

[ÉCO]systèmes & Co.

Les récifs coralliens

Dossier pédagogique — 2019 — 2020 — Élémentaire — Collège — Lycée



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE

Océanopolis
Brest



PRÉAMBULE

Les récifs coralliens forment les plus grandes structures de la planète fabriquées par des organismes vivants. Ces bio-constructions jouent un rôle indispensable tant pour la biodiversité hébergée que pour les services fournis.

Dans le contexte du changement global, de nouvelles actualités scientifiques rapportent chaque année les modifications actuelles ou celles à venir opérées par l'écosystème corallien. Quelle sera la capacité adaptative du corail ? Comment évoluera l'écosystème corallien à la fin de ce siècle ? Quelles seront les conséquences environnementales et socio-économiques ?

Réparti dans différentes régions océaniques, le littoral français abrite près de 10% des récifs mondiaux. Notre pays porte une responsabilité unique et reste très engagé dans la préservation de l'écosystème corallien. Les nombreux programmes de recherche illustrent l'investissement des scientifiques français à essayer de comprendre le fonctionnement d'un animal et d'un écosystème qui demeurent parmi les plus complexes de la planète.

Afin de bien interpréter le fonctionnement du récif corallien, ce dossier a pour objectif d'apporter un socle de connaissances pluridisciplinaires. Découvrir le corail, c'est aborder la biologie d'un animal en même temps que de s'approprier l'histoire d'une connaissance scientifique ; analyser la distribution du corail dans l'océan, c'est mobiliser les notions de géographie et de physique ; repérer l'organisation structurale du corail, c'est approcher les mathématiques à travers la géométrie ; etc.

Connaître Comprendre Protéger

Ce dossier vous propose d'aborder les différentes thématiques sous la forme de fiches.

1

L'histoire d'une découverte scientifique, la biologie du corail et le fonctionnement d'un écosystème corallien.

2

Les principales menaces et les pressions qui pèsent sur le développement des récifs ainsi que les actions réalisables à l'échelle individuelle ou collective pour la préservation de cet écosystème.

3

Des programmes scientifiques de différents centres de recherche. La plupart de ces études s'appliquent à évaluer la capacité d'adaptation du corail soumis aux perturbations environnementales et anthropiques pour mieux appréhender le récif de demain. Une sous-partie permet de découvrir avec vos élèves des témoignages professionnels en lien avec le corail et provenant de différents horizons.

4

Des activités pédagogiques de différents niveaux (Cycle 3 - Cycle 4 - Lycée) à entreprendre avec vos élèves, conçues par le service médiation d'Océanopolis et les conseillères-relais Art et Culture de l'Éducation Nationale à Océanopolis.

Bonne lecture !

Le projet

Ce dossier pédagogique est réalisé par Océanopolis dans le cadre du projet de réalisation d'outils pédagogiques à destination des scolaires au niveau national en lien avec des programmes de recherche et financé par le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire.

Ce support à vocation éducative a pour objectif la valorisation de deux écosystèmes tropicaux sensibles et remarquables, les récifs coralliens et les mangroves. Ces milieux à forts enjeux environnementaux, sociétaux et économiques seront présentés en valorisant les programmes de recherche dédiés à améliorer la compréhension de leur fonctionnement présent et futur.

En adéquation avec les programmes scolaires, ce dossier privilégie une approche pluridisciplinaire et permet à l'enseignant de réaliser des ateliers pédagogiques avec ses élèves. Ce dossier accompagne l'application numérique valorisant les écosystèmes tropicaux. Téléchargement sur www.oceanopolis.com/enseignants.

Océanopolis

Depuis 1990, Océanopolis se place comme le 5^e Centre de Culture Scientifique, Technique et Industrielle de France. Cet équipement de la métropole brestoise, dédié à la découverte de l'océan, propose 9 000 m² d'espaces de visites. Il présente une biodiversité exceptionnelle (1 000 espèces – 10 000 animaux marins) répartie dans près de 80 aquariums pour un volume de 4 millions de litres d'eau de mer. La visite s'organise autour de 3 pavillons : Bretagne, Tropical et Polaire, ainsi qu'un sentier des loutres.

Reconnu Musée contrôlé par l'Éducation Nationale depuis 1992, Océanopolis constitue un outil éducatif remarquable. Depuis près de 30 ans, ce centre de médiation scientifique soutient activement les enseignants et leurs élèves en proposant des activités pédagogiques adaptées aux programmes scolaires.

Chaque année Océanopolis accueille plus de 35 000 enfants pour une immersion éducative. Et Océanopolis, c'est aussi une ébullition culturelle permanente, un lieu de grandes expositions, de conférences, de projets scientifiques et culturels, une dynamique unique d'animations innovantes et renouvelées tous les ans.

www.oceanopolis.com

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

Résolument tournée vers la valorisation de son patrimoine maritime, la France s'est engagée fin 2017 dans une stratégie nationale pour la mer et le littoral. Disposant du deuxième espace maritime mondial avec plus de 10 millions de km² dont 57 557 km² de récifs et de lagons et plus de 5 000 km² de récifs cumulés des Outre-mer, la France porte une responsabilité mondiale en matière de conservation et de gestion durable des ressources marines.

La protection des écosystèmes marins et du littoral ainsi que le soutien à la connaissance constituent les deux axes majeurs de la stratégie nationale. L'économie maritime représente le troisième axe. La France exerce un rôle essentiel dans les négociations européennes et internationales sur le climat.

La politique du Gouvernement soutient les actions pour le maintien du bon état écologique du milieu marin et la préservation du littoral. Elle promeut notamment les démarches en faveur du développement durable et de la protection de la biodiversité.

www.ecologique-solidaire.gouv.fr

SOMMAIRE

- 3 Préambule
- 4 Le projet
- 5 Sommaire
- 6 Guide pratique

PARTIE 1

- 8 Une histoire scientifique
- 10 Un espace, des espèces
- 12 Fixes ou mobiles, les Cnidaïres
- 13 Corail et phylogénie
- 14 Une mémoire calcaire
- 15 Le symbiocosme
- 16 La reproduction des coraux
- 17 Générations asexuées
- 18 Vivre ensemble
- 19 Une mosaïque vitale
- 20 Un récif, des ressources

PARTIE 2

- 22 Des récifs en sursis
- 23 Le réchauffement climatique
- 24 L'acidification de l'océan
- 25 Les tempêtes / L'étoile de mer épineuse, un prédateur
- 26 Les apports polluants et eutrophisants
- 27 Parmi les cosmétiques, les crèmes solaires

- 28 Les activités récréatives / Les aménagements terrestres
- 29 Du macro au microplastique...
- 30 Les EEE... Espèces Exotiques Envahissantes — Exemple 1 : La rascasse volante
- 32 Les EEE... Espèces Exotiques Envahissantes — Exemple 2 : Le rat
- 34 La surpêche

PARTIE 3

- 36 Sensibiliser pour mieux préserver
- 37 Nous pouvons protéger les récifs !
- 38 Promouvoir la résilience de l'écosystème corallien
- 39 Ils soutiennent la recherche...
- 54 Travailler pour le corail...

PARTIE 4

- 66 Atelier 1 — Histoire d'une connaissance scientifique, l'origine du corail
- 68 Atelier 2 — Émettre une hypothèse
- 69 Atelier 3 — Adaptation des organismes à leur milieu, les formes coralliennes
- 71 Atelier 4 — Spécificité, de la cellule à l'organe
- 75 Atelier 5 — Organisation structurale, la symétrie en 3D

- 78 Atelier 6 — Relation symbiotique, importance des zooxanthelles
- 81 Atelier 7 — Le réseau trophique, un équilibre fragile
- 82 Atelier 8 — Causes et conséquences, visualisation de la pensée
- 84 Atelier 9 — Actions !

[ÉCO]systèmes & Co.



LES DOSSIERS PÉDAGOGIQUES

LES RÉCIFS CORALLIENS

LES MANGROVES

Les différentes thématiques sont présentées sous forme de fiches agrémentées de chiffres clés, de schémas, de bulles d'informations pluridisciplinaires, etc.

Pour vous permettre de valoriser ces connaissances, des ateliers pédagogiques basés sur une approche interdisciplinaire sont proposés dans la dernière partie de ce document.



En savoir plus



Éclairage scientifique



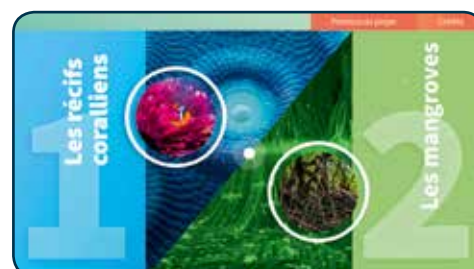
Éclairage historique



L'APPLICATION NUMÉRIQUE

L'application numérique propose de faire découvrir les récifs coralliens et les mangroves à travers une approche très interactive. Les schémas et les illustrations sont communs au dossier pédagogique et à l'application. Ces repères vous permettent de combiner avec aisance l'usage de l'application numérique et la valorisation des données du dossier pédagogique.

Téléchargement sur
www.oceanopolis.com/enseignants



1 Connaître le corail

PARTIE 1

Héritiers des générations passées, relais pour les générations futures, nous sommes aujourd'hui engagés dans une dynamique de connaissances dont les fondamentaux reposent sur les observations d'hier et dont les découvertes d'aujourd'hui serviront les avancées de demain.

Cette première partie présente l'élaboration d'une connaissance scientifique avec la description du corail en parcourant les témoignages historiques. Les autres thématiques décrivent l'écologie fonctionnelle du corail en abordant les grandes fonctions physiologiques (calcification, nutrition et symbiose, reproduction, etc).

Cette partie s'achève en présentant le récif corallien parmi les autres écosystèmes interconnectés (les mangroves et les herbiers). Enfin, les nombreuses ressources et services fournis par l'écosystème corallien et bénéfiques pour l'être humain sont détaillés.

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.

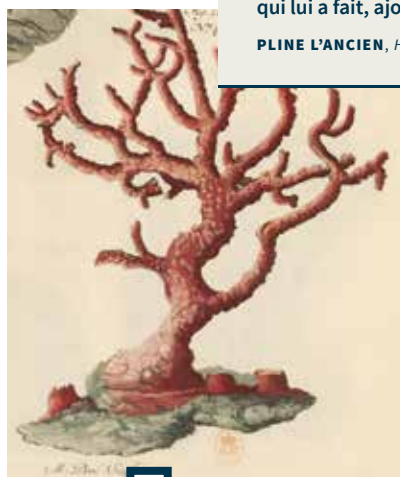
77 AP. J.-C.

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 *κορύμναι*, 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



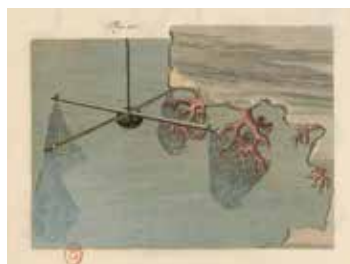
Nunc quoque curalii eadem natura remansit, Durtiam tacto capiant ut ab aere, quodque Uimen in aequore erat, fiat super aequora saxum. Maintenant encore les coraux présentent la même propriété : ils n'acquièrent leur dureté qu'au contact de l'air, et leur tige souple dans la mer devient de la pierre quand 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 caverneuses 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 SIMPLS MÉDECINES (XII^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 Nicolai** 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 Poitier** (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 ».

1674



« 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.

LETTRE 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 ».



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.

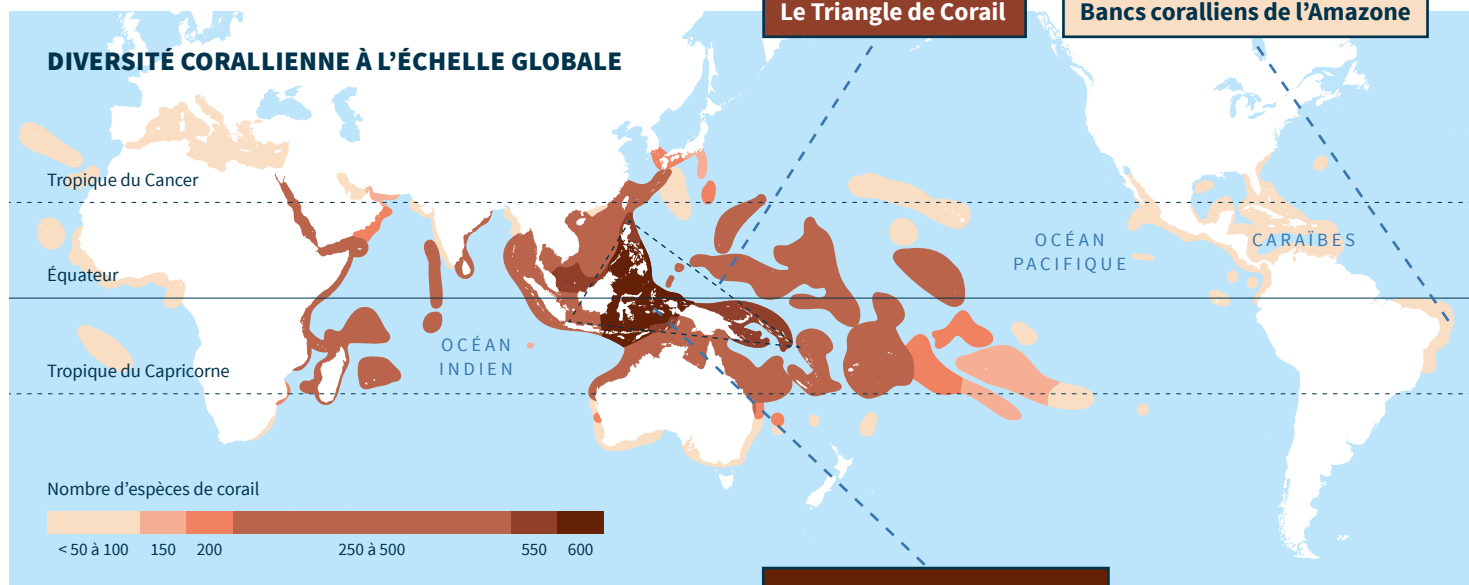


RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

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).

