, 2018



40

kg.seconde⁻¹ de CO₂ dissous dans l'océan

30%

du CO₂ atmosphérique absorbés par l'océan

150

milliards de tonnes de carbone absorbées depuis 1870



En Papouasie Nouvelle-Guinée, des coraux sont capables de se développer dans des résurgences d'eaux volcaniques. Dans ces eaux, le pH est similaire aux prévisions pour 2100. Des capacités d'adaptation ?



Événements extrêmes

Les cyclones, les typhons ou les ouragans figurent parmi les principales causes de la diminution de la couverture corallienne

Les scientifiques ne peuvent se baser que sur 30 années d'observations, les projections restent encore limitées. Le passage des cyclones occasionne des dégâts directs tels que la fragmentation des colonies, des lésions tissulaires, des ensablements. Des impacts indirects sont aussi observés sur les coraux survivants comme une plus forte sensibilité au stress et aux maladies. La compétition algale sera plus importante avec le lessivage intense du substrat et la mise en suspension dans le milieu marin des nutriments terrestres.



CYCLONES

« Si le nombre de cyclones reste stable, les scientifiques prévoient une augmentation des vents cycloniques de 10% et une augmentation des précipitations associées aux cyclones de 20%. »

CHRISTELLE BARTHE, 2017
CHARGÉE DE RECHERCHE AU CNRS
AU LABORATOIRE DE L'ATMOSPHÈRE
ET DES CYCLONES

Près de
90
cyclones par an
recensés sur Terre.



La surpêche

La surexploitation des espèces de grandes tailles et prédatrices (requins, mérous, carangues, balistes, etc.) induit de profonds déséquilibres.

La pêche des prédateurs de l'oursin *Diadema antillarum*, comme les poissons balistes, a permis à cette espèce de proliférer. Les oursins ont activement contribué à la réduction des algues au bénéfice des coraux. Cependant le développement des oursins s'est fait au détriment des poissons herbivores. Dans les années suivantes, une forte mortalité des *Diadema antillarum* conjuguée à l'absence de poissons herbivores a provoqué un développement important d'algues, déséquilibrant l'écosystème récifal.

En plus de la pêche intensive, les récifs coralliens sont également exposés à la demande importante du marché de l'aquariophilie. L'essentiel des captures se concentre sur des espèces à forte valeur commerciale parmi lesquelles, 150 espèces de coraux durs, 100 espèces de mollusques, de crustacés, d'éponges, etc. et 1 400 à 1 800 espèces de poissons récifaux. La collecte ciblée de certaines espèces bouleverse l'équilibre de l'écosystème corallien. Ainsi, la pêche de nombreux poissons herbivores favorise, dans certaines zones, la prolifération d'algues au détriment des coraux.



Cyanure, narcotiques (quinaldine), acétone, solvants alcoolés, acide sulfurique voire même dynamite, de nombreuses méthodes de capture sont aujourd'hui illégales. Utilisées pour endormir le poisson, ces techniques entraînent chaque année la mort de plusieurs dizaines de millions de poissons. Elles causent également de nombreux dégâts collatéraux sur les autres organismes des récifs coralliens, dont les Scléractiniaires. Si leurs utilisations tendent à régresser, la vigilance reste cependant de rigueur.



EN SAVOIR PLUS

Dans l'Océan Indien, la surpêche est la menace la plus répandue, suivie de près par la pollution d'origine terrestre et le développement côtier.





POISSONS-CLOWNS

Plus d'1 million de poissons-clowns auraient été pêchés suite à la diffusion de dessins animés à succès.

15

millions de poissons sont pêchés pour l'aquariophilie chaque année.



La CITES (Convention sur le Commerce International des Espèces de Faune et de Flore sauvages menacées d'Extinction) protège près de 5 800 espèces animales dont l'ensemble des coraux menacés de surexploitation.



LE BRACONNAGE DES HOLOTHURIES DANS L'Océan Indien

Recherchées dans les mers tropicales pour les marchés Chinois et Indonésiens, les holothuries, plus connues sous le nom de « concombres de mer », représentent une manne financière pour les braconniers. Ainsi, plusieurs tonnes d'holothuries quittent les eaux des Îles Eparses de l'Océan Indien de façon illégale. La traque intensive et excessive de l'animal a transformé de nombreux sites (Juan-de-Nova, Les-Glorieuses, Europa, Bassas-da-India) en sanctuaires pour la vie marine. *Holothuria scabra*, espèce endémique des côtes malgaches, est même inscrite sur la liste rouge des espèces en danger d'extinction de l'UICN. Le concombre de mer joue pourtant un rôle essentiel pour l'équilibre écologique des lagons : posé sur le fond des océans, il se nourrit en filtrant l'eau, ingurgite les détritus, sédiments grossiers, les digère et les rejette en un sédiment plus fin et plus homogène. Il participe ainsi à l'oxygénation des océans et est considéré comme un dépollueur naturel.



Les EEE...

Espèces Exotiques Envahissantes

Le développement voire l'invasion d'espèces exotiques peuvent perturber lourdement l'équilibre du récif corallien. Les eaux de ballast des navires ou le marché de l'aquariophilie constituent les deux principales sources d'introduction.

Des initiatives régionales lancées dans le cadre de la Commission de l'Océan Indien (COI) (regroupant Madagascar, les Comores, l'île Maurice, les Seychelles et La Réunion) sollicitent la mise en place d'une stratégie régionale sur les EEE marines, aujourd'hui inexistante (une réglementation et des stratégies territoriales existent bien, comme à Mayotte ou à La Réunion, mais pas à l'échelle régionale). Cette stratégie permettrait d'approfondir ou de compléter l'article 7 de la Convention de Nairobi au niveau de son protocole relatif aux zones protégées ainsi qu'à la faune et la flore sauvages dans la région de l'Afrique orientale. Le projet « Biodiversité », piloté par la COI avec le soutien financier de l'Union Européenne, s'inscrit dans cette démarche et concerne les Comores, le Kenya, Madagascar, l'île Maurice, les Seychelles, la Tanzanie et La Réunion (cette dernière s'intégrant au projet sur ses fonds propres).



LES EEE MARINES DANS L'Océan Indien

Près d'une dizaine d'espèces exotiques marines ont été recensées dans les eaux de l'île Maurice, 5 dans les eaux réunionnaises, 4 dans les eaux malgaches, 3 dans les eaux de Mayotte et 3 dans les eaux seychelloises. Aucune de ces espèces n'est pour l'instant considérée comme envahissante. En revanche, 33 espèces exotiques marines considérées comme envahissantes ont été identifiées dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, principalement en Afrique du Sud. Les espèces *Ficopomatus enigmaticus*, *Ciona robusta*, *Ascidia sydneiensis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Littorina saxatilis* sont celles qui présentent le plus fort impact écologique potentiel.

D'APRÈS L'UICN, 2019



STYELA PLICATA OU ASCIDIE PLISSÉE

Originaire *a priori* du Pacifique Nord-Ouest (Japon et Corée), *Styela plicata* se rencontre aujourd'hui dans les eaux tempérées chaudes du globe, conséquence d'une dispersion avérée par les coques de bateaux. *Styela* (objet en forme de tige pointue ou de colonne) *plicata* (plissée, du fait des replis que forme sa tunique) vit fixée à faible profondeur (jusqu'à 10 m), souvent en groupes. Quasiment exclusivement rencontrée dans les sites portuaires et les lagunes, l'espèce peut supporter de grandes variations de température et de salinité.



L'étoile de mer *Acanthaster planci*

L'étoile de mer épineuse, un prédateur

Aussi appelée « Couronne d'épines », cette étoile de mer est facilement reconnaissable pour ses longues épines venimeuses.

Cette espèce corallivore est étudiée depuis les années 1930-1950. Dans les années 1970, les États-Unis ont financé à coup de plusieurs centaines de milliers de dollars, des études sur la prédation de cette étoile de mer. L'impact de cet Échinoderme sur les récifs coralliens est considérable.

Durant les épisodes de prolifération, l'abondance en *Acanthaster planci* peut dépasser les 1 000 individus par hectare et engendrer une perte de près de 80% de la couverture corallienne. L'action destructrice des étoiles de mer sur le récif débute seulement à partir de 10 individus par hectare...

Les *Acanthaster planci* ont une forte préférence pour les familles des Acroporidés et des Pocilloporidés.

Lors des fortes invasions, aucune préférence n'est faite et l'ensemble de la population corallienne est exposé à la prédation. Le développement de cette espèce est favorisé par la surpêche de son principal prédateur, le triton géant (*Charonia tritonis*). L'enrichissement des eaux en nutriments, l'augmentation de température, le passage d'un typhon ou encore la diminution des zooplanctonophages sont favorables au développement de l'espèce. À noter l'explosion importante d'*Acanthaster planci* constatée à Mayotte.



TRITON

L'Australie finance depuis 2015 des essais pour maîtriser l'élevage des tritons géants *Charonia tritonis*. Ce prédateur naturel des étoiles de mer épineuses pourrait protéger les coraux...



RANGERBOT

Le RangerBot est un robot sous-marin australien équipé pour cartographier les récifs coralliens mais aussi capable de détecter et d'injecter une toxine dans les *Acanthaster planci*.

Les activités récréatives

La valeur marchande générée par les récifs coralliens des territoires français d'Outre-Mer a été évaluée par l'Initiative française pour les récifs coralliens (Ifrecor) à 1,3 milliards d'euros par an pour tout l'Outre-Mer, dont 315 millions pour le tourisme..