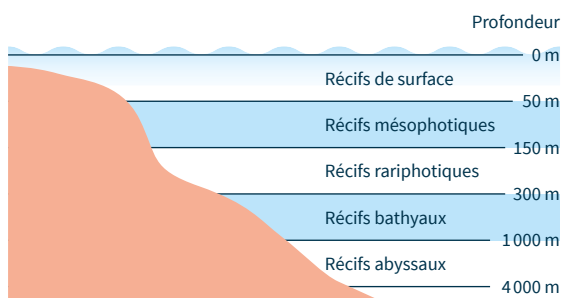
- Réparti sur 6 millions de km²
- Près de 35% des récifs coralliens de la planète
- Jusqu'à 350 espèces de coraux par km²

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



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.



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



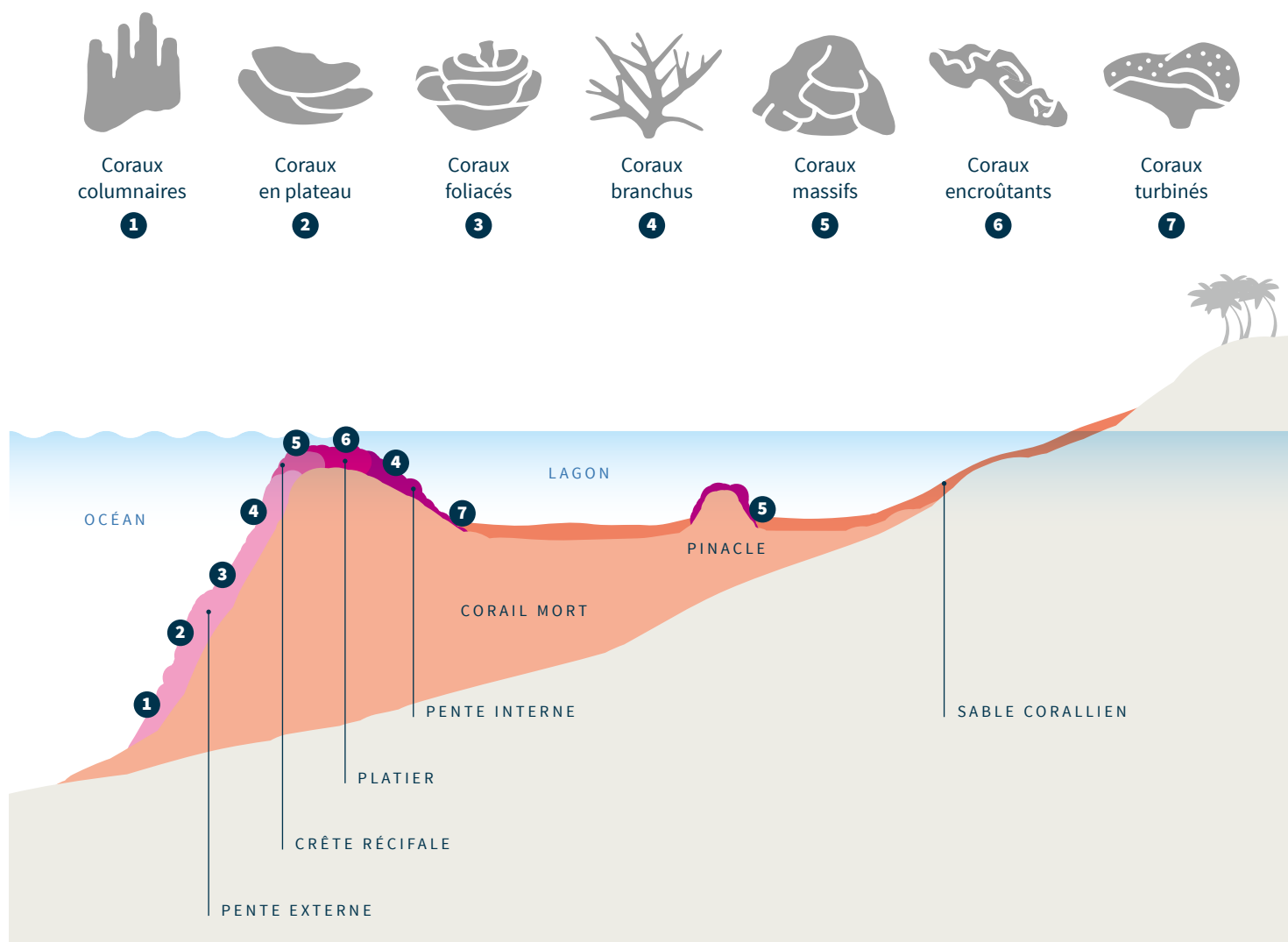
TEMPÉRATURES

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



Véritables réservoirs de biodiversité ou identifiés comme « hot-spots » de la vie marine, les récifs coralliens affichent une production annuelle de biomasse égale voire deux fois supérieure à celle des forêts tropicales les plus productives.

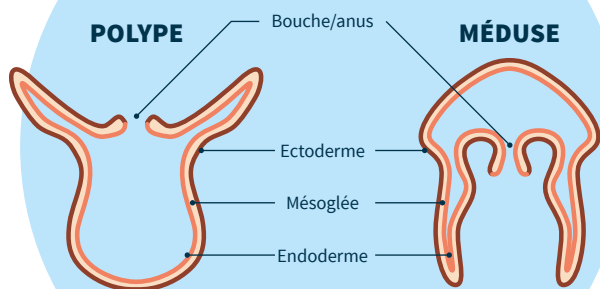


HOT-SPOT

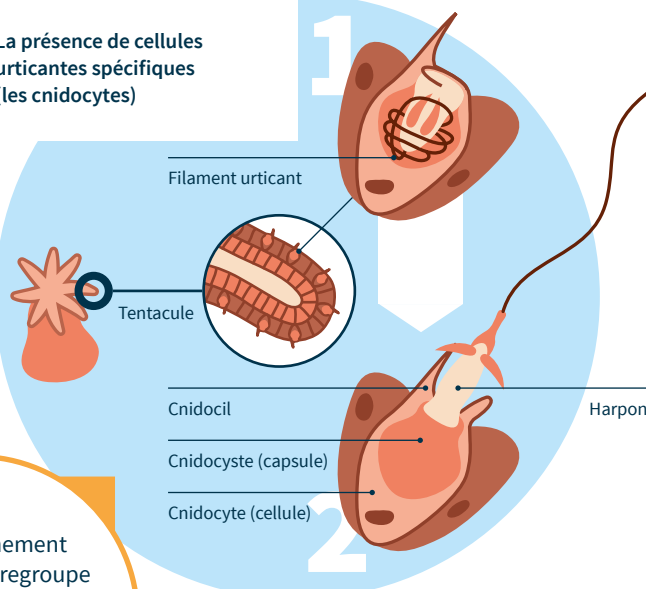
Parmi les 36 hot-spots planétaires, la France abrite 5 réservoirs de biodiversité : le bassin méditerranéen, les Antilles, la Polynésie française, la Nouvelle-Calédonie et les îles de l'océan Indien.



L'ectoderme et l'endoderme
séparés par la mésogée
Orifice unique (bouche/anus)



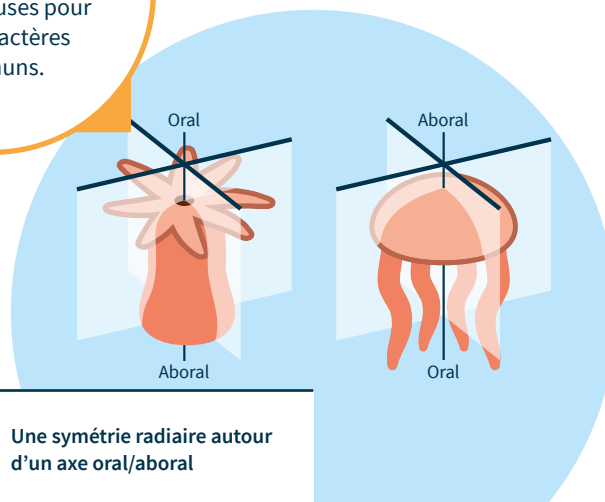
La présence de cellules
urticantes spécifiques
(les cnidocytes)



Le polype ► forme fixe
La méduse ► forme libre
Des exceptions pour certaines
espèces (la velette, la physalie,
la lucernaria, etc)

L'embranchement
des Cnidaires regroupe
notamment les coraux
et les méduses pour
leurs caractères
communs.

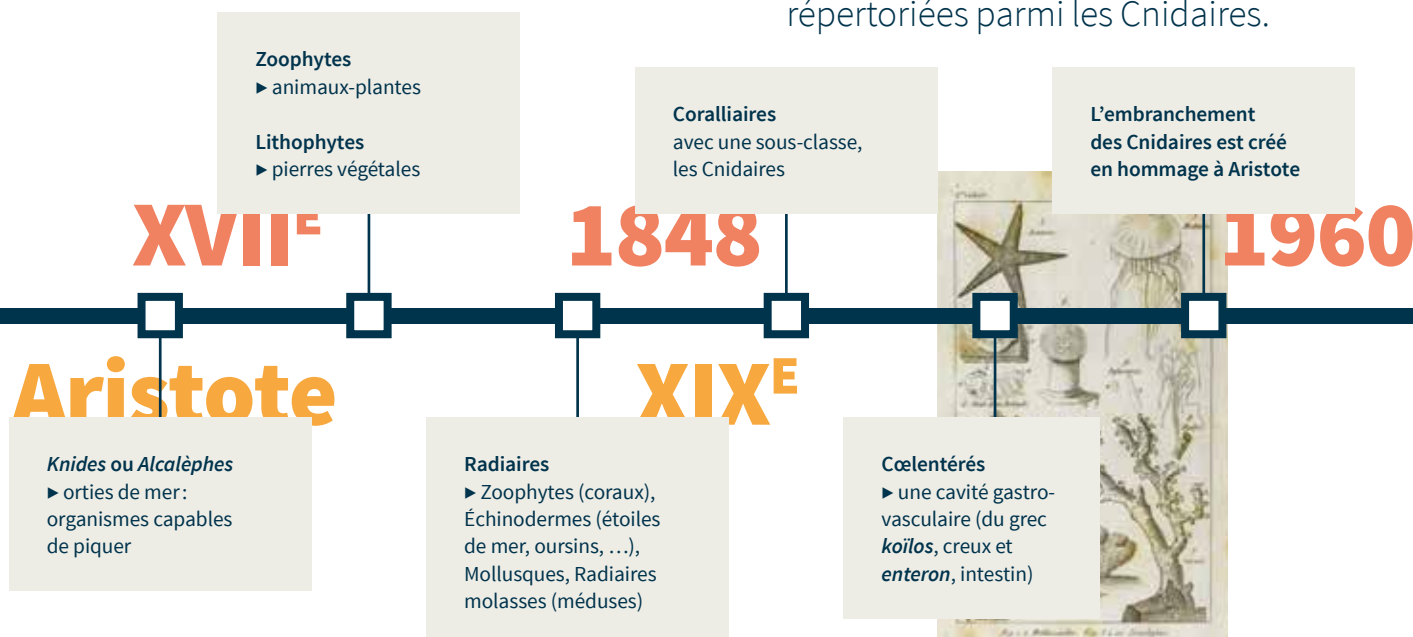
Une symétrie d'ordre

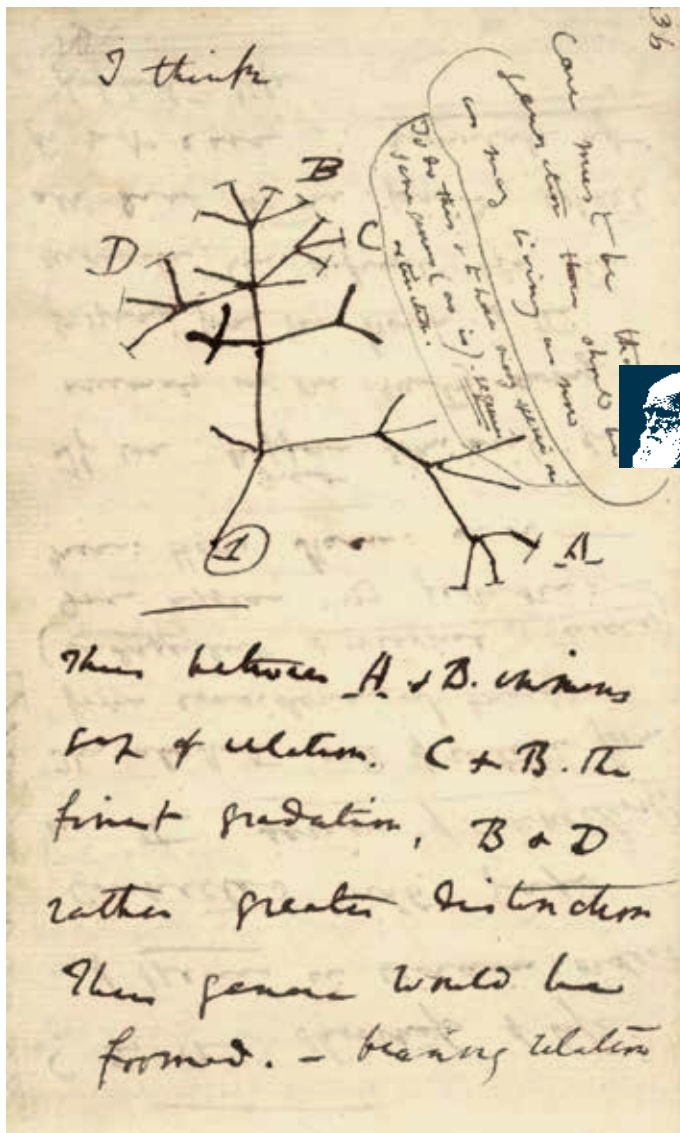


Une symétrie radiaire autour
d'un axe oral/aboral

Fixes ou mobiles, les Cnidaires

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 Cnidaires.





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.



« Entre A et B un immense écart dans la parenté, entre C et B une gradation plus fine, et entre B et D une différence un peu plus grande »

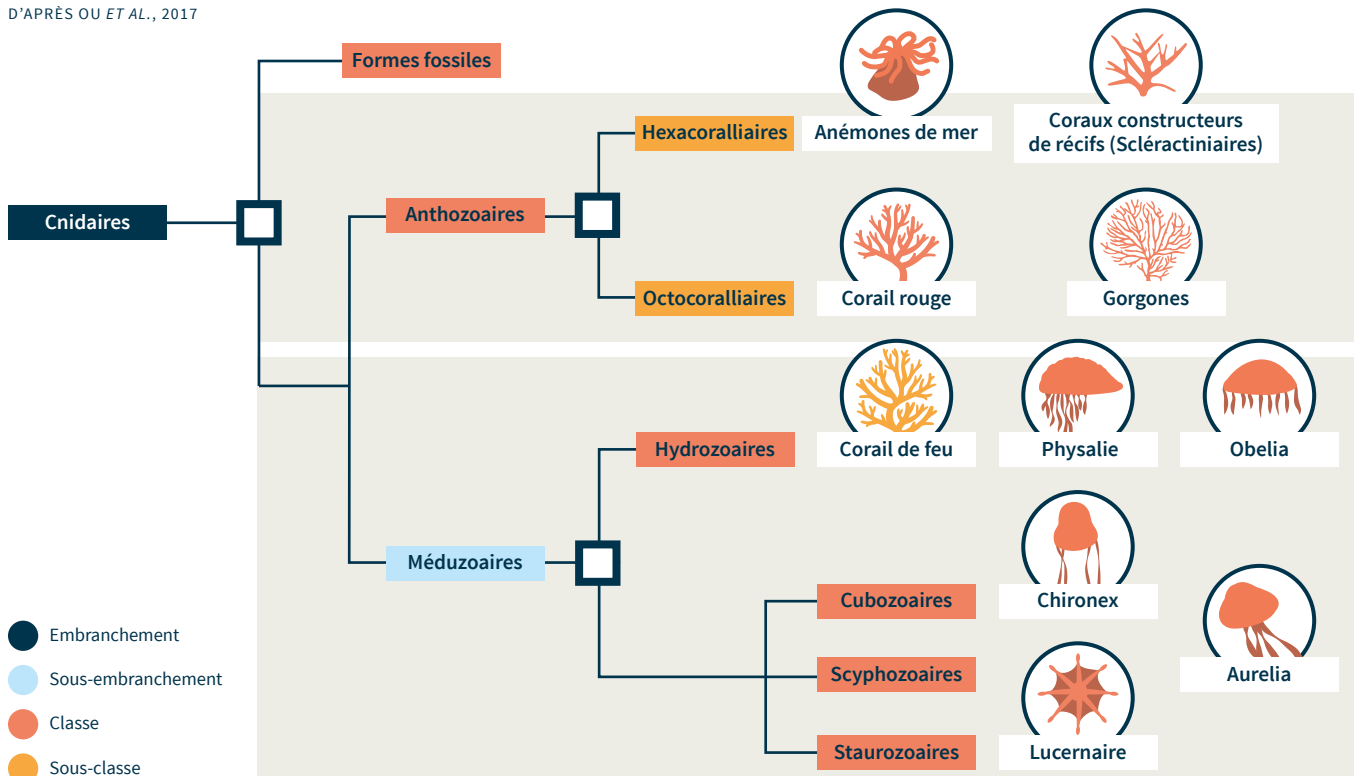
Les coraux figurent en première place parmi les doyens du monde animal... Le record revient à un corail noir vivant en eau profonde. Des spécimens des espèces *Gerardia sp.* et *Leiopathes sp.* auraient respectivement 2 742 ans et 4 265 ans !

DARWIN (1837-1838)
LE CORAIL DE LA VIE

ROARK ET AL., 2009

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-calcifier 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 ».



Tel le guêpier pour le nid de guêpes, le squelette calcaire produit par les polypes a été désigné comme un « polypier » par R.-A.F. de Réaumur (1742).



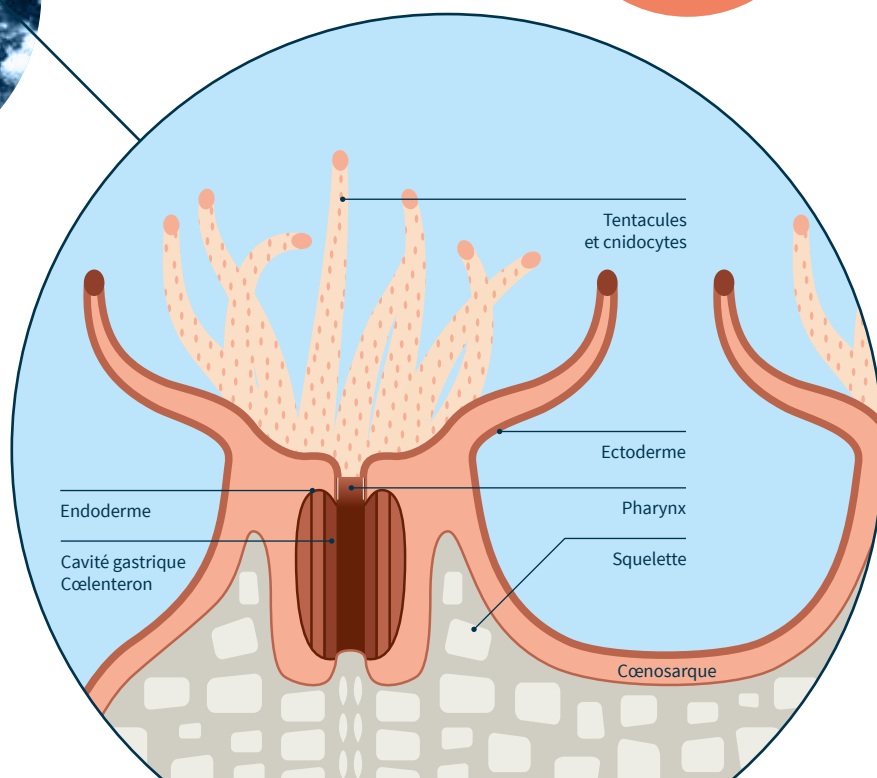
LA CROISSANCE CORALLIENNE

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.

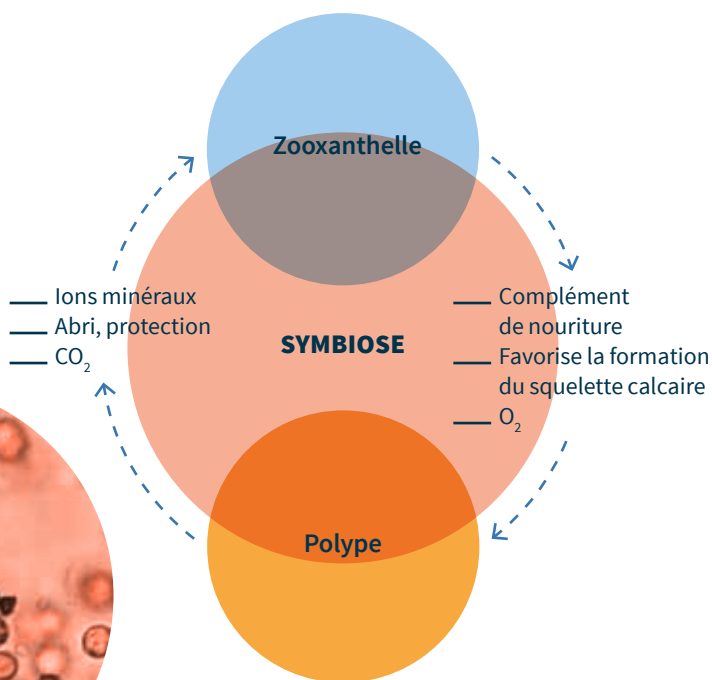
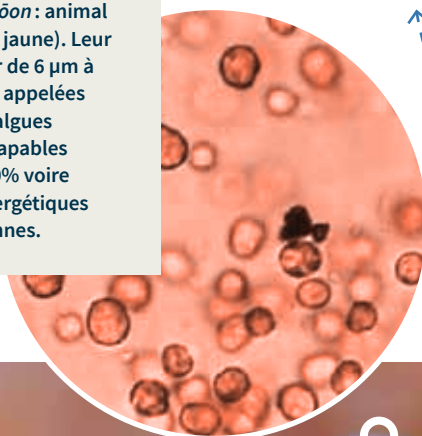


Le symbiocosme désigne une nouvelle entité biologique créée par la symbiose. Comme pour le polypier, cette désignation est aussi employée pour les insectes.



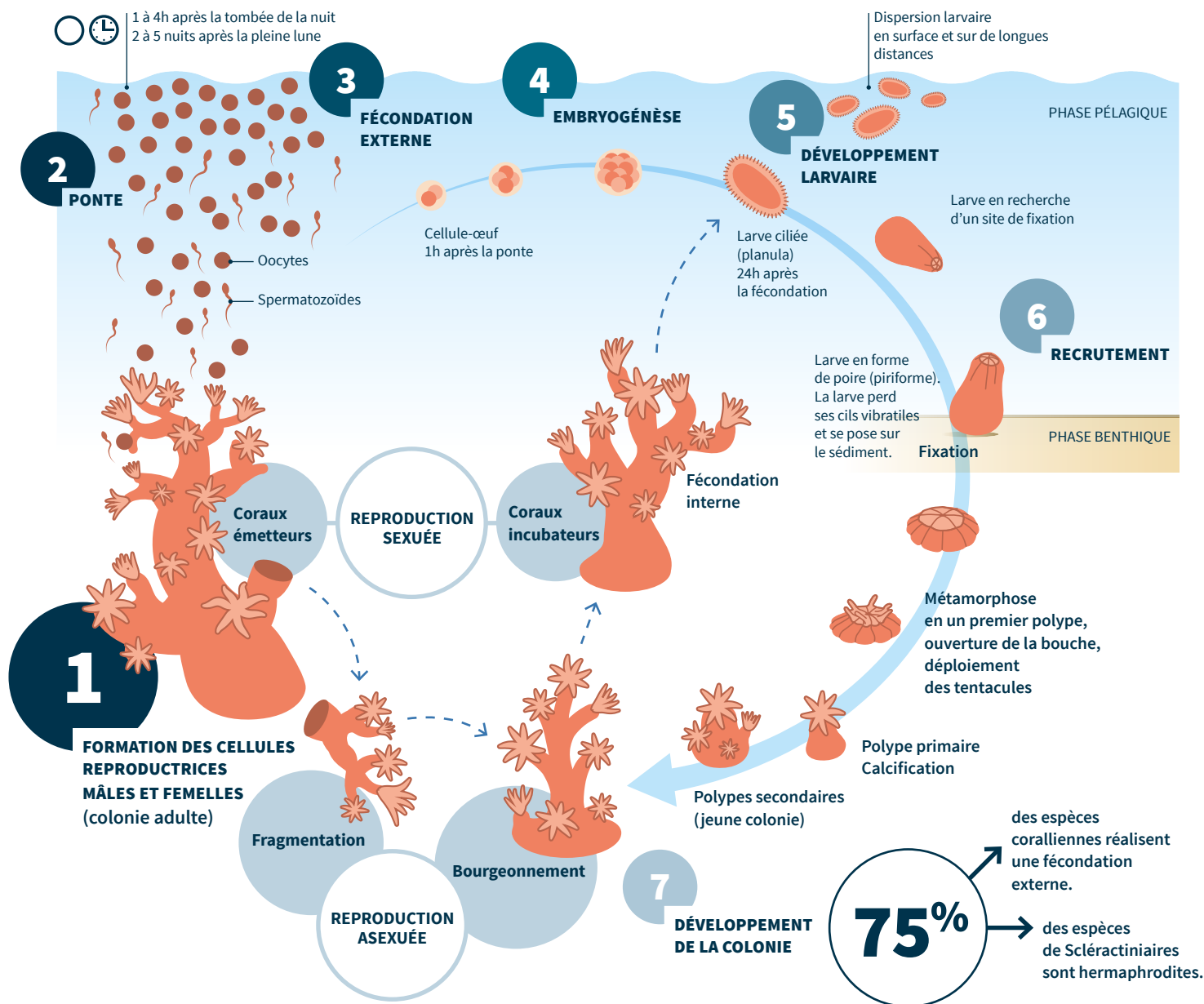
ZOOXANTHELLES

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.



L'abondance est estimée entre 1 et $10 \cdot 10^6$ zooxanthelles. cm^{-2} de tissu animal. Les algues unicellulaires sont surtout localisées dans les tissus couvrant les parties les plus externes et les plus exposées à la lumière.

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.

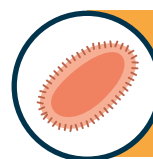


MOBILITÉ

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



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

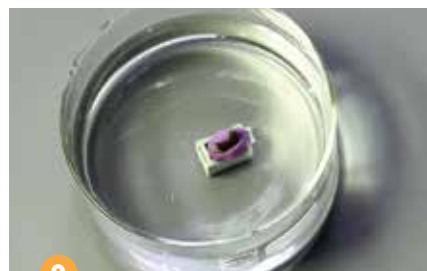


La larve représente le seul stade libre du corail.



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

LE « BOUTURAGE » À OCÉANOPOLIS



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).

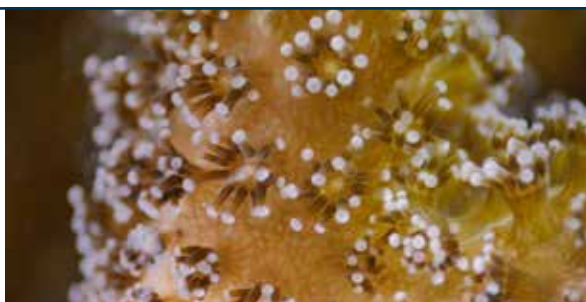
La reproduction asexuée produit un nouvel individu génétiquement identique au parent. Ce mode de transmission favorise le développement de la nouvelle génération dans son milieu environnant.