30 milliards d'euros par an de bénéfices générés par les récifs à l'échelle mondiale

Les services rendus par les écosystèmes coralliens concernent le tourisme « bleu », la protection contre les inondations côtières, la pêche récifale (commerciale et d'autoconsommation), ou encore la production de biomasse (commerciale et d'autoconsommation). À Mayotte, la valeur annuelle rendue par les écosystèmes coralliens s'évalue à 30 millions d'euros. 600 sociétés, 900 emplois, 50 000 personnes en dépendent. Les récifs de La Réunion génèrent quant à eux près de 45 millions d'euros de services chaque année, et concernent 1500 sociétés, 4000 emplois et 15 000 personnes. La demande touristique pour les activités récréatives est en hausse et la surfréquentation de certaines zones coralliennes a engendré une augmentation des dégradations. Certaines activités parmi lesquelles la plongée, la plaisance, le snorkeling (la randonnée palmée) ou les excursions à pied sont susceptibles d'endommager le récif (coups de palme, marche sur les coraux, ancrages, etc.). En plus de la fragmentation des branches et de la mise en suspension du sédiment, les coraux sont soumis à l'abrasion, au risque bactérien, etc. Ces troubles peuvent se répercuter sur la croissance du corail, sa reproduction et le développement algal.



TOURISME

Le tourisme peut avoir un double impact sur les écosystèmes récifaux : lors de la phase d'aménagement des infrastructures (terrassements, dragages, sédimentation, etc.), et lors de la phase d'activité touristique proprement dite (essentiellement via le rejet d'eaux usées). Les mouillages des navires et leurs rejets domestiques, ainsi que la plongée sous-marine pratiquée de manière intensive sont les activités touristiques les plus néfastes pour les coraux.



Avec 10% des récifs du globe, la France et ses collectivités d'outre-mer encouragent les plaisanciers à utiliser des bouées d'amarrage afin d'éviter les ancrages sauvages et destructeurs des coraux.

Les aménagements terrestres

Si l'attrait des zones côtières est visible dès les années 1750, la colonisation du littoral prend véritablement de l'ampleur à la moitié du XX^e siècle.

Dans les territoires pauvres en matériaux de construction, les récifs coralliens constituent une ressource importante pour l'édification de remblais, de terrassements, de routes, de bâtiments, etc. Le corail a servi notamment de pierre à bâtir sous la forme de moellons dans les Antilles, de dalles dans les Bermudes. La caillasse et la roche coralliennes furent incorporées dans le béton.



LE BIOMIMÉTISME ...

Pour sa durée de vie et sa forte résistance à la pression (jusqu'à 80 mégapascals), le corail inspire l'industrie du ciment. Pourquoi ne pas imiter la bio-minéralisation du corail ?

La combustion de cette roche permet aussi l'obtention de chaux. En plus de provoquer une forte sédimentation, l'extraction de sable corallien modifie la courantologie influençant directement la communauté récifale. Les aménagements portuaires et leurs extensions sont responsables de la régression de la couverture corallienne. Ainsi l'aménagement portuaire et pétrolier de Singapour ont entraîné une perte de près de 60% de la couverture récifale. Les limites de cette zone portuaire, parmi les plus fréquentées au monde, bordent un récif riche de près de 255 espèces de Scléractiniaires.

Du macro au microplastique

Connue depuis les années 1970, ce n'est qu'en 1990 que l'accumulation de plastique dans l'océan interpelle la communauté scientifique.

La pollution plastique couvrirait plus de 300 millions de km². En 2025, ces déversements pourraient être multipliés par 10 et même atteindre des quantités annuelles estimées jusqu'à 130 millions de tonnes.

Si les débris plastiques peuvent être de grandes tailles, il ne faut pas non plus sous-estimer l'impact des microplastiques voire des nanoplastiques. Souvent de quelques dizaines de micromètres, ces microparticules peuvent être facilement ingérées par les polypes coralliens (D'APRÈS HALL ET AL., 2015). Les taux de capture de certains Scléractiniaires seraient similaires entre les microplastiques piégés et le zooplancton ingéré. Les additifs chimiques des plastiques stimuleraient même l'ingestion de ces déchets chez certaines espèces coralliennes. Des microdéchets apparaissent désormais inclus dans les tissus coralliens posant des questions sur les effets physiologiques que pourraient subir les polypes sur le long terme.



DÉSÉQUILIBRE

Les plastiques constituent des supports favorisant la dispersion des espèces vers de nouvelles régions océaniques. Ces déplacements peuvent entraîner des déséquilibres (espèces invasives, nouveaux prédateurs, maladies, croisements, etc).



La probabilité de maladie augmente de 4% à 89% lorsque les coraux sont en contact avec du plastique (D'APRÈS LAMB ET AL., 2018). L'ingestion et l'accumulation de microplastiques dans les polypes entraîneraient également des perturbations sur la symbiose entre le corail et ses zooxanthelles pouvant entraîner, sur du long terme, des anomalies de développement du corail. Parmi les principales causes, les agents biologiques mais aussi chimiques tels que des métaux lourds comme le plomb, le cuivre, le cadmium (D'APRÈS TANG ET AL., 2018 ; UTAMI & REUNING, 2018).



LES GYRES DE PLASTIQUES

Lorsque les courants marins convergent les uns vers les autres, ils forment de gigantesques tourbillons concentrant en leur centre des milliers de tonnes de particules plastiques, dont 94 % des mesurent de 1 à 5 mm. Ce sont les gyres de plastiques, des zones d'accumulation massive de plastiques, localisés dans la plupart des océans. Le plus grand d'entre eux, situé dans l'océan Pacifique nord, occupe une surface grande comme trois fois la France, avec 1,8 billion de morceaux de plastiques.

En moins de 50 ans,

700%

de production de plastique

320

millions de tonnes par an : production de plastique dans le monde

120

tonnes.min⁻¹ rejetées dans l'océan

8,8

millions de tonnes de plastiques chaque année dans l'océan

Plus de

800

espèces marines touchées par les déchets marins et les plastiques

D'APRÈS SWEET ET AL., 2019

5mm

taille d'un microplastique



LA BIO-ACCUMULATION

À de très faibles concentrations, les polluants peuvent être toxiques, notamment certaines molécules que le corail ne peut rejeter. Les nouvelles molécules résultant de la bio-dégradation des polluants peuvent s'avérer encore plus dangereuses pour les organismes. Les répercussions sur le corail sont multiples : problèmes de malformations, baisse des performances de croissance, de reproduction, développement de maladies, des mutations, etc.

Anti-fouling
et anti-corrosifs

Produits phytosanitaires

Amendements agricoles
et domestiques

Égouts

Métaux lourds

Pétrochimie

Industrie minière

Les apports polluants et eutrophisants



FORME

Les formes foliacées (forme de feuille) et fuselées de certaines espèces coralliennes permettent de regrouper le sédiment vers le centre des colonies.



LA SÉDIMENTATION

Les récifs coralliens des zones tropicales et sub-tropicales requièrent des eaux limpides pour leur développement. Les espèces sont sensibles à la concentration en sédiment en suspension dans l'eau. Cette sédimentation peut être induite par la déforestation et l'érosion des sols. En l'absence de végétation, les fortes pluies peuvent causer un lessivage des terres entraînant vers l'océan des charges élevées de matières organiques.

L'excès de sédiment peut induire le blanchissement du corail consécutif à un important état de stress tel qu'une exposition limitée à la lumière ou une faible disponibilité en oxygène dissous. Le dépôt du sédiment limite les sites de fixation pour les larves et augmente le risque de maladies. Les apports terrigènes vont enfin soutenir le développement des algues au détriment des coraux.



LES EAUX USÉES

Certains récifs souffrent de l'absence de retraitement des eaux usées voire du sous-dimensionnement des stations d'épuration. Ces eaux chargées en matières organiques et en nombreuses molécules perturbent profondément l'équilibre de l'écosystème corallien. Les rejets d'eaux riches en nutriments favorisent le développement des algues au détriment du corail.

Dans les années 1990, *Acropora palmata*, principal corail constructeur des Caraïbes, a été décimé par la bactérie, *Serratia marcescens*. Cette espèce a développé la variole blanche, maladie très virulente et responsable chez l'être humain d'affections respiratoires, cutanées et urinaires. Cette bactérie fut directement transmises aux coraux par l'intermédiaire des eaux usées des égouts de Floride ou des navires de croisière.



Parabènes
Cinnamates
Benzophénones
Oxybenzone
Dérivés du camphre
Butylparabène

Parmi les cosmétiques, les crèmes solaires

L'été 2018 aura été sélectif à Hawaï. En effet, constatant que 10% des coraux sont directement menacés par les filtres anti-UV d'une crème écran total, il a été décidé que seules les personnes utilisant des crèmes solaires biodégradables pourront accéder aux plages hawaïennes.

La bio-accumulation par le corail des composés anti-UV va s'accompagner d'une libération rapide de mucus et de zooxanthelles entre 18 et 48h après exposition. Un blanchissement complet est obtenu après seulement 4 jours. Ce phénomène s'accélère avec l'augmentation des températures. Des composés toxiques vont résulter de la dégradation par la lumière des anti-UV.



IMPACT

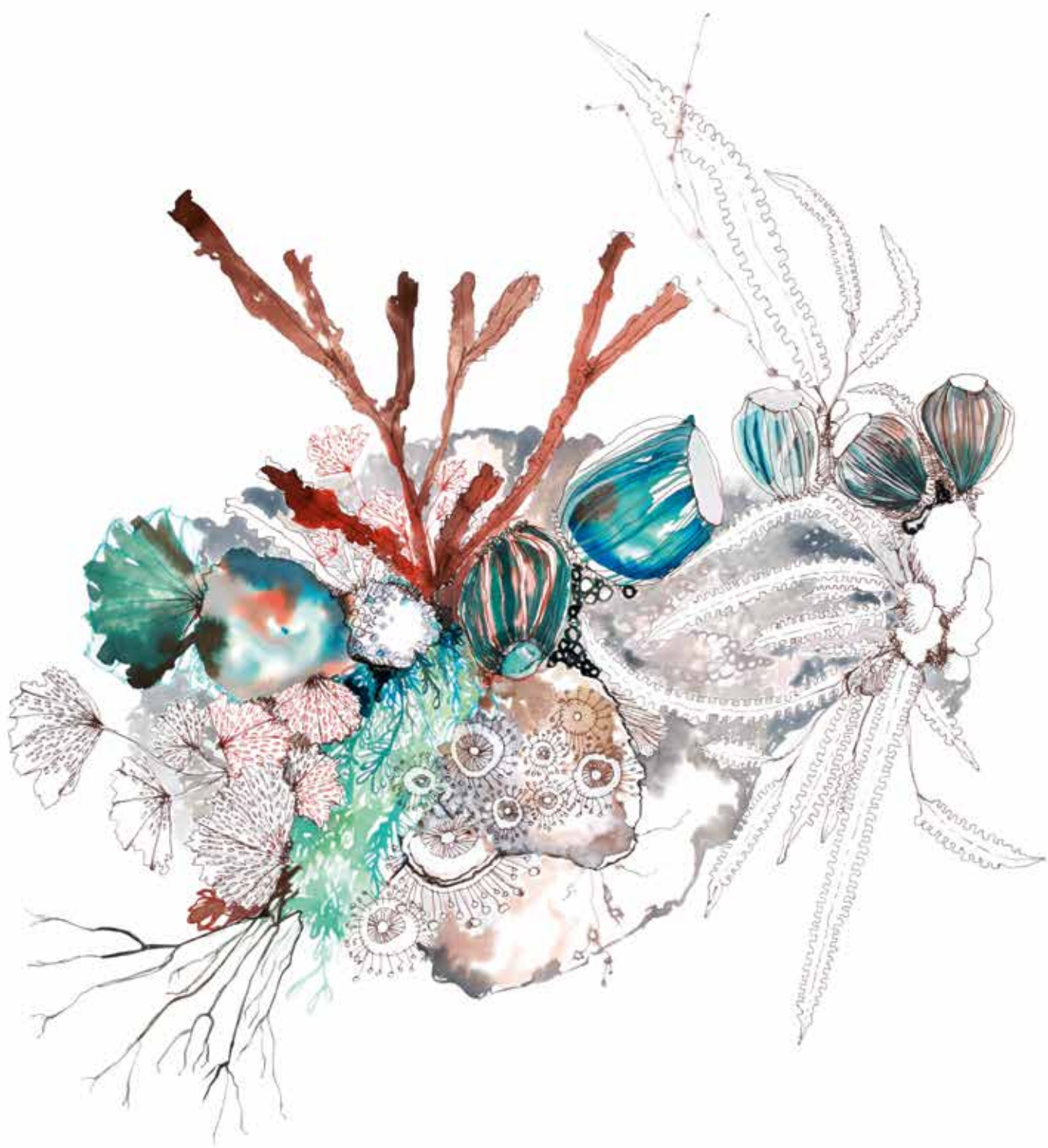
Les composés anti-UV perturbent à faible concentration les récifs coralliens.

1
litre de crème
ajouté par seconde
dans l'océan.

8000
tonnes par an
de crèmes solaires
diluées dans l'océan.

Soumise à ces composés, la reproduction du corail est perturbée (baisse de la fertilité et de la fécondité, malformations des larves). Favorisée par la composition des crèmes, l'abondance en virus et en bactéries peut être jusqu'à 15 fois plus importante dans l'eau entourant les colonies coralliennes.

Les crèmes solaires vont également entraîner une malformation des larves de coraux, une diminution de la concentration en zooxanthelles dans les tissus et des problèmes de calcification. Les larves fixées formeront des coraux plus sensibles aux événements stressants (augmentation de température, etc) et des mutations risqueront d'entraver les performances des futurs géniteurs.



CHAPITRE 3

Actions



La résilience de l'écosystème corallien

La résilience de l'écosystème corallien définit la capacité de la communauté récifale à absorber, à travers sa structure et son fonctionnement, les changements et les perturbations dus aux pressions environnementales et anthropiques, en poursuivant sa dynamique de production (de ressources) grâce au maintien de son état d'équilibre.

Sous l'effet des nombreuses perturbations, l'abondance corallienne et des organismes associés régresse à un taux jamais atteint de 0,5 à 2% par an. Afin de soutenir la résilience de l'écosystème corallien, de nombreuses actions, souvent complémentaires, peuvent être initiées.

Restauration passive : pas d'intervention de l'être humain. Les actions se limitent à réduire ou éliminer les pressions anthropiques pour un recouvrement naturel du récif (réserve, aire marine protégée, etc).

Restauration active : intervention directe de l'être humain dans le processus de résilience de l'écosystème corallien. De nombreuses actions sont possibles (modifié d'après Rinkevich, 2019) :

1. Le « coral gardening » ou « jardinage de corail ». Inspirée de la sylviculture, cette méthode est la plus utilisée.

Coralliculture de fragments dans des « pépinières » de corail, élevage de larves de corail dans des « nurseries » de corail, transplantation des colonies produites en captivité vers des zones dégradées du récif

2. L'ingénierie écologique restaure l'écosystème dégradé et conçoit des écosystèmes durables intégrant les activités humaines et les besoins du récif.

Récifs artificiels, soutien des populations d'organismes herbivores (lutte contre les algues), soutien des prédateurs d'espèces corallivores

3. L'intervention humaine dans les processus biologiques du corail pour favoriser la survie de l'espèce.

Assistance à la migration et à la colonisation du corail, assistance génétique et évolutive, adaptation du microbiome (bactéries, levures se développant sur le tissu corallien), intervention



RÉSILIENCE

La résilience fait intervenir la capacité de récupération (résilience ingénierique), c'est-à-dire le temps nécessaire à l'écosystème pour recouvrir à un état stable après une perturbation et la capacité de résistance (résilience écologique) désignant la quantité de perturbations absorbables par l'écosystème avant de basculer vers un autre état d'équilibre.

épigénétique (nouveaux allèles et traits de caractères pour augmenter la tolérance du corail), favoriser le chimérisme (transplantation naturelle des tissus coralliens entre espèces)

4. La création de banques de données en soutien à la restauration et à la conservation des récifs coralliens.

Séquençage génétique, cultures cellulaires, cryoconservation, coralliculture en conditions contrôlées (centres de recherche et aquariums)

L'éducation et la sensibilisation des populations (à différentes échelles : locale à mondiale) aux enjeux de préservation de l'écosystème corallien sont aujourd'hui indispensables.



Des compétences dédiées aux récifs coralliens

La survie des récifs coralliens nécessite de :

- Réduire les pressions anthropiques ;
- Protéger ces écosystèmes en multipliant les aires marines protégées avec des zones de protection forte plus étendues ;
- Renforcer les réseaux de suivi des récifs ;
- Développer l'acquisition des connaissances ;
- Favoriser une bonne appropriation des enjeux en mobilisant tous les acteurs et en éduquant les citoyens.

La mise en œuvre de ces actions implique une mobilisation de tous les acteurs présents sur les territoires littoraux hébergeant cet écosystème essentiel, ainsi qu'une diversité de compétences et d'expertises complémentaires nécessaires pour la sauvegarde des récifs coralliens. Les métiers qui en découlent pourront être une source d'inspiration pour les étudiants et jeunes professionnels, futurs acteurs au service de ce patrimoine naturel remarquable.

La recherche et l'enseignement supérieur

L'enseignant-chercheur a une double mission : il fait progresser la recherche dans sa discipline et transmet les connaissances qui en sont issues à ses élèves ou étudiants.



Activités

Préparation des cours et travaux pratiques
Organisation des sorties et missions de terrain
Participation à des missions de connaissances scientifiques
Travaux de recherche

Formation

Minimum Bac + 5
Parcours universitaire en sciences naturelles
(biologie, écologie, océanographie)

Compétences

Partage et transmission de connaissances
Vulgarisation
Organisation des cours et des travaux pratiques
Connaissance des milieux naturels
et en particulier des écosystèmes marins

ALAIN BARRERE

ENSEIGNANT, CHERCHEUR - ILE DE LA RÉUNION



L'enseignement me comble en termes de rencontres, de transmission des connaissances et des compétences, d'émancipation intellectuelle de nos jeunes. Quant à la recherche, les rencontres, les découvertes pour la connaissance de notre planète, l'aide à la décision collective sont autant de motivations quotidiennes. »

« Ma casquette d'enseignant m'amène à organiser beaucoup de travaux pratiques et de sorties terrain, et à garder un lien avec le concret. Je mène aussi des mini-travaux de recherche avec les élèves. Mon rôle de chercheur me permet de réaliser de nombreuses missions sur l'Ile de La Réunion et dans le Sud Ouest de l'Océan Indien (Ile Maurice, Madagascar, Rodrigues, Comores, Mayotte, Iles éparses), surtout pour des inventaires de biodiversité et l'apport de connaissances des milieux naturels. »

« Les difficultés liées à l'enseignement sont liées aux contraintes d'emploi du temps avec des heures fixes, et la difficulté parfois à sortir sur le terrain. Quant à la recherche, je n'en vois aucune... »



L'animation communautaire

L'animation communautaire vise à favoriser l'engagement et la participation des communautés dans un projet ou une action d'intérêt social, environnemental, ou économique.