La colonisation de l'espace par l'espèce sera plus rapide due au 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

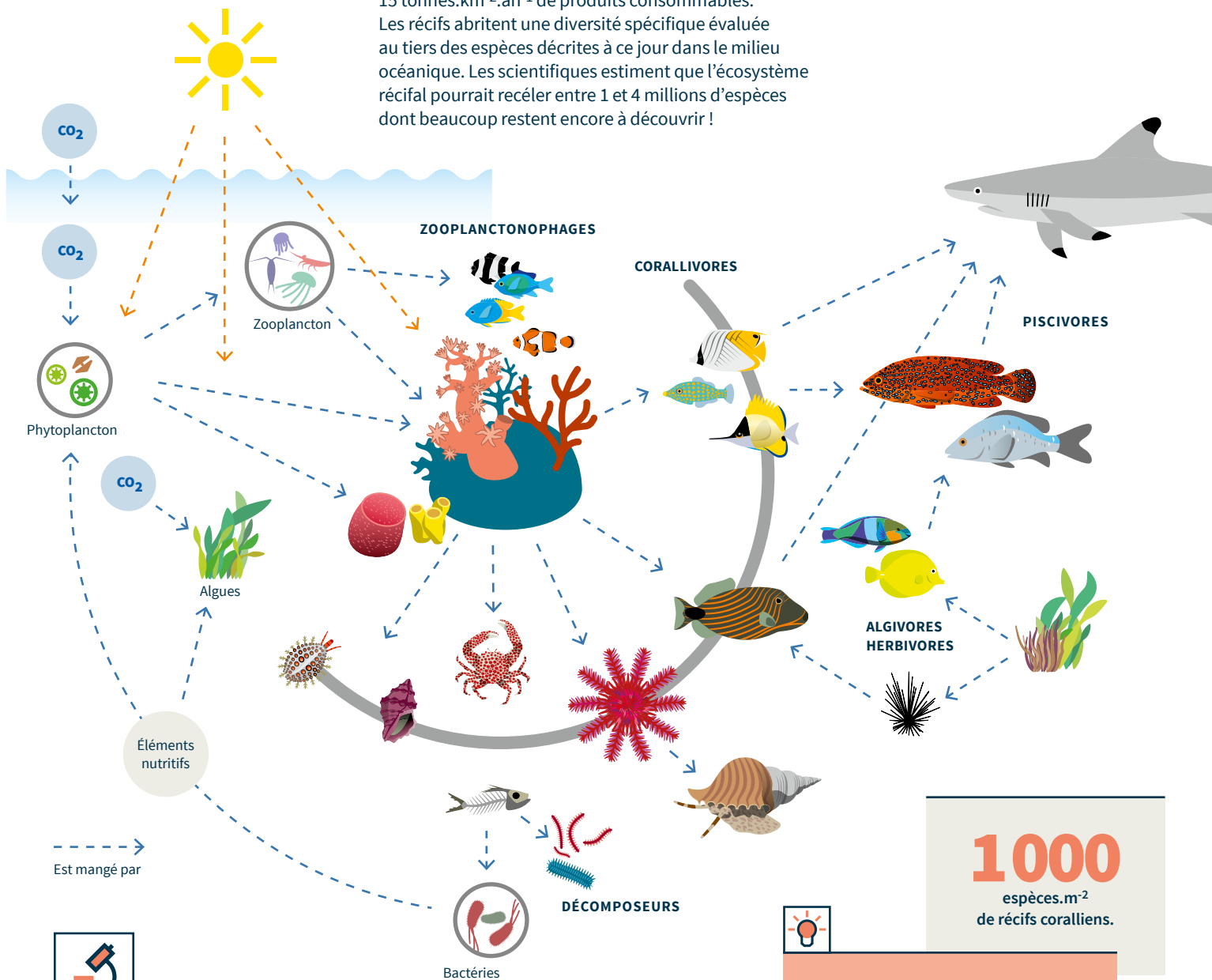
Le polype peut avoir un mode de vie solitaire ou colonial. Les colonies coralliennes sont formées de polypes clones, reliés les uns aux autres par un tissu de liaison (le cœnosarque) les rendant tous solidaires. Ils se partageront les éléments nutritifs, véhiculeront l'eau, les signaux de défense, de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



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.km⁻².an⁻¹ 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 recéler entre 1 et 4 millions d'espèces dont beaucoup restent encore à découvrir !



1000
espèces.m⁻²
de récifs coralliens.

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.

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.

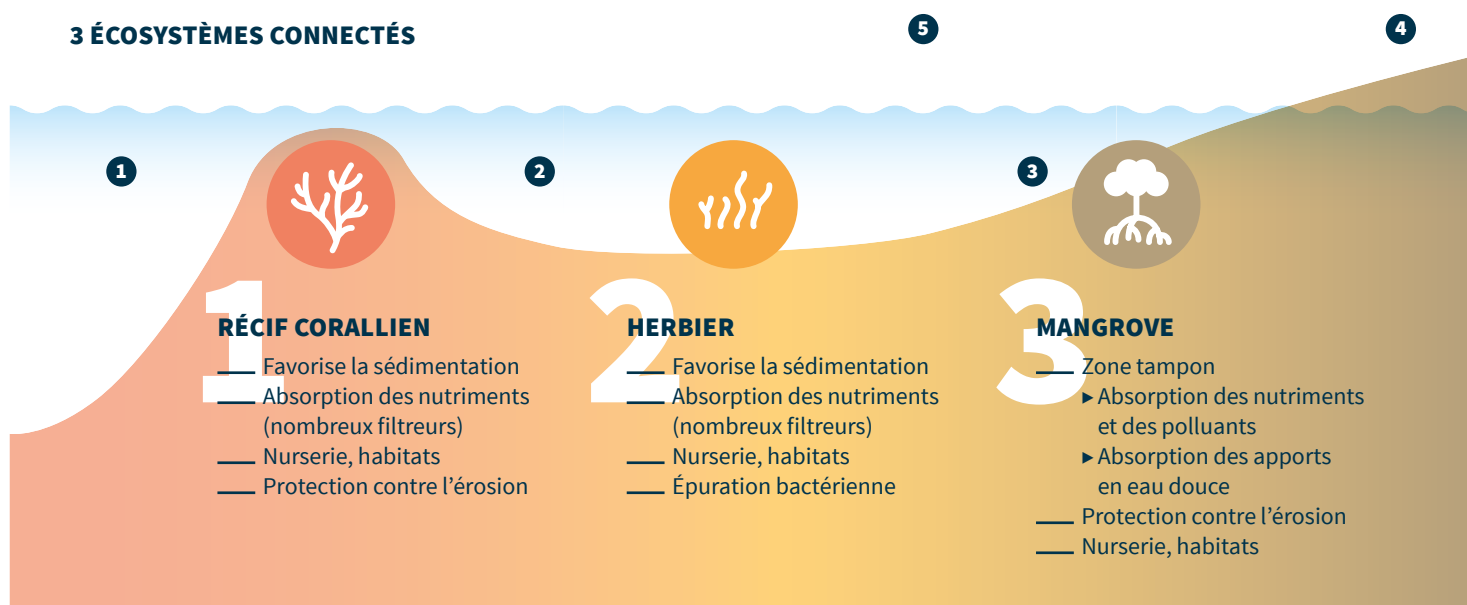
La richesse spécifique de la faune associée à un récif corallien est aussi dépendante de la surface et de la diversité des habitats du récif ainsi que de la température de l'eau.

D'APRÈS BARNECHE ET AL., 2019

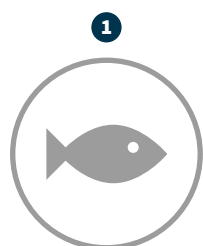
Une mosaïque vitale

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.

3 ÉCOSYSTÈMES CONNECTÉS



CONSÉQUENCES DE LA DÉGRADATION D'UN ÉCOSYSTÈME



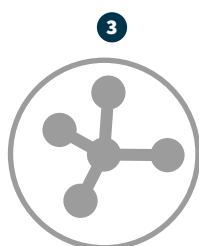
Diminution de la biodiversité récifale

Les récifs coralliens offrent une multitude d'habitats et sont des zones de reproduction, de nurserie pour de très nombreuses espèces récifales.



Réduction du couvert végétal

Les récifs coralliens et les herbiers limitent l'avancée des eaux salées vers les terres. Ces écosystèmes favorisent l'installation des mangroves et de la végétation terrestre.



Exposition aux polluants et charges sédimentaires

Les mangroves et les herbiers absorbent les alluvions et les pollutions d'origine terrestre. Ces écosystèmes protègent les récifs des apports terrigènes.



Augmentation de l'érosion du littoral

Le récif corallien et la mangrove forment une barrière naturelle contre la houle, les tempêtes, etc. Ces écosystèmes préservent la côte et les aménagements terrestres de l'érosion.



Diminution de la ressource vivrière

La connexion récifs-herbiers-mangroves permet de concentrer sur un faible espace une forte abondance et une importante diversité d'espèce. Ces milieux constituent des réservoirs de protéines animales et aussi une ressource économique dans des territoires parfois très isolés.

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

Dans le Pacifique, les populations insulaires consomment jusqu'à 90% de protéines animales marines

2100

Les projections pour 2100 indiquent une diminution de 20 à 50% de la production des espèces de poissons démersaux (proches du fond) provenant des récifs et des écosystèmes associés du Pacifique

D'APRÈS BELL ET AL., 2013

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

400 atolls dépendants des récifs

Engrais
Matériaux de construction pour les habitations

Sable corallien pour les routes

Ressource alimentaire

Barrière naturelle

Ressource matérielle

Ressource culturelle

Ressource économique

Ressource médicale

Revenus touristiques

Protection du littoral contre les catastrophes naturelles

1 km² de récif
► jusqu'à 600 000 \$.an⁻¹

Squelette corallien
► source minérale et d'oligoéléments

Prothèses, implants

Traitements anti-VIH, anti-tumoraux, anti-leucémique

70

groupes Aborigènes traditionnellement rattachés à la Grande Barrière de Corail

D'APRÈS CHIN ET AL., 2019

60 000 ans
Premiers pêcheurs indigènes sur la Grande Barrière de Corail

Héritage patrimonial et religieux



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.

Pressions & menaces

PARTIE 2

En moins de 40 ans, le blanchissement du corail s'est imposé au fil des actualités. « Un corail blanc est un corail mort ». Cette observation simple résulte d'une réalité complexe révélant une mosaïque de pressions et de menaces pesant lourdement sur l'écosystème corallien.

Cette seconde partie détaille les principales perturbations agissant sur le développement et la survie du corail. Des bulles informatives proposent des perspectives optimistes en confrontation à un état des lieux inquiétant.



20%

des récifs
de la planète
disparus.

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.

70%

des récifs dégradés
par les activités
humaines.

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.

2050

90% des coraux
de la planète
menacés

30%

des récifs menacés
d'extinction.



RÉGRESSION

Les récifs ont pu coloniser jusqu'à 5 millions de km² pendant l'Ordovicien (450 MA), le Silurien (420 MA). À la fin du Dévonien (359 MA), ils ne couvraient plus que 1 000 km².

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 coraux du Golfe d'Aqaba en mer Rouge ainsi que les populations d'*Acropora sp.* des îles Gambier en Polynésie française sont davantage tolérants aux fluctuations de température.

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

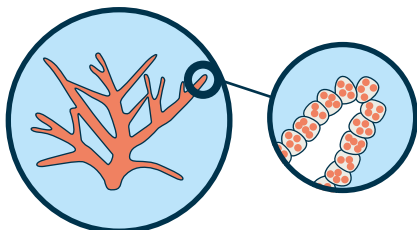
+0,9°C

depuis 1870

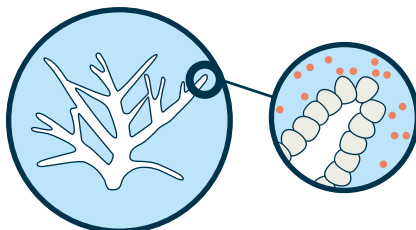
+3°C

à +5°C d'ici 2100

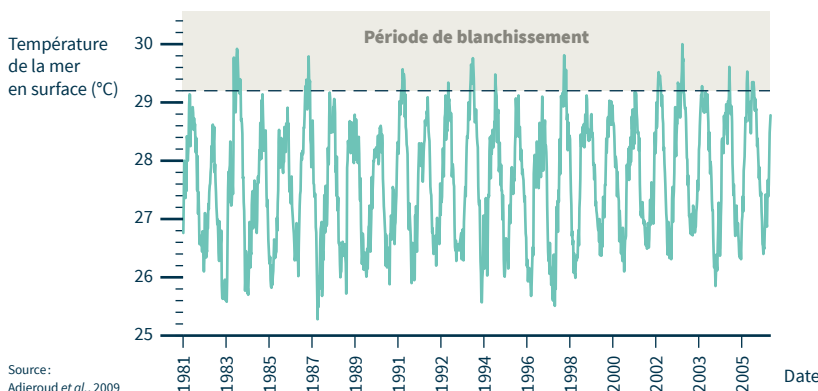
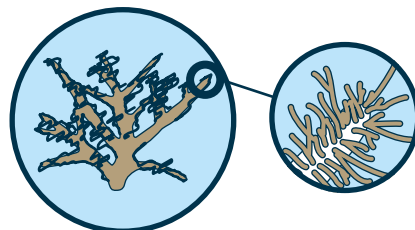
CORAIL EN BONNE SANTÉ



CORAIL BLANCHI



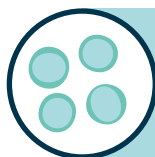
CORAIL MORT COLONISÉ PAR DES ALGUES FILAMENTEUSES



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

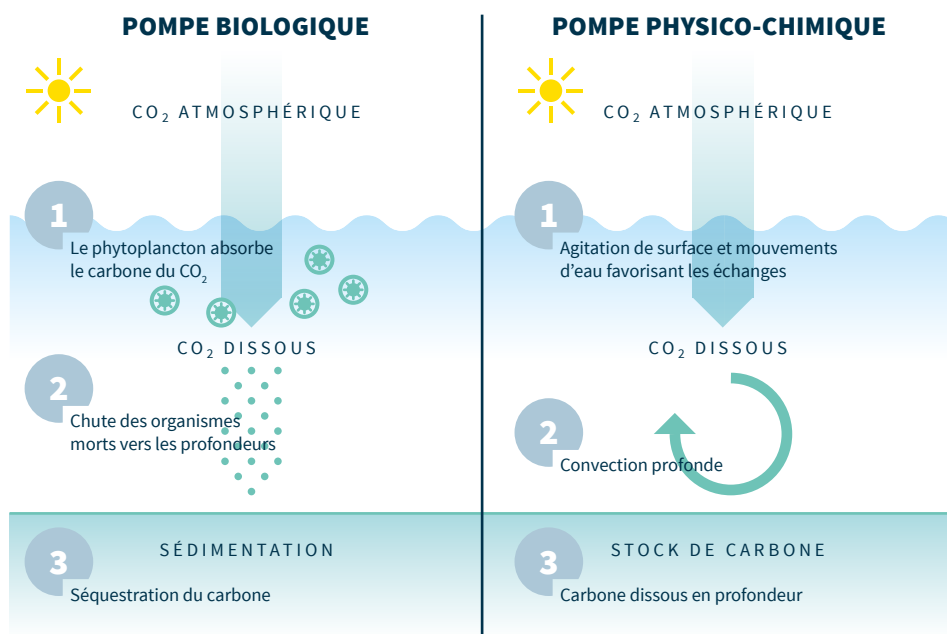
Certaines espèces pourraient s'adapter en situation plus acides. Ainsi, le corail *Stylophora pistillata* semblerait résister et évoluer face à ces nouvelles conditions.



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 ?



ESPOIR

Contraints à un pH acide, 2 coraux durs de Méditerranée (*Oculina patagonica* et *Madracis pharencis*) ont survécu à la décalcification en se développant et en se reproduisant sous la forme d'une petite anémone. Retour en conditions normales, ces 2 espèces ont à nouveau calcifié !

Les tempêtes

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.



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.

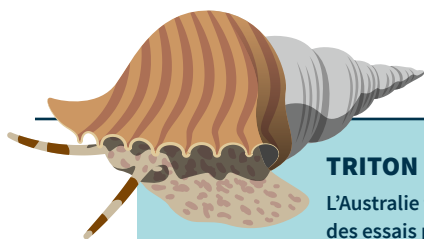
Durant les épisodes de prolifération, l'abondance en *Acanthaster planci* peut dépasser les 1 000 individus par hectare et engendrer une perte de près de 80% de la couverture corallienne. L'action destructrice des étoiles de mer sur le récif débute seulement à partir de 10 individus par hectare...

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



L'étoile de mer *Acanthaster planci*

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.



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*.





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-foulings
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 transmise 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.

Les activités récréatives

En considérant seulement la Grande Barrière de Corail, les répercussions économiques liées au blanchissement et à la dégradation des récifs coralliens se chiffraient en 2016 à près de 800 millions d'euros de pertes.

36 milliards d'euros par an de bénéfices générés par les récifs

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.



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.



TOURISME

Inscrite depuis 10 ans sur la Liste du Patrimoine Mondial en Pêril de l'UNESCO, la barrière de corail de Belize a été retirée de la liste fin 2018. Un moratoire sur l'exploitation pétrolière offshore avait été voté fin 2017. Pêcheurs, restaurants, hôtels, etc aujourd'hui, près de 20% des habitants du pays vivent grâce au récif. La surfréquentation touristique et les pollutions des navires de croisière constituent les principales menaces.

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.

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).



7^E CONTINENT

Localisé dans le Pacifique Nord, le 7^e continent est une soupe de plastiques et de microplastiques s'étalant sur 3,4 millions de km² soit 6 fois la superficie de la France et avec près de 1 kg de plastique par km².



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.).



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

Les EEE... Espèces Exotiques Envahissantes

EXEMPLE 1 Rascasse volante *Pterois sp.*

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.

À l'origine absentes des Caraïbes, les espèces *Pterois volitans* et *Pterois miles* ont depuis largement colonisé les récifs.

Année	Lieu
1985	1 ^{re} observation en Floride
1992	Introduction accidentelle dans la baie de Biscayne en Floride suite au passage de l'ouragan Andrew
2000	Caroline du Sud, Bermudes
2001	New Jersey, New York, Rhode Island
2002	Caroline du Nord
2004	Bahamas
2006	Îles Turques-et-Caïques
2007	Cuba, Îles Cayman
2008	Jamaïque, République Dominicaine, Haïti, Puerto Rico, Sainte-Croix, Belize, Colombie, Îles San Andrea
2009	Mexique, Honduras, Costa Rica, Panama, Venezuela, Yucatan
2010	Îles vierges américaines
2011	Guadeloupe, Martinique
2014	Ensemble des Caraïbes et du Golfe du Mexique, Brésil, Nord de l'Argentine



La mer Méditerranée est également touchée par l'expansion de *Pterois miles*.

Année	Lieu
1991	Israël
2012	Liban
2014	Chypre
2015	Grèce, Crète, Tunisie
2016	Sicile



Au Bahamas, certains récifs concentrent près de 400 individus par hectare.

RASCASSE VOLANTE *Pterois sp.*



► Autre nom
Poisson-lion

► Maturité
Femelles sexuellement matures dès 1 an

► Ponte
Près de 2 millions d'œufs par an

► Larves
Les courants marins permettent la dispersion des larves

► Répartition de l'espèce
De la surface jusqu'à 175 m de profondeur

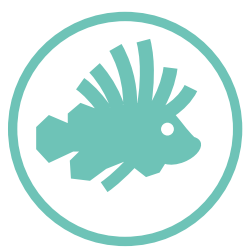
► Caractère
Ne supporte pas des eaux inférieures à 13°C

► Taille
Jusqu'à 40 cm de long

► Espérance de vie
Plus de 30 ans

► Protection
Nageoires venimeuses (rôle défensif uniquement)

► Alimentation
Chasse nocturne – toutes proies de taille inférieure ou égale à 15 cm



Quelles conséquences sur le récif corallien ?

Les populations de petits poissons sont les plus touchées.

Avec une forte pression sur les poissons herbivores, les rascasses sont capables de faire chuter la quantité de poissons (biomasse récifale) de plus de 30% en moins d'1 an... Dans certaines régions, l'abondance de certaines espèces de poissons a diminué de près de 65%. À terme, l'écosystème est appauvri et déséquilibré. Les algues prolifèrent davantage au détriment des coraux. Elles réduiront les sites de fixation des larves de coraux, priveront de lumière les coraux les plus proches et favoriseront l'implantation d'autres macro-algues.

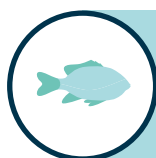


Prédation importante
+ Faible sélection des proies
= Forts impacts sur les récifs coralliens



PRÉDATEURS

Les requins et les êtres humains restent les principaux prédateurs des rascasses volantes. Les rayons venimeux sont dissuasifs pour de nombreuses espèces. Quelques carangues et mérous de grande taille peuvent en capturer.



LES PRINCIPALES ESPÈCES CONSOMMÉES...

AU STADE JUVÉNILE

Petits poissons, crevettes et crabes.



AU STADE ADULTE

Poissons perroquets, poissons chirurgiens et poissons labres constituent les principales proies.

190

espèces de poissons sont abritées par les récifs coralliens de la Guadeloupe (150 espèces pour la Martinique).



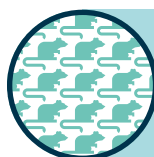


Les EEE ... Espèces Exotiques Envahissantes

Si l'introduction d'espèces marines peut perturber le fonctionnement de l'écosystème corallien, voici un nouvel exemple de déséquilibre induit par une espèce terrestre.

Le rat brun (*Rattus norvegicus*), le rat noir (*Rattus rattus*) ou encore le rat du Pacifique (*Rattus exulans*) sont les principales espèces de rats introduites et invasives dans le monde. Leur introduction est souvent liée aux activités humaines.

Dans les îles Polynésiennes, les premières populations de rats se seraient établies il y a 2 500 ans avec les migrations humaines.



Les densités de rats peuvent atteindre jusqu'à 100 rats par hectare.

80%
des archipels
colonisés
par les rats.

EXEMPLE 2

Rat

Rattus sp.



Période	Lieu
1100 av. J.-C.	Introduction du rat en Europe
Antiquité	Forte expansion du rat grâce aux campagnes guerrières et au commerce
Moyen-Âge	Les Croisades et l'éradication des chats accélèrent l'installation du rat
XXI ^e siècle	Début de la colonisation du rat favorisée par les voies de circulations créées par l'homme
2018	De nombreuses métropoles envahies par le rat (une estimation porte à 5 millions de rats à Paris).



Quelles conséquences sur le récif corallien ?

Peu sélectifs, les rats sont capables de décimer les espèces endémiques qu'elles soient végétales ou animales.

Les rats peuvent aussi être porteurs de parasites et contaminer de nouveaux milieux. En creusant de nombreux terriers, ils peuvent enfin accélérer l'érosion des atolls. Mais la présence des rats sur les îles coralliennes a un impact plus inattendu, ils vont perturber le développement des coraux et avoir une incidence sur le fonctionnement de l'écosystème corallien. Les rats se nourrissent des œufs et des oisillons des oiseaux marins qui nichent sur les îles. Une étude réalisée dans l'archipel des Chagos, au Nord de l'océan Indien, révèle une diminution de 760 fois le nombre d'oiseaux marins par hectare sur des îles infestées par des rats par rapport à d'autres îles exemptes de rats.

Ces populations d'oiseaux s'alimentent des poissons capturés au large. En revenant s'abriter et nicher sur les atolls, les oiseaux vont enrichir le milieu de leurs déjections. Les oiseaux marins jouent un rôle important dans le transfert des nutriments

du milieu terrestre vers le milieu marin. Appelés « guano », ces excréments sont riches en phosphore et en azote. Selon l'étude menée dans l'archipel des Chagos, la concentration par hectare en azote serait ainsi 251 fois plus élevée pour les îles exemptes de rats. Les microalgues symbiotiques présentes dans le tissu corallien sont capables d'assimiler l'azote apporté par le guano. Le développement de ces algues microscopiques serait ainsi favorisé et soutiendrait davantage la croissance du corail.

Mais les apports en guano ne se limitent pas seulement au corail. La biodiversité des récifs serait beaucoup plus importante pour les îles préservées des rats. Ainsi, pour l'archipel des Chagos, le poids total des poissons récifaux (la biomasse) serait 50% plus élevé. Les poissons herbivores vont limiter la prolifération des algues et permettre aux coraux de se développer davantage.



LES PRINCIPALES ESPÈCES CONSOMMÉES...

LES VÉGÉTAUX

Les racines, les tiges, les graines et les fruits. Quelques exemples : les rats creusent des trous dans les noix de coco pour accéder au liquide et au fruit charnu. Ils consomment également les fruits de santal, les graines de palétuviers, les graines de mimosa, la canne à sucre, etc.



LES ARTHROPODES ET LES MOLLUSQUES

Dont les crabes terrestres des tropiques comme les crabes violonistes.



LES ŒUFS ET LES JEUNES REPTILES

Iguanes, lézards, serpents, tortues.



TOUTES LES ESPÈCES D'OISEAUX TERRESTRES ET DE MER QUI PÈSENT MOINS DE 300 G

Les perroquets noirs, les sternes (surreprésentées), les fous, les frégates, les macareux, etc.





La surpêche

La surexploitation des espèces de grandes tailles et prédatrices (requins, mérus, carangues, balistes, etc) induit de profonds déséquilibres (cf. Les requins au service des coraux... p. 18).

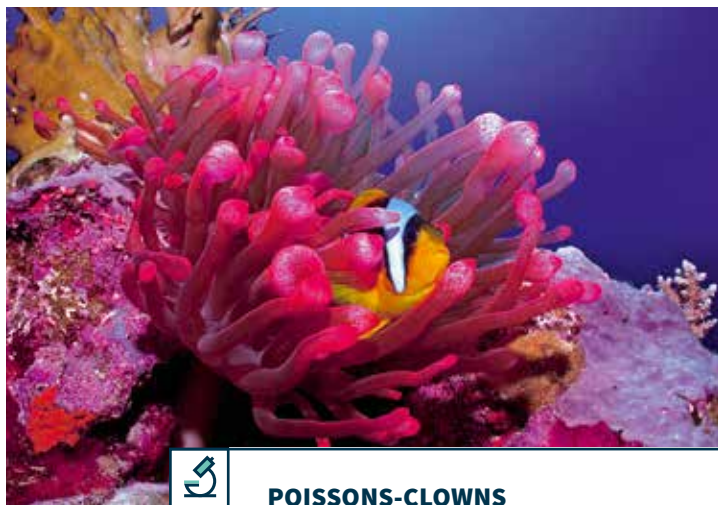
La pêche des prédateurs de l'oursin *Diadema antillarum*, comme les poissons balistes, a permis à cette espèce de proliférer. Les oursins ont activement contribué à la réduction des algues au bénéfice des coraux. Cependant le développement des oursins s'est fait au détriment des poissons herbivores. 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.

15

millions de poissons pêchés pour l'aquariophilie



POISSONS-CLOWNS

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



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.

Océanopolis Brest

ET OCÉANOPOLIS ?

Membre de l'Union des Conservateurs d'Aquarium de France (UCA) et d'Europe (EUAC), Océanopolis soutient depuis 30 ans les programmes de reproduction et privilégie les échanges entre les structures. Océanopolis est engagé aux côtés d'importateurs de confiance et reste vigilant sur la provenance des organismes.



Actions!

PARTIE 3

Si l'être humain est responsable de nombreuses pressions sur l'écosystème corallien, il peut être également à l'origine de solutions pour sa sauvegarde ! Initiés en 2018 dans le cadre de l'Année Internationale pour les Récifs Coralliens, de nombreux événements ont été entrepris à différentes échelles ; locale, nationale et mondiale. Les efforts en faveur des récifs coralliens doivent aujourd'hui se poursuivre et s'intensifier.

Loin des récifs, comment agir pour les protéger ?

Cette 3^e partie propose des actions quotidiennes individuelles ou collectives, des interventions à court terme ou à long terme, qui participent à limiter nos impacts sur les coraux.

Comprendre l'animal pour mieux appréhender l'évolution de l'écosystème corallien.

Cette partie présente également plusieurs programmes scientifiques provenant de différentes équipes de recherche. Ces études pluridisciplinaires participent au développement des connaissances sur les grandes fonctions physiologiques du corail et à comprendre les répercussions des perturbations environnementales et/ou anthropiques actuelles ou futures et à différentes échelles temporelles.



Sensibiliser pour mieux préserver

L'Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR) se place comme un relais de l'ICRI sur le plan national et a coordonné cette 3^e Année Internationale pour les Récifs Coralliens.

L'Initiative Internationale pour les Récifs Coralliens (ICRI - International Coral Reef Initiative) est un partenariat public-privé unique en son genre qui rassemble des gouvernements, des organisations internationales, des entités scientifiques et des organisations non-gouvernementales dont le but est de préserver les récifs coralliens et les écosystèmes qui y sont associés dans un cadre d'usage durable. La France a présidé l'ICRI de 2016 à 2018 en partenariat avec Madagascar (www.icriforum.org).



Des écosystèmes formés sur des millions d'années disparus en l'espace d'une génération. Ça ne peut pas arriver. Cela ne doit pas arriver. »

M. BAINIMARAMA, PRÉSIDENT DE LA COP23 - 2017

1^{ER} JANVIER 2018

3^e Année Internationale pour les Récifs Coralliens (IYOR2018) après 1997 et 2008.

29 AVRIL 2018

Une annonce du gouvernement australien prévoit l'investissement de plus de 300 millions d'euros consacrés à la préservation de la Grande Barrière de Corail.