L'animateur communautaire est une personne dotée de compétences techniques, dynamique qui facilite l'expression des besoins et des attentes des communautés, en s'appuyant sur des modes d'intervention variés en fonction de son public.

Activités

- Animation de réunions sur le terrain
- Organisation de réunions
- Préparation de matériel
- Construction de budgets
- Échanges et discussions avec les populations

Compétences

- Partage et transmission de connaissances
- Animation de réunion
- Savoir écouter et adapter son discours en fonction de ses interlocuteurs
- Connaissance des mesures de gestion des ressources marines et des écosystèmes marins dans leurs dimensions environnementales, économiques et sociales
- Vision globale des programmes pêche mais aussi éducation, aquaculture, santé communautaire
- Concertation et dialogue avec les parties prenantes





NOËLINAUD ROBERT DJERRYH

SUPERVISEUR DES AGENTS DE LIAISON
COMMUNAUTAIRES DU PROGRAMME AQUACULTURE
BLUE VENTURES* - MADAGASCAR



Je travaille dans une zone reculée, où la vie marine et les coraux sont menacés alors qu'ils sont essentiels, et nous mettons beaucoup de choses en place ce qui me rend très fier. »

« J'ai plaisir à partager mes connaissances avec les communautés de pêcheurs Vezo (peuple pêcheur nomade à Madagascar), notamment en matière d'organisation du travail, de discipline, ou encore d'outils de gestion pour les fermiers. »

« C'est un métier qui nous amène toujours à mener une réflexion sur ce que l'on fait, et ce n'est jamais monotone. Cela est renforcé par le fait que le programme d'aquaculture d'holothurie et d'algues pour lequel je travaille est assez nouveau dans notre pays, surtout pour la communauté Vezo. »

« Lorsqu'une mission est programmée, je conçois l'ordre du jour, je prépare le budget et le matériel nécessaire. Une fois sur le terrain, au village, je me rends chez le chef du village pour l'informer de la raison de mon passage. Je traverse le village pour informer les habitants de la réunion. En réunion, nous prenons des décisions de façon collective. Toute chose discutée et validée est inscrite dans le procès-verbal, qui sera signé par les fermiers présents. »

« L'une des difficultés de mon métier est le degré d'implication et d'autonomie des communautés bénéficiaires qui est parfois faible sur l'ensemble des activités effectuées. »

* Blue Ventures est une organisation non gouvernementale implantée dans le monde entier et qui implique les communautés côtières dans la gestion et la conservation des ressources marines.

La gestion de projets

La gestion de projet est l'ensemble des activités visant à organiser le bon déroulement d'un projet et à en atteindre les objectifs. Elle consiste à planifier et mettre en œuvre les activités permettant d'atteindre les objectifs attendus, et à assurer leur bon déroulement.

Activités

Montage et pilotage de projets
Définition de stratégies opérationnelles
Suivi administratif et financier des projets
Recherche de financements, contrats
Organisation logistique des missions
Collecte de données sur le terrain
Analyse des données
Collaboration avec divers organismes (scientifiques, institutionnels, techniques...)
Formation et sensibilisation
Transmission des connaissances auprès du public

Formation

Minimum Bac + 3
Parcours universitaire en biologie - Spécialité en biologie marine, écologie ou génie de l'environnement
« Un plus » : Diplômes de plongée sous-marine

Compétences

Connaissances des écosystèmes marins dans ses dimensions environnementales, économiques et sociales
Concertation et dialogue avec les parties prenantes
Mobilisation des expertises



CÉLINE MITERNIQUE AGATHE

CHEF DE PROJET RECHERCHE MARINE
REEF CONSERVATION* – ÎLE MAURICE



Depuis ma plus tendre enfance, la mer me passionne. »

« Nous réalisons beaucoup de travail de terrain à évaluer l'état de santé des récifs coralliens et des herbiers marins. Le terrain est une partie très intéressante du travail, mais la transmission des connaissances est toute aussi importante. »

« J'aime transmettre à la communauté..., il faut qu'ils comprennent tout ce que cela implique pour qu'ils adoptent de vrais gestes de protection envers leur environnement. »

« La plus grande difficulté est de trouver des financements à long terme afin de pouvoir continuer nos suivis scientifiques ainsi que nos formations et sensibilisation de la communauté. »

—
* Reef Conservation est une organisation à but non lucratif dédiée à la conservation et la restauration de l'environnement côtier et marin de l'île Maurice.



2

BARBARA MATHEVON

CHARGÉE DE PROJETS GESTION DES RESSOURCES
NATURELLES / AIRES PROTÉGÉES
GRET* – MADAGASCAR

Depuis toute petite, j'ai souhaité me consacrer à la protection de l'environnement. »

« Le premier stage fut l'occasion de comprendre la nécessité de déconstruire ses représentations lorsque l'on parle d'environnement dans une culture différente. »

« Ce qui me plaît dans mon métier : d'abord il a du sens et il est nécessaire... Être responsable d'un projet, c'est mobiliser des compétences pour être en capacité d'appréhender correctement la complexité du système socio-écologique côtier et c'est passionnant. »

« Je pense qu'il faudrait considérer la biodiversité comme un service essentiel à l'humanité, au même titre que l'accès à la santé ou à l'éducation, et la financer dans le long terme. »

* Fondé en 1976, le Gret est une ONG internationale de développement solidaire, qui agit pour apporter des réponses durables et innovantes aux défis de la pauvreté et des inégalités.

1

Travail de terrain
réalisé en plongée

2

Barbara Mathevon

3

Travail de terrain
réalisé en plongée



3

SANDRINE JOB

GÉRANTE D'UN BUREAU D'ÉTUDES
(AUTO-ENTREPRENEUR)
CORTEX* – NOUVELLE-CALÉDONIE

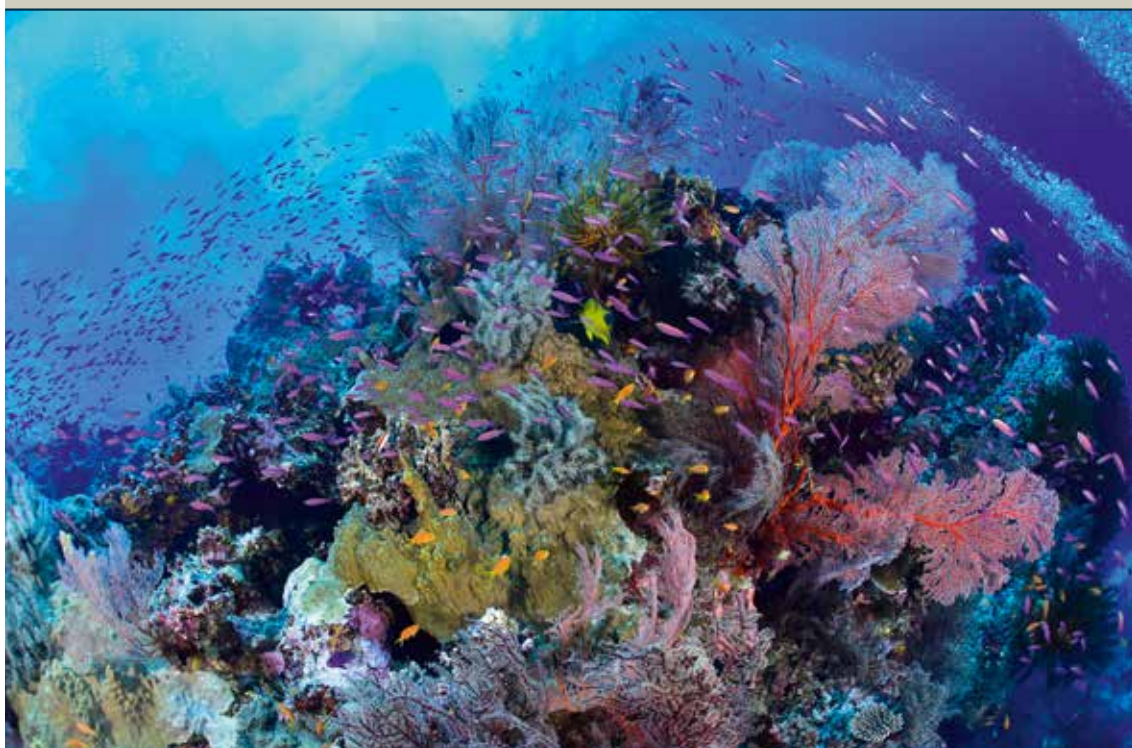
Ce qui me plaît dans mon métier, c'est de me sentir utile pour la préservation des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, en mettant mes compétences et toute mon énergie, afin de transmettre cette richesse naturelle aux générations futures. »

« Au travers de mon bureau d'études, je réalise le travail que je rêvais de faire... »

« Comme tous les auto-entrepreneurs, la principale contrainte est la fluctuation du marché du travail, particulièrement sensible dans le domaine de l'environnement où les restrictions budgétaires peuvent être sensibles quand l'économie ralentit. »

* CORTEX est un bureau d'études basé à Nouméa, spécialisé dans l'étude des milieux naturels et le suivi de la qualité de l'environnement.

L'écotourisme



Les récifs coralliens attirent les touristes qui aiment les observer en immersion dans leur milieu naturel. De nombreuses activités économiques sont possibles en lien avec ces écosystèmes marins. L'écotourisme concilie la découverte de ces milieux avec la sensibilisation à leur fragilité et à leur nécessaire protection des fonds marins.