8 JUIN 2018

Journée mondiale de l'océan.

9 JANVIER

Le gouvernement australien alloue une enveloppe de 1,2 millions d'euros pour soutenir la recherche en faveur de la protection de l'écosystème récifal.

11 MAI

Connus depuis 1950, les dernières prospections des bancs coralliens de l'Amazonie indiquent une répartition s'étalant du Brésil jusqu'au large de la Guyane française.

Proposition de l'atelier *Acidification de l'océan* à Océanopolis.

4 JUILLET

La présidence Franco-Malgache de l'ICRI passe à l'Australie-Monaco-L'Indonésie.

8 JUILLET

Célébration du 10^e anniversaire de l'inscription d'une partie des récifs et des lagons de la Nouvelle-Calédonie au Patrimoine Mondial de l'UNESCO.

27 OCTOBRE

Dénouement de l'expédition Tara Pacific consacrée pendant 2 ans à prospecter la biodiversité des récifs coralliens du Pacifique (départ le 28 mai 2016).

6 NOVEMBRE

Événement IFRECOR au Sénat pour une sensibilisation des sénateurs pour une meilleure valorisation et protection des écosystèmes tropicaux interconnectés (récifs, mangroves, herbiers).

20 NOVEMBRE

Remise de la Palme IFRECOR récompensant l'engagement des maires des communes ultramarines en faveur des récifs coralliens et des écosystèmes associés. La palme a été remise pour chaque bassin océanique à trois Maires ultramarins : la Martinique (Océan Atlantique), la Nouvelle-Calédonie (Océan Pacifique) et la Réunion (Océan Indien).

JUILLET-AOÛT 2018

Exposition *Récifs coralliens, un enjeu pour l'humanité* d'Alexis Rosenfeld et Alexie Valois visible au siège de l'UNESCO à Paris.

17 OCTOBRE 2018

Événement IFRECOR à l'Assemblée Nationale pour une sensibilisation des députés pour une meilleure valorisation et protection des écosystèmes tropicaux interconnectés (récifs, mangroves, herbiers).

27 OCTOBRE 2018

Lancement du 1^{er} épisode des 6 vidéos Youtube « Tout (ou presque) sur le corail ! » réalisés par la Youtubeuse Léa Camilleri, la Fondation Tara Océan et Océanopolis.

« Tout (ou presque) sur le corail ! »

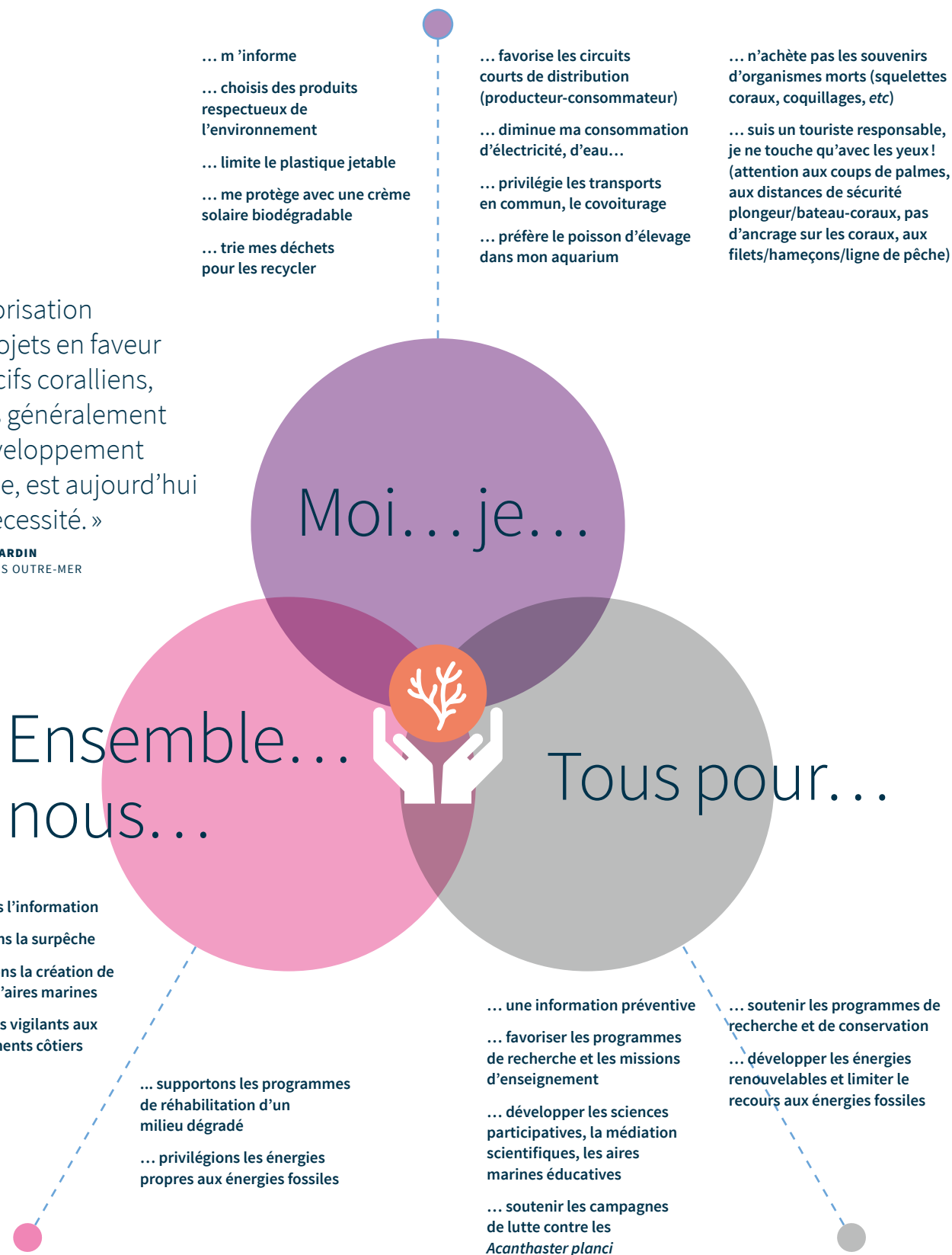
Océanopolis et la Fondation Tara accueillent 200 élèves à Océanopolis pour découvrir les récifs coralliens sur Youtube.

Nous pouvons protéger les récifs !



La valorisation des projets en faveur des récifs coralliens, et plus généralement du développement durable, est aujourd'hui une nécessité. »

ANNICK GIRARDIN
MINISTRE DES OUTRE-MER
2018



Promouvoir 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.

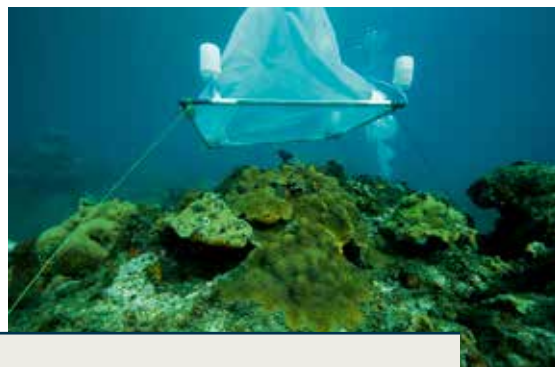
Coralliculture de fragments dans des « pépinières » de corail, élevage de larves de corail dans des « nurseries » de corail, transplantation des colonies produites en captivité vers des zones dégradées du récif

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



RÉSILIENCE

La résilience fait intervenir la capacité de récupération (résilience ingénierie), 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.

se développant sur le tissu corallien), intervention 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.

ils soutiennent la recherche...

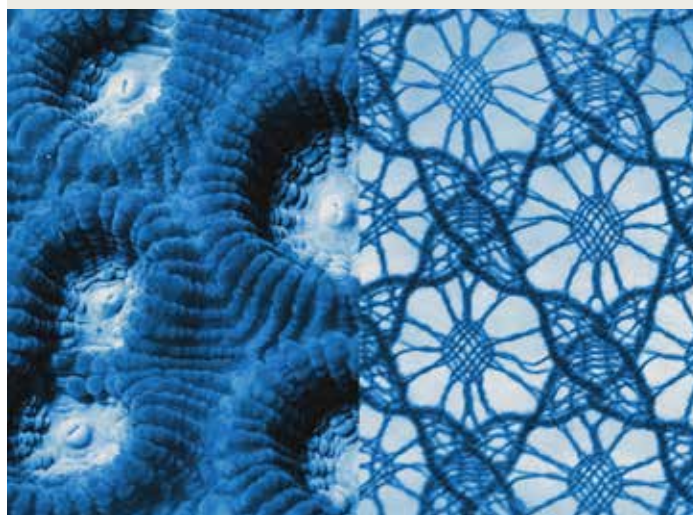
La diversité des sciences récifales reflète toute la multiplicité des axes de recherche pour tenter de comprendre le corail, un organisme bien plus complexe qu'il n'y paraît. Décrit comme la mémoire de l'océan, le corail n'est pas seulement le témoin des changements environnementaux du passé, il est un précieux indicateur du présent en dressant un état des lieux sans concession et perceptible par la récurrence du phénomène de blanchissement.

Mais s'intéresser au corail c'est également regarder et se projeter vers le futur en soutenant un écosystème indispensable pour la diversité marine, la préservation des atolls et pour ses nombreuses ressources apportées à l'être humain. Centres de recherche, fondations, inspirations architecturales et artistiques, vous découvrirez dans ces prochaines pages, la pluridisciplinarité des approches pour tenter, toujours plus, d'expliquer le corail.



Un fil d'espoir pour le corail

JÉRÉMY GOBÉ
ARTISTE PLASTICIEN



Lorsque l'art, le savoir-faire ancestral et la science concourent ensemble et avec le soutien de la DRAC, pour la sauvegarde du corail, il naît le projet *Corail Artefact*.

À la suite du septième Festival international des textiles extraordinaires, l'artiste plasticien Jérémy Gobé et la SCOP Fontanille unissent leurs savoirs autour de la dentelle et du corail. Installée à Espaly-Saint-Marcel depuis 150 ans, en Haute-Loire près du Puy-en-Velay, la SCOP développe le point d'esprit en dentelle. L'œil averti du jeune artiste reconnaît immédiatement dans cette broderie l'organisation squelettique du corail. Comment un point inventé il y a 450 ans a-t-il pu reproduire la structure d'un corail tropical non décrit à l'époque ?

« Nous pouvons imaginer que ces formes soient présentes dans la nature et reprises plus ou moins consciemment par l'Homme » explique Jérémy Gobé.

Un protocole est alors mis en place avec le soutien de la spécialiste Isabelle Domart-Coulon, du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, dont ses travaux de recherche portent sur les coraux et les éponges. L'artiste, l'entreprise textile et la scientifique se lancent alors dans leurs premiers tests en laboratoire. Les résultats sont encourageants et « même au-delà de nos espérances » commente Jérémy Gobé,



1,5

km² de dentelle
tissés par la SCOP
Fontanille

1

L'artiste Jérémy Gobé accueilli en résidence par la SCOP Fontanille et en partenariat avec HS Projet

2

Colonie de corail se développant sur la dentelle du Puy-en-Velay

3

Jérémy Gobé et Isabelle Domart-Coulon expérimentant la dentelle et le corail

la dentelle en coton se révèle être un substrat prometteur pour le corail. « Cette dentelle a tous les avantages : la transparence, la biodégradabilité, la rugosité... », poursuit Jérémy Gobé.

Ce substrat en dentelle innovant pourrait accueillir des boutures de coraux pour aider à la restauration des récifs coralliens. Mieux encore... la dentelle pourrait être un support de fixation pour les larves de coraux ! Ce sont donc, en plus du point d'esprit, 4 motifs de dentelle, dessinés par l'artiste, tissés par l'entreprise et testés par la scientifique qui seront à l'épreuve du corail dans les aquariums de la Porte Dorée à Paris. Ce projet s'étale jusqu'en 2021 avec des tests *in situ* prévus dès 2020 !



Promouvoir la protection et la gestion durable des récifs coralliens

IFRECOR
INITIATIVE FRANÇAISE POUR LES RÉCIFS CORALLIENS

Créée en 1999, l'Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR) est la déclinaison française de l'Initiative Internationale pour les Récifs Coralliens (ICRI). Initiative intergouvernementale, l'IFRECOR a été créée par décret du Premier Ministre dont le secrétariat est assuré par les ministères en charge de l'écologie et des outre-mer.

L'objectif principal de l'IFRECOR est de promouvoir (sur le plan local, national et international) la protection et la gestion durable des récifs coralliens et des écosystèmes associés (mangroves et herbiers) dans les collectivités d'outre-mer. Il anime des réseaux d'experts, de chercheurs, de gestionnaires et s'appuie sur un comité national composé de représentants de ces réseaux, de parlementaires, et d'élus locaux des collectivités d'outre-mer. Il adopte et met en œuvre un programme d'actions tous les 5 ans qui s'articule avec des plans d'actions locaux établis par chaque collectivité et d'actions transversales au niveau national. L'IFRECOR valorise également l'expertise française et favorise les opérations de collaboration à l'international (notamment au sein

de l'ICRI) en matière de protection et de gestion durable des récifs coralliens des écosystèmes associés. Les axes d'intervention du 4^e programme d'action (2016-2020) sont les suivants :

- 1 Contribuer à réduire les menaces d'origine humaine pesant sur les récifs coralliens, les mangroves et les herbiers.
- 2 Surveiller et atténuer les impacts du changement climatique.
- 3 Renforcer les connaissances pour mieux gérer.
- 4 Surveiller l'évolution de l'état des écosystèmes pour mieux les protéger.
- 5 Diversifier les financements dédiés à la protection des récifs et écosystèmes associés.
- 6 Communiquer et sensibiliser pour renforcer la prise en compte des récifs coralliens et écosystèmes associés.

Les territoires récifaux d'outre-mer français



IFRECOR
INITIATIVE FRANÇAISE
POUR LES RÉCIFS CORALLIENS





Tara Pacific, une expédition scientifique contemporaine

ÉTIENNE BOURGOIS
PRÉSIDENT
FONDATION TARA OCÉAN

ROMAIN TROUBLÉ
DIRECTEUR GÉNÉRAL
FONDATION TARA OCÉAN

Co-direction scientifique :
P^r DENIS ALLEMAND
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE
CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

D^r SERGE PLANES
DIRECTEUR DE RECHERCHE
USR 3278 CRILOBE PSL UNIVERSITÉ PARIS ; EPHE-UPVD-CNRS

La Fondation Tara Océan, première fondation reconnue d'utilité publique consacrée à l'océan, développe, grâce à la goélette Tara, une science de l'océan ouverte, innovante et inédite devant permettre de prédire et mieux anticiper l'impact du changement climatique. Elle utilise cette expertise scientifique de très haut niveau pour sensibiliser et éduquer les jeunes générations mais aussi mobiliser les décideurs politiques et permettre aux pays en développement d'accéder à ces nouvelles connaissances. La Fondation Tara est Observateur spécial de l'ONU et participe activement aux Objectifs du Développement Durable de l'Agenda 2030 de l'ONU. Elle souhaite faire de l'océan une responsabilité commune.

La goélette scientifique Tara a quitté son port d'attache de Lorient le 28 mai 2016 pour sillonner l'océan Pacifique sur près de 100 000 km pendant plus de deux ans. Avec à son bord une équipe scientifique interdisciplinaire coordonnée par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et le Centre Scientifique de Monaco (CSM), l'objectif est d'ausculter de manière inédite la biodiversité des récifs coralliens et leur évolution face au changement climatique et aux pressions anthropiques.

Selon Serge Planes, co-directeur scientifique de l'expédition, « Tara Pacific tentera de dévoiler la biodiversité cachée d'un récif, à la fois génomique, génétique, virale ou bactérienne, pour la comparer à celle de la masse d'eau qui l'entoure. Le but est de se faire une idée réelle de la diversité globale d'une colonie corallienne. » Outre l'état de santé du récif et sa biodiversité à différents niveaux, l'équipe scientifique s'intéressera aux capacités de résistance, d'adaptation et de résilience de ces écosystèmes. Un dernier axe d'étude portera sur les éventuelles applications de la biologie corallienne pour la recherche médicale.

1

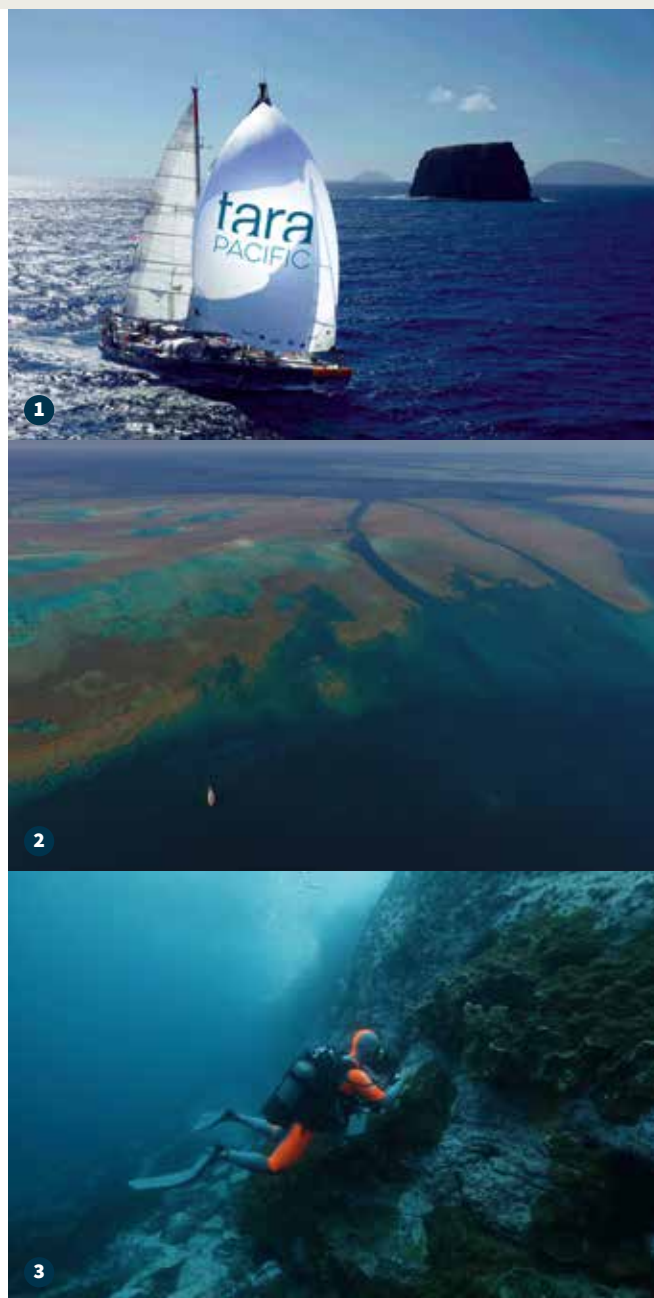
Tara, un voilier scientifique

2

La Grande Barrière de Corail

3

Scientifique au travail





Impact d'une campagne de sensibilisation sur les représentations des récifs coralliens par les enfants

D^e PASCALE CHABANET
DIRECTRICE DE RECHERCHE

D^e JOCELYNE FERRARIS
DIRECTRICE DE RECHERCHE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
UMR 9220 – Écologie Marine Tropicale des océans
Pacifique et Indien (ENTROPIE) – La Réunion

Les récifs coralliens perçus par les enfants

Les récifs coralliens font partie des écosystèmes vulnérables les plus menacés par les activités humaines et le changement climatique. Ces changements ont un impact significatif sur plus de 500 000 personnes qui dépendent directement de ces écosystèmes et des services qu'ils produisent (pêche de subsistance, activités économiques comme la pêche et le tourisme, etc).

Pour faire face aux pressions exercées sur ces écosystèmes, des décisions à plusieurs échelles, basées sur des connaissances scientifiques solides associant sciences naturelles et sociales sont nécessaires. De plus l'éducation joue un rôle essentiel pour impliquer les jeunes générations et les citoyens de manière générale dans la protection de ces milieux sensibles.

C'est dans ce contexte que s'est mis en place un programme scientifique interdisciplinaire à l'interface entre recherche et sensibilisation en utilisant une mallette pédagogique sur les récifs coralliens mise au point par les scientifiques (MARECO « Le récif corallien entre nos mains »). L'objectif de ce programme était d'analyser l'impact d'une campagne de sensibilisation sur les représentations qu'ont les enfants des récifs coralliens. Cette étude réalisée dans le Sud-Ouest de l'océan Indien, le Pacifique Sud et dans Sud-Ouest de la France métropolitaine, a ciblé pour chaque site, cinq écoles primaires dans différents contextes sociaux et culturels (urbain, rural et côtier).

Les représentations ont été analysées à travers des dessins faits avant et après la campagne de sensibilisation, en croisant différentes disciplines (biologie, écologie, anthropologie, ethnoécologie et statistique). Des analyses statistiques multivariées ont révélé une diversité de représentations chez des enfants de profils socioculturels variés, mais également entre écoles. L'étude a souligné que les relations avec la nature et le milieu marin varient en fonction des expériences directes et indirectes liées aux récifs.



De plus, elle a mis en évidence des différences importantes dans les représentations des récifs coralliens par les enfants avant et après l'utilisation de MARECO, notamment en ce qui concerne leurs connaissances de la biodiversité des récifs à travers des organismes multicolores, le nombre de couleurs étant un indicateur de la vision holistique développée par les enfants. Ces résultats ont permis de souligner la performance de MARECO en tant qu'outil ludique de transfert de connaissances scientifiques vers les enfants.



DEEPHOPE

Refuges de corail

D^r LAETITIA HÉDOUIN
CHARGÉE DE RECHERCHE

P^r MICHEL PICHON
TAXONOMISTE - EXPERT DES RÉCIFS CORALLIENS

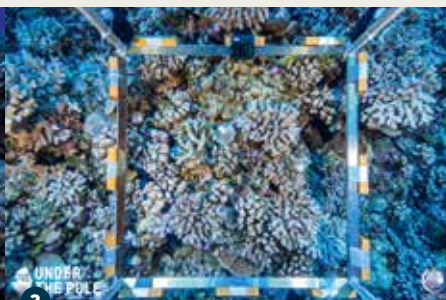
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
Centre de Recherche Insulaire et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE)
USR 3278 CRIOBE PSL Université Paris ; EPHE-UPVD-CNRS



1 Équipement à bord du voilier WHY de l'expédition Under the Pole



2 Échantillonnage des coraux mésophotiques



3 Quadrant permettant d'étudier la richesse spécifique

L'objectif du projet DEEPHOPE est d'explorer les écosystèmes mésophotiques (récifs coralliens profonds de 30 à 150 m de profondeur). Dans la lutte contre le changement climatique, les scientifiques ont émis l'hypothèse que les coraux trouvés dans les eaux plus profondes - des eaux souvent plus froides et moins affectées par les perturbations locales que celles plus proches de la surface - pourraient potentiellement servir de refuges. L'hypothèse étant qu'en cas de perte d'une majorité de coraux en eaux peu profondes (exemple : blanchissement massif), les larves de coraux en profondeur pourraient remonter dans les eaux plus

proches de la surface et aider à repeupler les zones touchées.

Pour vérifier cette hypothèse, Laetitia Hédouin s'est jointe à la récente expédition Under the Pole III où les dernières technologies d'exploration sous-marine permettent d'étudier la biodiversité des écosystèmes

mésophotiques et d'échantillonner ces coraux de profondeur. Cette expédition a pour mission d'apporter des réponses à deux questions majeures :

- 1 Les écosystèmes mésophotiques sont-ils un refuge pour les coraux en eaux peu profondes ?
- 2 Quels mécanismes spécifiques permettent aux coraux de vivre dans la zone mésophotique, fortement limitée en lumière ?



Une hypothèse concernant la capacité des milieux coralliens mésophotiques à servir de refuge, suite à la dégradation des récifs superficiels, affectés par les changements globaux. »

MICHEL PICHON, 2019

LA DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

Inventaire de la biodiversité de la zone mésophotique

- Collecte d'échantillons grâce aux plongeurs en recycleurs pour découvrir les espèces coralliennes vivant dans la zone de 30 à 120 m de profondeur dans 15 îles de la Polynésie française
- Identification grâce au squelette corallien et à des analyses génétiques des espèces

Connectivité entre les écosystèmes mésophotiques et de surface

- Fragments de coraux d'espèces à large distribution (de la surface à 70 – 90 m de profondeur, e.g. *Pocillopora verrucosa*, *Pachyseris speciosa*)
- Identification via des analyses génétiques des différentes populations présentes et des liens de parenté

Mécanismes d'adaptation aux profondeurs

- Analyses de la densité en zooxanthelles présentes dans les tissus et de la concentration en chlorophylle pour caractériser la plasticité photo-physiologique des coraux
- Étude des tissus coralliens et de l'investissement reproductif en fonction de la profondeur : analyse histologique
- Étude du microbiome et du type de zooxanthelles présent dans les tissus

Ce projet utilise le voilier WHY de l'expédition Under the Pole.





AQUACORAL

Les coraux résistants au climat

D^r LAETITIA HÉDOUIN
CHARGÉE DE RECHERCHE

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
Centre de Recherche Insulaire et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE)
USR 3278 CRIOBE PSL Université Paris; EPHE-UPVD-CNRS



- 1** Cellules reproductrices flottant à la surface
- 2** Colonie d'*Acropora* sp. blanchie à Tahiti

AQUACORAL S'ARTICULE AUTOUR DE 3 AXES DE RECHERCHE PRINCIPAUX :

- 1** Évaluer la variabilité intraspécifique des colonies de coraux adultes dans le contexte du réchauffement climatique et sélectionner les colonies les plus résistantes à ces changements pour la reproduction sexuée ;
- 2** Étudier les capacités de résistance thermique des coraux juvéniles (la progéniture des adultes sélectionnés car plus résistants) au changement climatique ;
- 3** Optimiser la croissance des jeunes recrues pour améliorer l'utilisation de la reproduction sexuée dans les actions de conservation des récifs.

Le projet de recherche AQUACORAL se concentre sur la restauration des zones coralliennes qui ont été affectées par le changement climatique. Ce projet s'appuie sur le développement d'une pépinière de coraux en Polynésie française et sur la transplantation de coraux résistants dans les récifs coralliens.

La chercheuse Laetitia Hédouin et son équipe produisent en laboratoire des coraux juvéniles issus de reproduction sexuée. Ces coraux sont plus résistants au stress que leurs homologues dans les récifs. Cette pratique repose au préalable sur la sélection de colonies coralliennes présentant une résistance au stress *in situ* (colonies blanchies vs non blanchies). Des croisements entre coraux géniteurs plus adaptés au stress ont alors pu être réalisés en laboratoire. Une optimisation des protocoles d'élevage des recrues et post-recrues coralliennes a été menée en parallèle en pépinière. Les coraux juvéniles suffisamment grands sont ensuite transplantés dans le lagon de Moorea. Jusqu'à présent, Laetitia Hédouin et son équipe ont réussi à réaliser des croisements entre géniteurs permettant d'améliorer la résistance des embryons et des larves à l'augmentation de la température. Ces travaux ont été conduits sur les coraux durs du genre *Acropora*, les prochaines étapes de ce projet consisteront à transférer cette méthodologie à d'autres genres de coraux, dont *Pocillopora* et *Montipora*.

LA DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

Reproduction Asexuée

- « Bouturages » des coraux ; 3 genres coralliens étudiés : *Acropora*, *Pocillopora*, *Porites*
- Suivi de la croissance et de la survie tous les 3 mois
- Identification des individus résistants ou sensibles ; sélection des individus résistants
- Étude sur 3 ans
- Croisements génétiques entre individus spécifiques élevés en pépinière

Reproduction Sexuée – émission de cellules reproductrices des individus résistants vs sensibles

- Croisements génétiques entre individus spécifiques
- Pré-exposition des jeunes stades de vie au stress de température
- Élevage adapté de larves pour 3 espèces d'*Acropora*
- Tests de survie à la température





Comment étudier les effets de l'acidification de l'océan sur les coraux constructeurs de récifs ?

P^r DENIS ALLEMAND
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE

D^r ÉRIC TAMBUTTÉ
CHARGÉ DE RECHERCHE

Centre Scientifique de Monaco (CSM)
Unité de Biologie Marine



Technique du « microbouturage »
développée au CSM

L'augmentation de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère provoque une double peine pour les organismes marins qui doivent subir à la fois une élévation de la température de l'eau de mer (suite à l'effet de serre) et une acidification des eaux par dissolution du dioxyde de carbone. Les coraux constructeurs de récifs (appelés coraux Scléractiniaires), plus encore que les autres organismes marins, sont très sensibles à ces phénomènes. Si les effets de l'augmentation de la température de l'eau de mer sont malheureusement bien connus avec le phénomène de blanchissement des coraux (rupture de la symbiose des coraux avec leurs algues symbiotiques conduisant à terme à la mort des coraux), les effets de l'acidification sont moins bien connus.