Activités

Sensibilisation du public aux écosystèmes marins
Plongées avec du public
Collecte de données (observations, enregistrements de sons et d'images) pour les scientifiques

Formation

Diplôme de plongée sous-marine
Prévention et secours civique de niveau 1 (PSC1)

Compétences

Connaissance des écosystèmes marins dans leurs dimensions environnementales, économiques et sociales
Connaissance des règles de sécurité en matière de plongée
Partage de connaissances
Encadrement de public

SYLVAIN LENOIR

GUIDE DE RANDONNÉE PALMÉE AU SEIN DE
JARDINS CORALLIENS (ET RESPONSABLE DU
CENTRE DE SOINS DES TORTUES MARINES
ET DE PROJETS ENVIRONNEMENT)
TE MANA O TE MOANA* – BORA BORA
(POLYNÉSIE FRANÇAISE)



Je me sens utile à travers mon activité et la transmission des connaissances est gage de motivations. Le contact avec le milieu naturel est également source de bonheur. »

« En tant que guide de randonnée palmée, je débute ma journée en préparant le matériel nécessaire, puis j'accueille les nageurs. Je leur explique le monde des récifs coralliens et leur rappelle les règles de sécurité, puis nous partons en randonnée palmée et nous pratiquons du bouturage avec les nageurs. »

« Ce métier est physique (charges lourdes, dangerosité de la navigation et du travail sous l'eau) et les conditions climatiques sont parfois difficiles. Par ailleurs, je suis responsable de la santé et de la sûreté des personnes amenées dans l'eau. »

* Te mana o te Moana est une association fondée en 2004 œuvrant pour la préservation du milieu marin polynésien et en particulier des tortues marines à travers ses actions de découverte, d'éducation et de protection.

**RICHARD KREBS**

GUIDE DE PLONGÉE SOUS-MARINE
(ET AUTRES ACTIVITÉS NATURALISTES MARINES)
MOHÉLI LAKA LODGE* – COMORES



Mon métier me reconnecte à la nature, pleine de merveilles. Chaque jour je peux l'observer, l'étudier, découvrir et absorber. Ce sont de belles expériences qui se transforment ensuite en un sentiment magique de connexion, d'une appartenance à la nature. »

« C'est un privilège de pouvoir vivre ma passion et de la partager avec les autres : j'ai l'impression de leur offrir quelque chose d'immatériel mais rempli de valeurs. Aussi, il y a la conviction que j'agis pour le bien de tous. Un Monsieur m'a dit un jour : « On aime ce qui nous a émerveillé, et on protège ce que l'on aime ». Pour moi c'est du gagnant, gagnant, gagnant. »

« Pour nous, les priorités sont 1. la sécurité des personnes (clients et équipe), 2. le bien-être des animaux et de l'écosystème, 3. la joie et le plaisir des clients. »

« Le but de chaque sortie est de faire découvrir au mieux la nature qui nous entoure, en montrant les animaux divers, en racontant leurs histoires, en expliquant les dynamiques et les liens de nos écosystèmes. »

« Nous profitons également de nos sorties touristiques pour collecter les données (observations, enregistrements de sons et d'images) pour les scientifiques, qui les analysent et les utilisent pour leurs sujets d'études. »

« Je crois que le plus grand challenge dans notre métier est de changer les comportements destructeurs de certaines personnes pour protéger la nature et l'intérêt général de chacun, qui en profitons : pêcheurs, consommateurs, employés de structures touristiques, etc. »

* Le Mohéli Laka Lodge est un écolodge situé au milieu du Parc national de Mohéli. Entouré de vastes récifs coralliens, le Mohéli Laka Lodge propose un Centre de plongée.

La formation

La formation en environnement permet d'accompagner les changements de comportement et la prise de conscience des citoyens pour une meilleure protection et conservation des écosystèmes.

Activités

Conception et animation de formations de tout public à l'observation et à la préservation des récifs coralliens

Animation de programmes et de projets

Mise en œuvre de plans d'action en lien avec la gestion intégrée de zones côtières

Réalisation de diagnostics et expertises

Formation

Minimum Bac + 2

Parcours universitaire en sciences marines

« Un plus » : Diplômes de plongée sous-marine

Compétences

Connaissance des écosystèmes marins et de la gestion intégrée des zones côtières

Transfert de connaissances et de compétences

Techniques d'animation et de formation



JEAN-PASCAL QUOD

PRÉSIDENT-DIRECTEUR EXÉCUTIF, EXPERT DES RÉCIFS
CORALLIENS ET DES QUESTIONS DE PROLIFÉRATIONS
D'ALGUES NUISIBLES (CIGUATERA)
REEF CHECK FRANCE* – LA RÉUNION



Reef Check France est dédiée aux sciences participatives et citoyennes pour le maintien de la santé des récifs coralliens et des services écosystémiques qu'ils apportent. »

« J'assure plusieurs missions à travers mon activité : gestion nationale du programme de sciences participatives, animation plus spécifique de l'antenne Reef Check Réunion, organisation de stages de renforcement/certification des équipes ultramarines, animation du tableau de bord national, etc. »

« Partager des savoirs, des savoir-faire et des savoir-être du monde de la recherche avec les citoyens pour une meilleure gestion et conservation de l'océan représentent pour moi de réelles motivations quotidiennes. »

« Reef Check est un concept anglo-saxon qui en France tarde à être reconnu à sa juste valeur par les institutions, alors que la complémentarité entre chercheurs et citoyens est pleinement réalisable et positive. »

—
* Reef Check est un programme de sciences participatives présent dans plus de 80 pays impliquant les citoyens dans le suivi de la santé de récifs coralliens sentinelles. Reef Check France a été lancée en 2010 pour fédérer les initiatives locales, rapporter au niveau national et développer des formations adaptées et certifiantes.



La gestion d'espaces protégés

Le gestionnaire d'aires protégées assure la coordination des activités de gestion pour la conservation et la valorisation de la faune et de la flore de cet espace. Il développe les actions d'observation des milieux, d'éducation et de sensibilisation. Il accueille le public et assure une mission de surveillance.

Activités

Suivi monitoring des cibles de conservation marine de l'espace protégé (récifs coralliens, mangroves, herbiers marins, tortues marines, dugongs, mammifères marins, oiseaux marins et nichoirs, pêcheries, etc.)

Évaluation de l'état de santé des milieux

Proposition de solutions aux problèmes identifiés

Coordination et supervision des missions d'études et des recherches réalisées dans l'espace protégé

Traitement et publication des données collectées

Renforcement de la présence de l'espace protégé au sein des réseaux scientifiques internationaux

Mise en œuvre de la politique de sauvegarde environnementale et sociale pour le développement des infrastructures côtières

Formation

Minimum Bac + 3

Parcours universitaire en sciences naturelles

« Un plus » : Diplômes de plongée sous-marine

Compétences

Connaissance des écosystèmes marins dans leurs dimensions environnementales, économiques et sociales

Rédaction de rapports d'activités

Concertation et dialogue avec les parties prenantes





MADI BAMDOU MOUCHITADI

CHARGÉ DE MISSION ENVIRONNEMENT
MARIN ET CÔTIER
PARC NATIONAL DE MOHÉLI – COMORES



La connaissance des écosystèmes marins et côtiers ainsi que des espèces associées font partie de ma vie. »

« Etre dans l'eau à tout moment pour la connaissance de la biodiversité marine et côtière me donne la force d'intervenir sur la gestion, la protection et la conservation des écosystèmes marins. »

« Le métier de conservation, de protection et de gestion de milieu marin et côtier n'est pas aussi facile dans un pays pauvre qui dépend de l'exploitation des ressources halieutiques. »

« Parmi les difficultés que j'identifie dans mon métier, il y a les pressions anthropiques telles que les braconnages. Il y a aussi une difficulté en matière de matériel et d'équipement dont nous disposons qui peuvent être manquants et ainsi freiner nos actions de terrain. Enfin, un manque de visibilité et de communication vis-à-vis des résultats de suivi et de gestion fragilise parfois les efforts des gestionnaires de l'aire protégée. »

La sensibilisation et l'éducation



L'éducation et la sensibilisation à l'environnement et au développement durable visent, par des moyens variés, à informer, former les différents publics (scolaires, adultes, etc.) aux enjeux de l'environnement, à l'importance de la biodiversité, aux menaces auxquels elle est confrontée et aux moyens d'action.

Activités

Sensibilisation du public (mairies, usagers, scolaires, habitants, grand public, etc.) à la préservation des récifs et partage de connaissances

Formation des usagers du milieu marin et des scolaires à la préservation/restauration des milieux marins et côtiers

Formation

Bac + 3

Parcours universitaire en sciences (biologie, géologie, géographie)

Compétences

Connaissance des écosystèmes marins dans leurs dimensions environnementales, économiques et sociales

Concertation et dialogue avec les parties prenantes

Techniques d'animation pédagogique

CAROLE ANTOINE

PRÉSIDENTE D'UNE ASSOCIATION
À VOCATION ENVIRONNEMENTALE
PALA DALIK : L'ÉCHO DU RÉCIF* – NOUVELLE CALÉDONIE



Passionnée par la vie sous-marine, j'ai d'abord intégré l'association en tant que membre bénévole pour participer aux activités de suivi afin d'en apprendre plus sur le fonctionnement d'un récif et communiquer auprès du grand public afin de contribuer à protéger le lagon de Nouvelle-Calédonie classé par l'UNESCO pour sa beauté. »

« Ce qui me plaît particulièrement est d'être acteur du changement en contribuant à récolter de la donnée factuelle permettant de suivre l'évolution de l'état de santé des récifs et en sensibilisant les donneurs d'ordre et les populations sur les mesures de précaution à prendre pour préserver cet incroyable patrimoine naturel. »

« En tant que présidente, je représente l'association auprès des pouvoirs publics et suis responsable de sa bonne gestion. Les missions sont très variées, de la gestion administrative à la mise en place de nouveaux projets, en passant par la communication publique et médiatique. »

« Les activités de l'association reposent principalement sur des subventions publiques, ce qui pose la question de la pérennité de nos actions en période de restriction budgétaire. »

* Pala Dalik : l'écho du récif est une association calédonienne à but non lucratif, affiliée à la FFESSM (Fédération Française des Etudes et Sports sous-marins).



CLODIO CHRITHO TRAVOUCK

ANIMATEUR ENVIRONNEMENTAL
GRET* – MADAGASCAR



Depuis mon enfance, je suis attiré par l'environnement. J'ai grandi dans un village côtier à Sainte Marie, à proximité d'un récif frangeant. C'est ainsi que dès mon jeune âge j'ai été initié à l'activité de pêche. »

« Depuis quelques décennies, les écosystèmes de Sainte Marie, qui est une petite île, se sont dégradés par suite des pressions humaines. De ce fait, c'est devenu pour moi un challenge d'apporter ma contribution dans la préservation de ces écosystèmes pour le développement durable de l'île. »

« Dans notre organisation, nous impliquons toujours la communauté locale dans nos activités sur le terrain, pour plus de transparence. »

« En termes de difficultés liées au métier d'animateur environnemental, il n'est pas évident que les villageois, pour qui les ressources naturelles sont une question de survie, adhèrent à vos messages de sensibilisation sur la protection. D'autre part, les opérateurs économiques tels les entreprises de pêche, les exploitants forestiers ou encore les politiciens qui cherchent à assurer leur popularité refusent parfois de comprendre que toute surexploitation peut impacter gravement les ressources et peut entraîner une situation irréversible. »

* Le Gret est une ONG internationale de développement qui agit depuis 1976 pour apporter des réponses durables et innovantes aux défis de la pauvreté et des inégalités.



Le suivi et la surveillance

Garantir le respect de la réglementation environnementale est la principale mission liée aux métiers de suivi-surveillance des milieux naturels. Ce rôle est essentiel dans les aires marines protégées.

Activités

Suivi et surveillance des écosystèmes
Participation aux suivis scientifiques
Sensibilisation et information des usagers du milieu marin

Formation

CAP ou BEP
Concours externe d'agents techniques de l'environnement
Formation Police de l'environnement
Plongeur professionnel

Compétences

Connaissance des écosystèmes marins
Connaissance de la réglementation environnementale
Concertation et dialogue avec les parties prenantes
Port d'armes





JÉRÔME SUROS

GARDE ANIMATEUR
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC RÉSERVE
NATURELLE NATIONALE MARINE DE LA RÉUNION*



Je suis responsable des gardes dans le secteur Nord de la Réserve, et j'encadre l'équipe des gardes. J'organise également le planning des missions de police de l'environnement. »

« Mes activités sont variées : j'assure les missions de surveillance et de police de l'environnement, je participe aux suivis scientifiques en tant que plongeur professionnel et je sensibilise et informe les usagers. »

« J'ai grandi dans le milieu marin que je connais très bien, j'aime ce contact avec la mer. »

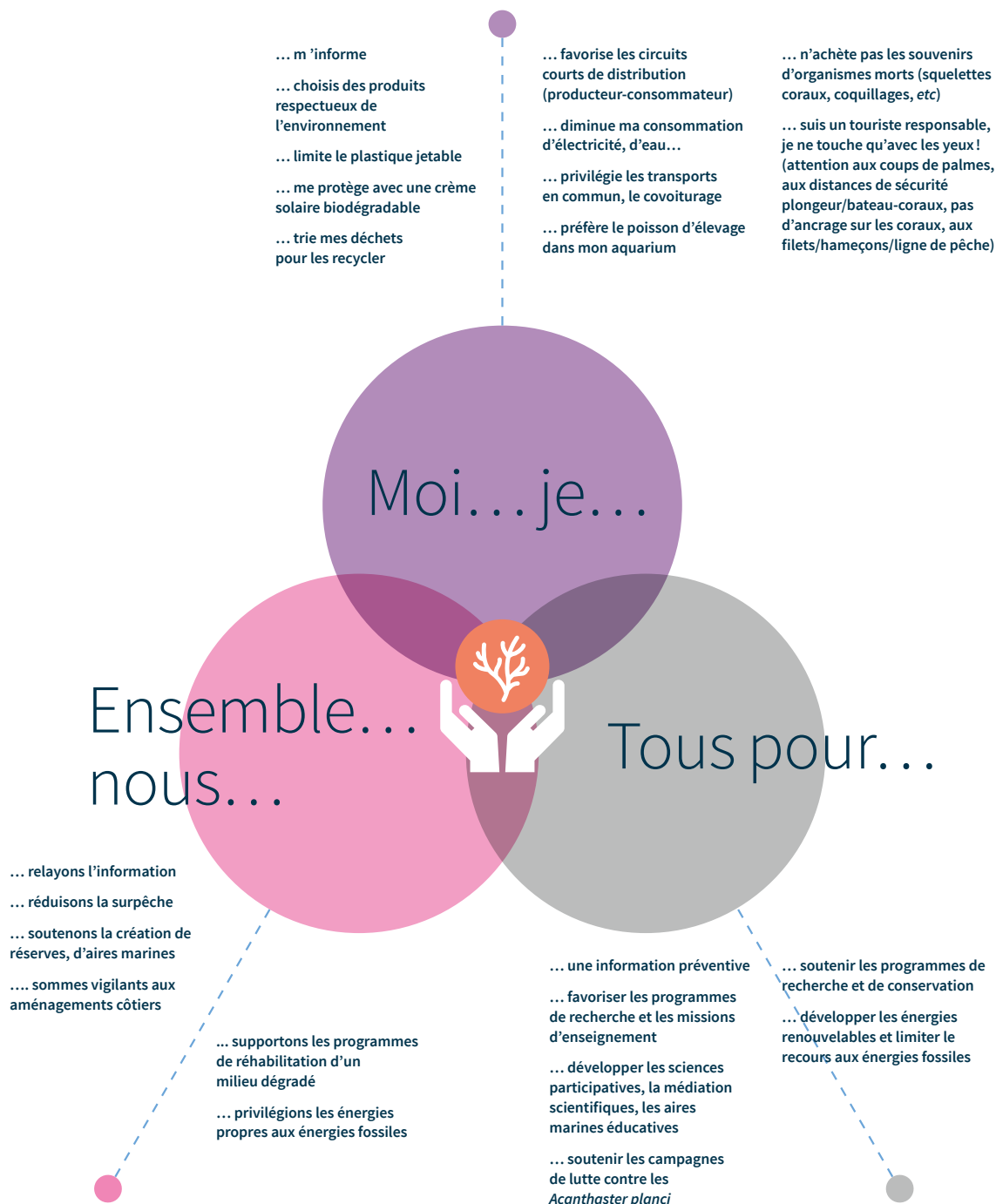
« Mon activité me donne la possibilité de m'investir dans la protection de cet environnement si fragile, me fait prendre conscience chaque jour de l'importance de mon métier et de la nécessité de persévérer dans mes missions. »

« Les contraintes environnementales (soleil, chaleur, etc.) et les conflits avec les usagers peuvent être sources de difficultés. »

* Localisée sur la côte ouest de l'île de la Réunion, la réserve naturelle nationale marine, créée en 2007, s'étend sur 3 500 hectares le long d'un linéaire côtier d'une quarantaine de kilomètres et borde cinq communes. Elle protège 80 % des 18 km² de récifs coralliens de l'île.



Nous pouvons protéger les récifs !



Bibliographie

Allemand D, Tambutté S, & Zoccola D (2017). Y aura-t-il encore des coraux dans la mer ? La Recherche 521, 53-57

Audouin & Milne Edwards (1838). Par M. Flourens, Leçon sur le corail. In Annales des sciences naturelles comprenant la zoologie, la botanique, l'autonomie et la physiologie comparées des deux règnes, et l'histoire des corps organisés fossiles. Crochard & Cie (eds.), Paris. Seconde série, Zoologie 9, 334-351

Audoin-Rouzeau F (1999). Le rat noir (*Rattus rattus*) et la peste dans l'Occident antique et médiéval. Bulletin de la Société de pathologie exotique, 92(5), 422-426

Augier D (2010). Les écosystèmes marins de la Caraïbe : identification, diffusion et modes de gestion. Études caribéennes, 15

Barneche DR, Rezende EL, Parravicini V, Maire E, Edgar GJ, Stuart-Smith RD, Arias-González JE, Ferreira CEL, Friedlander AM, Green AL, Luiz OJ, Rodríguez-Zaragoza FA, Vigliola L, Kulbicki M, & Floeter SR (2019). Body size, reef area and temperature predict global reef-fish species richness across spatial scales. Global ecology and biogeography, 28(3), 315-327

Beldade R, Blandin A, O'Donnell R, & Mills SC (2017). Cascading effects of thermally-induced anemone bleaching on associated anemonefish hormonal stress response and reproduction. Nature communications, 8(1), 716

Bell JD, Reid C, Batty MJ, Lehodey P, Rodwell L, Hobday AJ, Johnson JE, & Demmke A (2013). Effects of climate change on oceanic fisheries in the tropical Pacific: implications for economic development and food security. Climatic Change, 119(1), 199-212

Bert P (1881). Leçons de zoologie, professées à la Sorbonne, enseignement secondaire des jeunes filles. Anatomie, Physiologie. Masson G (eds.), Paris. MDCCCXXXI

Bouillon J (1981). Origine et phylogénèse des cnidaires et des hydropolypes-hydroméduses. In Annales de la Société royale zoologique de Belgique, 111, pp. 45-56

Brown BE, Dunne RP, Somerfield PJ, Edwards AJ, Simons WJF, Phongsuwan N, Putchim L, Anderson L, & Naeije MC (2019). Long-term impacts of rising sea temperature and sea level on shallow water coral communities over a~ 40 year period. Scientific Reports, 9(1), 8826

Camoin GF, Ebrén Ph, Eisenhower A, Bard E, & Faure G (2001). A 300 000-yr coral reef record of sea level changes, Mururoa atoll (Tuamotu archipelago, French Polynesia). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 175(1-4), 325-341

Danovaro R, Bongiorno L, Corinaldesi C, Giovannelli D, Damiani E, Astolfi P, Greci L, & Pusceddu A (2008). Sunscreens cause coral bleaching by promoting viral infections. Environmental health perspectives, 116(4), 441-447

Downs CA, Kramarsky-Winter E, Martinez J, Kushmaro A, Woodley CM, Loya Y, & Ostrander GK (2009). Symbiophagy as a cellular mechanism for coral bleaching. Autophagy, 5(2), 211-216

Downs CA, Kramarsky-Winter E, Segal R, Fauth J, Knutson S, Bronstein O, Ciner FR, Jeger R, Lichtenfeld Y, Woodley CM, Pennington P, Cadenas K, Kushmaro A, & Loya Y (2016). Toxicopathological effects of the sunscreen UV filter, oxybenzone (benzophenone-3), on coral planulae and cultured primary cells and its environmental contamination in Hawaii and the US Virgin Islands. Archives of environmental contamination and toxicology, 70(2), 265-288

Fine M, & Loya Y (2002). Endolithic algae: an alternative source of photoassimilates during coral bleaching. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 269(1497), 1205-1210

Fujita R, Thornhill DJ, Karr K, Cooper CH, & Dee LE (2014). Assessing and managing data-limited ornamental fisheries in coral reefs. Fish and Fisheries, 15(4), 661-675

Gattuso JP, Magnan AK, Bopp L, Cheung WWL, Duarte CM, Hinkel J, Mcleod E, Micheli F, Oschlies A, Williamson P, Billé R, Chalastani VI, Gates RD, Irissou JO, Middelburg JJ, Pörtner HO, & Rau GH (2018). Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems. Frontiers in Marine Science, 5, 337

Gerard A (2017). Récif Urbain. Mémoire DNSEP Design, EESAB de Brest, pp. 98

Hall NM, Berry KLE, Rintoul L, & Hoogenboom MO (2015). Microplastic ingestion by scleractinian corals. Marine Biology, 162(3), 725-732

Harper GA, & Bunbury N (2015). Invasive rats on tropical islands: their population biology and impacts on native species. Global Ecology and Conservation, 3, 607-627

Hoegh-Guldberg O, Hoegh-Guldberg H, Veron JEN, Green A, Gomez ED, Lough J, King M, Ambariyanto HL, Cinner J, Dews G, Russ G, Schuttenberg HZ, Peñaflor EL, Eakin CM, Christensen TRL, Abbey M, Areki F, Kosaka RA, Tewfik A, Oliver J (2009). The Coral Triangle and Climate Change: Ecosystems, People and Societies at Risk. WWF Australia, Brisbane, pp. 276

Hoegh-Guldberg O, Kennedy EV, Beyer HL, McClennen C, & Possingham HP (2018). Securing a long-term future for coral reefs. Trends in ecology & evolution, 33(12), 936-944

Hutchings P, Kingsford M, & Hoegh-Guldberg O (2019). The Great Barrier Reef Biology, Environment and Management, Second Edition 2nd Edition

Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, Narayan R, & Law KL (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 347(6223), 768-771

Knowlton N (2018). How rats wreak havoc on coral reefs. Nature, 559, 190-191

Lamb JB, Willis BL, Fiorenza EA, Couch CS, Howard R, Rader DN, True JD, Kelly LA, Ahmad A, Jompa J, & Harvell CD (2018). Plastic waste associated with disease on coral reefs. Science, 359(6374), 460-462

Leal MC, Calado R, Sheridan C, Alimonti A, & Osinga R (2013). Coral aquaculture to support drug discovery. Trends in biotechnology, 31(10), 555-561

Lecoite A, Domart-Coulon I, Paris A, & Meibom A (2016). Cell proliferation and migration during early development of a symbiotic scleractinian coral. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 283(1831), 20160206

Lee BK, Corvalan N, & Saraum JZ (2018). The controversy of sunscreen ingredients: examining the relationship between oxybenzone and butylparaben on *Stylophorum pistillata*. Exigence, 2(1), 1-23

Liew YJ, Zoccola D, Li Y, Tambutté É, Venn A, Michell CT, Cui G, Deutekom ES, Kaandorp JA, Voolstra CR, Forêt S, Allemand D, Tambutté S, & Aranda M (2018). Epigenome associated phenotypic acclimatization to ocean acidification in a reef-building coral. Sciences Advances, 4, eaar8028

- Loh W, Carter D, & Hoegh-Guldberg O (1998). Diversity of zooxanthellae from scleractinian corals of One Tree Island (the Great Barrier Reef). In Proceedings of the Australian Coral Reef Society 75th Anniversary Conference, Heron Island. University of Queensland, Brisbane, Australia, 141-150
- Lorrain A, Houlbrèque F, Benzoni F, Barjon L, Tremblay-Boyer L, Menkes C, Gillikin DP, Payri C, Jourdan H, Boussarie G, Verheyden A, & Vidal E (2017). Seabirds supply nitrogen to reef-building corals on remote Pacific islets. *Scientific Reports*, 7(1), 3721
- Maire R, Pomel S, & Salomon JN (1994). Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale. Nouvelle édition [en ligne]. Pessac: Presses Universitaires de Bordeaux
- Marsili LF (1725). Histoire physique de la mer. Ouvrage enrichi de figures dessinées d'après le naturel. Aux dépens de la Compagnie, Amsterdam. MDCCXXV
- Massé A, Domart-Coulon I, Golubic S, Duché D, & Tribollet A (2018). Early skeletal colonization of the coral holobiont by the microboring Ulvophyceae *Ostreobium* sp. *Scientific reports*, 8(1), 2293
- Matthews JL, Sproles AE, Oakley CA, Grossman AR, Weis VM, & Davy SK (2016). Menthol-induced bleaching rapidly and effectively provides experimental aposymbiotic sea anemones (*Aiptasia* sp.) for symbiosis investigations. *Journal of Experimental Biology*, 219(3), 306-310
- Mei W, Pasquero C, & Primeau F (2012). The effect of translation speed upon the intensity of tropical cyclones over the tropical ocean. *Geophysical Research Letters*, 39(7)
- Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables (2008). La préservation des écosystèmes coralliens : principaux aspects scientifiques, institutionnels et socio-économiques. Documentation Ifreco, pp. 28
- Mora C, Andréfouët S, Costello MJ, Kränenburg C, Rollo A, Veron J, Gaston KJ, & Myers RA (2006). Coral reefs and the global network of marine protected areas. *Science*, 312
- Narayan S, Beck MW, Reguero BG, Losada IJ, van Wessenbeeck B, Pontee N, Sanchirico JN, Ingram JC, Lange GM, & Burks-Copes KA (2016). The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PloS one*, 11(5), e0154735
- Obura D, Gudka M, Rabi FA, Gian SB, Bijoux J, Freed S, Maharavo J, Mwaura J, Porter S, Sola E, Wickel J, Yahya S, & Ahamada S (2017). Coral reef status report for the western Indian Ocean (2017). In Nairobi Convention. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN)/ International Coral Reef Initiative (ICRI)
- Ou Q, Han J, Zhang Z, Shu D, Sun G, & Mayer G (2017). Three Cambrian fossils assembled into an extinct body plan of cnidarian affinity. *PNAS*, 114(33), 8835-8840
- de Paula AF, & Creed JC (2004). Two species of the coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) in Brazil: a case of accidental introduction. *Bulletin of Marine Science*, 74(1), 175-183
- Perru O (2006). Aux origines des recherches sur la symbiose vers 1868-1883. *Revue d'histoire des sciences*, 59(1), 5-27
- Rahman MA, & Oomori T (2008). Structure, crystallization and mineral composition of sclerites in the alcyonarian coral. *Journal of Crystal Growth*, 310(15), 3528-3534
- de Reaumur RAF (1727). Observations sur la formation du « corail » et des autres productions appelées « plantes pierreuses ». In Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. Impr. royale. 269-281
- Reichert J, Schellenberg J, Schubert P, & Wilke T (2018). Responses of reef building corals to microplastic exposure. *Environmental Pollution*, 237, 955-960
- Rhyne AL, Tlustý MF, Schofield PJ, Kaufman L, Morris Jr. JA, & Bruckner AW (2012). Revealing the appetite of the marine aquarium fish trade: the volume and biodiversity of fish imported into the United States. *PLoS One*, 7(5), e35808
- Sammarco PW, La Barre S, & Coil JC (1987). Defensive strategies of soft corals (Coelenterata: Octocorallia) of the Great Barrier Reef III. The relationship between ichthyotoxicity and morphology. *Oecologia* (Berlin), 74, 93-101
- Sangsawang L, Casareto BE, Ohba H, Vu HM, Meekaew A, Suzuki T, Yeemin T, & Suzuki Y (2017). ¹³C and ¹⁵N assimilation and organic matter translocation by the endolithic community in the massive coral *Porites lutea*. *Royal Society open science*, 4(12), 171201
- Schlichter D, Zscharnack B, & Krisch H (1995). Transfer of photoassimilates from endolithic algae to coral tissue. *Naturwissenschaften*, 82(12), 561-564
- Selig ER, Hole DG, Allison EH, Arkema KK, McKinnon MC, Chu J, de Sherbinin A, Fisher B, Glew L, Holland MB, Ingram JC, Rao NS, Russell RB, Srebotnjak T, Teh LCL, Tröng S, Turner WR, Zvoleff A (2019). Mapping global human dependence on marine ecosystems. *Conservation Letters*, 12(2), e12617
- Sweet M, Stelfox M, & Lamb J (2019). Plastics and Shallow Water Coral Reefs: Synthesis of the Science for Policy-makers. United Nations Environment Program
- Tambutté É, Venn A, Holcomb M, Segonds N, Techer N, Zoccola D, Allemand D, & Tambutté S (2015). Morphological plasticity of the coral skeleton under CO₂-driven seawater acidification. *Nat Comm* 6(7368)
- Tang J, Ni X, Zhou Z, Wang L, & Lin S (2018). Acute microplastic exposure raises stress response and suppresses detoxification and immune capacities in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. *Environmental pollution*, 243, 66-74
- Tentori E, & van Ofwegen LP (2011). Patterns of distribution of calcite crystals in soft corals sclerites. *Journal of morphology*, 272(5), 614-628
- Titlyanova EA, Titlyanova TV, Leletkin VA, Tsukahara J, Van Woesik R, & Yamazato K (1996). Degradation of zooxanthellae and regulation of their density in hermatypic corals. *Marine Ecology Progress Series*, 139, 167-178
- Utami DA, & Reuning L (2018). A. Topic 17: Open Session. Microplastic accumulation in different sedimentary environments of patch reef systems (Kepulauan Seribu complex, Indonesia). *GEOBONN* 2018, 305
- Willis BL, Page CA, & Dinsdale EA (2004). Coral disease on the great barrier reef. In *Coral health and disease*, Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 69-104
- Wright LD, Syvitski JPM, & Nichols CR (2019). Chapter 6 Coastal Systems in the Anthropocene. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, Wright and Nichols (eds.), *Tomorrow's Coasts: Complex and Impermanent*, Coastal Research Library 27, 85-99
- World Resources Institute (2012). Récifs Coralliens en Péril, Revisité - Synthèse à l'intention des décideurs, 45

Crédits

Couverture

Indian Ocean 04

©Gaby Barathieu/Coral Reef Image Bank

p. 2. : Aquarelle ©Céline Bricard

p. 6 : Indian Ocean 10

©Umeed Mistry/Coral Reef Image Bank

p. 8 : Indonesia 23

©Warren Baverstock/Coral Reef Image Bank

Chapitre 1

p. 10 : Aquarelle ©Céline Bricard

p. 12 : Figure 129 – N°4 – Table XXVIII

©gallica.nf.fr/Bibliothèque nationale de France

p. 12 : Figure 110 – Table XXIV

©gallica.nf.fr/Bibliothèque nationale de France

p. 13 : PLATEARIUS-p192

©gallica.nf.fr/Bibliothèque nationale de France

p. 13 : Figure 180 – N°1 – Table XL

©gallica.nf.fr/Bibliothèque nationale de France

p. 14 : C. Darwin, Evolutionary Tree from the First Notebook on Transmutation of Species-1837 ©Cambridge University Library

p. 15 : *Chrysaora hysoscella* ©Océanopolis

p. 15 : *Corynactis* ©Océanopolis

p. 15 : *Eunicella verrucosa* ©Océanopolis

p. 15 : *Metridium giganteum* ©Océanopolis

p. 15 : *Corynactis viridis* ©Océanopolis

p. 16 : Up Close 09

©The Ocean Agency/IYORBank

p. 16 : Up Close 12

©The Ocean Agency/IYORBank

p. 17 : *Lobophytum sp.* ©Océanopolis

p. 17 : *Acropora sp.* ©Océanopolis

p. 18 : *Symbiodinium sp.* ©Océanopolis

p. 18 : Polype *Stylophora pistillata*

©Océanopolis

p. 19 : Fluorescence

©Shawn Miller/Coral Reef Image Bank

p. 19 : ©Bastien Preuss

p. 19 : Up Close 03

©The Ocean Agency/IYORBank

p. 19 : Up Close 02

©The Ocean Agency/IYORBank

p. 21 : Up Close 17 ©Jayne Jenkins/IYORBank

p. 21 : Colonie de *Stylophora pistillata*

©Océanopolis

p. 23 : Indian Ocean 15

©Umeed Mistry/Coral Reef Image Bank

p. 24 : Reef Animals 03

©Jayne Jenkins/IYORBank

p. 27 : ©Bastien Preuss

p. 29 : People And The Reef 07

©Marine Image Bank/IYORBank

p. 29 : People and the Reef 03

©Grant Thomas/IYORBank

p. 29 : People and the Reef 09

©Shaun Wolfe/IYORBank

p. 29 : People and the Reef 04

©Yen-Yi Lee/IYORBank

p. 29 : Coral Reefs 08

©Warren Baverstock/IYORBank

p. 29 : Indian Ocean 02

©Gaby Barathieu/Coral Reef Image Bank

Chapitre 2

p. 30 : Aquarelle ©Céline Bricard

p. 32 : Okinawa, september 2016

©The Ocean Agency/xl catlin seaview survey

p. 35 : American Samoa, february 2015

©The Ocean Agency/xl catlin seaview survey

p. 35 : Tibarama Santé mauvaise ©SJob

p. 36 : Shark in Fakarava during grouper spawning ©Rick Miskiv/Coral Reef Image Bank

p. 36 : School in net

©Yen-Yi Lee/Coral Reef Image Bank

p. 37 : Clownfish in anemone

©Cinzia Osele Bismarck/Coral Reef Image Bank

p. 37 : *Holothuria edulis* ©Océanopolis

p. 37 : ©Bastien Preuss

p. 38 : *Styela plicata*

©Dan Monceaux Danimations

p. 38 : *Styela plicata*

©Dan Monceaux Danimations

p. 39 : *Acanthaster planci* ©Océanopolis

p. 40 : National Park of American Samoa

©Shaun Wolfe/Coral Reef Image Bank

p. 41 : Martin Habluetzel ©Alamy Stock Photo

p. 42 : Palau ©Yen-Yi Lee/Coral Reef Image Bank

p. 43 : Snorkeler on reef

©Mark Fitz/Coral Reef Image Bank

Chapitre 3

p. 44 : Aquarelle ©Céline Bricard
p. 46 : ©Bastien Preuss
p. 47 : Culture en conditions contrôlées
de « boutures » de Scléractiniaires
à Océanopolis ©Océanopolis
p. 47 : Inventaire récifs habitats ©SJob
p. 48 : ©Bastien Preuss
p. 49 : ©Alain Barrère
p. 49 : ©Alain Barrère
p. 50 : ©Noëlinaud Robert Djerryh
p. 51 : ©Noëlinaud Robert Djerryh
p. 52 : Inventaire récifs habitats ©SJob
p. 52 : ©Céline Miternique
p. 53 : ©Barbara Mathevon
p. 53 : Travail de terrain réalisé en plongée
©Paul Chabre
p. 54 : ©Bastien Preuss
p. 55 : ©Mohéli Laka Lodge
p. 55 : ©Sylvain Lenoir
p. 56 : ©Reef Check France
p. 57 : ©Jean-Pascal QUOD
p. 58 : Red Sea 03
©Brook Peterson/Coral Reef Image Bank
p. 59 : ©Plongeurs du monde
p. 59 : ©Plongeurs du monde
p. 59 : ©Plongeurs du monde
p. 60 : ©GIP-RNMR Guillaume Nédellec
p. 61 : ©Clodio Travouck
p. 61 : ©Carole Antoine
p. 62 : ©Alexis Rosenfeld
p. 63 : ©Jérôme Suros
p. 64 : Indian Ocean 17
©Umeed Mistry/Coral Reef Image Bank
p. 71 : Fan Coral, Great Barrier Reef
©Jayne Jenkins/Coral Reef Image Bank



FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

OcéanOpolis
BREST



Décennie des Nations Unies
pour les sciences océaniques
au service du développement durable





**FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL**

Secrétariat du FFEM

Agence Française de Développement

5, rue Roland Barthes

75598 Paris Cedex 12

Tél. +33 1 53 44 42 42

ffem.fr

ffem@afd.fr

OcéanOpolis
BREST

Océanopolis

Port de Plaisance du Moulin Blanc

BP 91039

29210 Brest cedex 1

Tél. 02 98 34 49 70

oceanopolis.com

contact@oceanopolis.com



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Ministère de la Transition Écologique

CGDD/SRI - Service de la Recherche
et de l'Innovation

Hôtel de Roquelaure

246 boulevard Saint-Germain

75 007 Paris

ecologie.gouv.fr



2021 Décennie des Nations Unies
2030 pour les sciences océaniques
au service du développement durable

**Decade of Ocean Science
for Sustainable Development
Intergovernmental Oceanographic Commission
UNESCO**

ioc.unesco.org

oceandecade.org