Afin d'étudier ces effets, le Centre Scientifique de Monaco (CSM), organisme de recherche de la Principauté de Monaco, a développé des techniques originales d'expérimentation en laboratoire. Pour cela, le CSM cultive depuis 30 ans en conditions contrôlées une cinquantaine d'espèces de coraux. La méthode utilisée est une méthode de propagation par fragmentation conduisant à une multiplication asexuée des individus. Ainsi, à partir d'une colonie, de nombreuses « microcolonies » peuvent être produites en laboratoire. Cette méthode permet à la fois de conserver des souches de coraux sans prélèvement dans le milieu naturel tout en fournissant au chercheur le matériel biologique pour ses études. Grâce à ces techniques de culture, les chercheurs du CSM ont pu conduire une expérience originale mimant les conditions de pH du siècle à venir.

Lors d'une expérience démarrée en 2010, des microcolonies ont été réparties dans des bacs à différents pH, du pH actuel de l'eau de mer à celui prévu par les experts du GIEC en 2100. Cette expérience, première réalisée sur une aussi longue période, a permis plusieurs importantes observations :

- au fur et à mesure que le pH diminue, la morphologie de la colonie change : les polypes (unités de la colonie corallienne) sont plus grands et le squelette devient plus poreux. Ces mécanismes permettent au corail 1) d'optimiser l'utilisation de ses ressources nutritives, et 2) de favoriser sa croissance en utilisant le minimum de carbonate de calcium, le composant principal du squelette de coraux (Tambutté *et al.*, 2015).
- ces modifications phénotypiques (c'est-à-dire de la morphologie corallienne) sont la conséquence d'une acclimatation du corail aux nouvelles conditions environnementales par un mécanisme appelé épigénétique, c'est-à-dire touchant de façon réversible, mais potentiellement transmissible, l'expression des gènes (Liew *et al.*, 2018).

Cette découverte apporte une lueur d'espoir suggérant que les coraux pourraient s'adapter aux nouvelles conditions environnementales. Ce mécanisme épigénétique pourrait également être exploité pour développer des coraux résistants aux futures conditions de l'océan (Allemand *et al.*, 2017).



Un Œil sur le Corail

D^e LAETITIA HÉDOUIN
CHARGÉE DE RECHERCHE

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
Centre de Recherche Insulaire et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE)
USR 3278 CRIOBE PSL Université Paris; EPHE-UPVD-CNRS



1

Événement de blanchissement massif de coraux à Tikehau en mai 2016

Le projet *Un Œil sur le Corail* mené conjointement par le CRIOBE et l'IRCP, a pour objectifs de sensibiliser et d'impliquer les membres des communautés locales de Polynésie française dans le système d'observation et de surveillance des récifs coralliens.

Les récifs coralliens font la richesse de la Polynésie française, avec plus de 2000 km² de barrières récifales. L'épisode majeur de blanchissement corallien de 2016 a montré que les effets du réchauffement climatique étaient très contrastés à travers le monde, et également en Polynésie française. Les efforts de recherche, actuellement focalisés sur quelques îles, peuvent difficilement rendre compte de l'état de santé global des récifs polynésiens.

Pour appréhender de manière fiable et représentative la réponse des récifs coralliens de la Polynésie française

aux perturbations (naturelles ou anthropiques), il est aujourd'hui indispensable de pouvoir collecter des données sur de grandes échelles spatiales. Le projet *Un Œil sur le Corail* permet à l'ensemble des usagers des récifs coralliens : plongeurs, pêcheurs, touristes, associations, scientifiques, gardes de réserve, plaisanciers, acteurs variés en lien avec la mer... d'agir grâce à ce suivi participatif.

Si l'observateur est témoin d'un des événements suivants : blanchissement corallien, maladie corallienne ou présence de *Taramea* (étoile de mer prédatrice du corail), il peut remplir la fiche d'observation disponible sur le site de l'IRCP. En participant à ce programme, les citoyens aident les scientifiques à augmenter le volume de données disponibles sur l'état de santé des coraux de Polynésie française et ainsi, à mieux comprendre et anticiper leur évolution face aux changements globaux.





Les récifs en quête de diazotrophes

D^r FANNY HOULBRÈQUE

CHARGÉE DE RECHERCHE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
UMR 9220 - Écologie Marine Tropicale des océans Pacifique
et Indien (ENTROPIE) - Nouvelle-Calédonie

D^r SOPHIE BONNET

DIRECTRICE DE RECHERCHE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
UMR Mediterranean Institute of Oceanography (MIO) - Marseille

VALENTINE MEUNIER

DOCTORANTE

UMR 9220 - Écologie Marine Tropicale des océans Pacifique
et Indien (ENTROPIE) - Nouvelle-Calédonie

Les récifs coralliens sont actuellement fortement menacés par le réchauffement climatique, qui perturbe la symbiose entre les coraux et leurs Symbiodiniaceae photosynthétiques, entraînant un blanchissement massif des coraux. Lorsque les coraux blanchissent, ils perdent une partie de leurs sources de nutriments et d'énergie. Plusieurs études ont, par le passé, mis en évidence une augmentation de la consommation de plancton de grande taille (mésoplankton et macrozooplancton) par les coraux lorsqu'ils sont exposés à un stress thermique mais ceci n'a jamais été mis en évidence pour les plus petites fractions planctoniques, à savoir le pico- (0,2 à 2 µm) et le nanoplankton (2 à 20 µm). Parmi ces petites fractions de taille, les bactéries et cyanobactéries diazotrophes sont très abondantes dans les eaux récifales. L'océan Pacifique Sud-Ouest est reconnu pour être un « hot-spot » de la fixation d'azote atmosphérique. Ce plancton bien particulier présente la propriété de réduire le N₂ atmosphérique en ammonium et azote organique dissous, alors disponibles pour les autres organismes planctoniques et récifaux. Les objectifs du projet MACADAM sont, entre autres, de :

- caractériser l'importance de ce plancton diazotrophe dans la nutrition de plusieurs espèces de coraux constructeurs de récifs.
- déterminer si cette consommation de plancton diazotrophe (en abondance et constamment disponible dans la colonne d'eau) serait plus importante chez les coraux blanchis et si cela leur permettraient d'être plus résistants/résilients face au blanchissement.

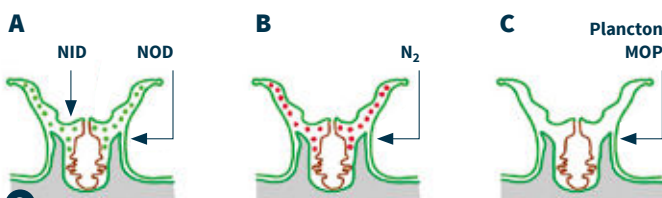
Dans ce projet, l'équipe utilise notamment une nouvelle technique de marquage isotopique au ¹⁵N₂, couplée notamment à la spectrométrie de masse nano-échelle (nanoSIMS) et au tri cellulaire en cytométrie en flux.

1

Le corail *Pocillopora verrucosa* en cours d'incubation

2

Collecte de coraux



Représentation schématique des principales stratégies de prélèvement de l'azote par les coraux :

- (A) sous forme dissoute inorganique ou organique (NID ou NOD) par le tissu corallien et les Symbiodiniaceae (représentés par les points verts),
(B) sous forme de N₂ par les bactéries et cyanobactéries présentes à l'intérieur des tissus (représentés par les points rouges),
(C) sous forme de matière organique particulaire (MOP) et de plancton par le corail.



Un laboratoire naturel en Nouvelle-Calédonie pour étudier l'effet du climat

D^r RICCARDO RODOLFO-METALPA
CHARGÉ DE RECHERCHE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
UMR 9220 - Écologie Marine Tropicale des océans Pacifique
et Indien (ENTROPIE) - Nouvelle-Calédonie

Dans le but de mieux prédire le devenir des coraux face au changement climatique, il est temps de s'intéresser à leur capacité à s'acclimater et éventuellement à s'adapter à l'avenir. Pour réaliser cela, il est nécessaire de trouver des récifs coralliens qui sont déjà exposés aux conditions environnementales prévues d'ici la fin de ce siècle et certains de ces récifs se trouvent en Nouvelle-Calédonie.

Les premiers travaux de terrain ont été menés sur un site exceptionnel situé à Bouraké, à 150 km de Nouméa. Dans ce site, en bordure de mangrove, plus de 50 espèces différentes de coraux ont été découvertes dans des eaux à la fois riches en CO₂ (où le pH peut atteindre la valeur extrême de 7,3), plus chaude (1-3°C), et pauvres en oxygène. Étonnement, même dans ces conditions difficiles, les chercheurs de l'équipe IRD ont trouvé des récifs très riches et comparables aux autres récifs frangeants de la Nouvelle-Calédonie. Ce site est donc devenu central pour mieux comprendre la capacité des coraux à s'acclimater et s'adapter aux principaux paramètres du changement global.

Les travaux de recherche menés jusqu'à aujourd'hui ont démontré que les coraux seraient capables de s'acclimater aux conditions extrêmes grâce à la fois à des changements physiologiques propres à l'animal (calcification, respiration, etc) mais aussi grâce à une sélection de leur symbiontes (*Symbiodinium sp.* ou bactéries plus résistants). Sur le long-terme, le but des expériences sera de vérifier si les coraux ont la capacité de transmettre à leurs progénitures ces atouts, de se reproduire et potentiellement de s'adapter (i.e. acclimatation transgénérationnelle).

1

Plus de 50 espèces différentes de coraux ont été identifiées dans ce site présentant des conditions extrêmes

2

Récif corallien de Bouraké avec la mangrove en arrière-plan

3

Coraux de Bouraké effleurant la surface. Certains coraux sont exposés à l'air libre en période de marée basse





Étude d'une algue microperforante vivant dans le squelette corallien

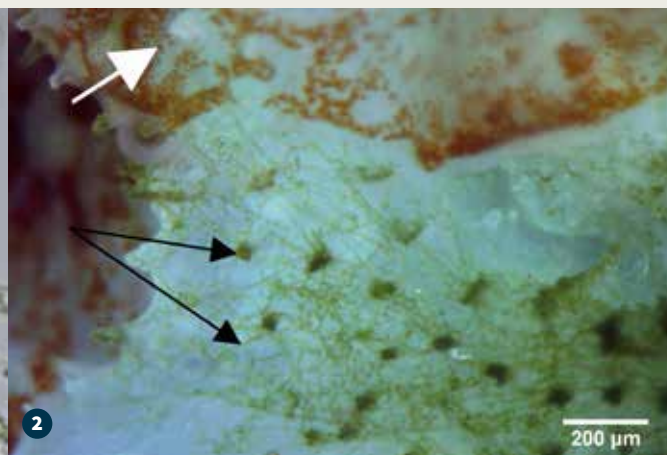
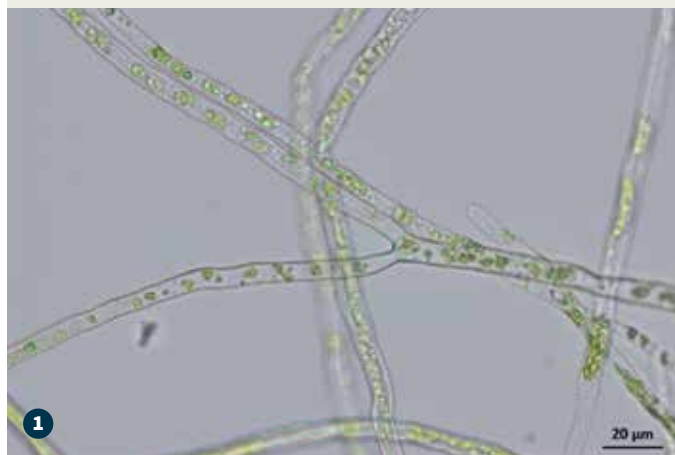
D^r ANAÏS MASSÉ
POST-DOCTORANTE

Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN)
UMR 7245 CNRS-MNHN –
Molécules de Communication et Adaptation
des Microorganismes (MCAM)

D^r ISABELLE DOMART-COULON
MAÎTRE DE CONFÉRENCES

D^r ALINE TRIBOLLET
CHARGÉE DE RECHERCHE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
UMR 7159 - Laboratoire d'Océanographie
et du Climat: Expérimentations
et Approches Numériques (LOCEAN)
Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)



1

Filaments vivants de la microalgue du genre *Ostreobium*

2

Morceau de *Pocillopora acuta* montrant (flèche blanche) les endosymbiontes (zooxanthelles) localisés dans les tissus du corail et (flèches noires) les filaments microperforants (*Ostreobium* sp.) localisés dans le squelette calcaire (après rétractation des tissus)

Les coraux Scléractiniaires constructeurs de récifs tropicaux sont des animaux qui vivent associés à de nombreux microbes localisés dans leur mucus, tissu ou squelette. Les microorganismes perforants sont les microbes qui creusent activement des galeries dans le squelette calcaire des coraux (dissolution *via* des processus chimiques) et constituent l'un des compartiments sous-explorés du corail. Ces microperforants sont filamenteux et comprennent des cyanobactéries, des algues microscopiques vertes et rouges (eucaryotes) et des champignons. Mais dans le corail vivant, c'est une algue verte microperforante qui domine (*Ostreobium* sp.). Cette algue vit dans des conditions extrêmes, elle reçoit de faibles intensités lumineuses pour réaliser sa photosynthèse dans le squelette du corail vivant. Pour survivre et faire sa photosynthèse, elle doit être capable de suivre la croissance du corail. Une récente étude (Massé *et al.*, 2018) vient de montrer que cette algue verte perforante est capable de coloniser les coraux dès leurs

plus jeunes stades de vie (premier individu : le polype primaire, soit après 7 jours de développement) à partir du substrat de fixation des larves (recherches menées au MNHN et à l'IRD en collaboration avec les aquariums Océanopolis de Brest et l'Aquarium Tropical de la Porte Dorée à Paris). Cette association dès le plus jeune âge du corail ne semble pas perturber sa croissance !

À ce jour, la physiologie de ces algues perforantes *Ostreobium* et la nature de leurs interactions avec le tissu des coraux Scléractiniaires constructeurs de récifs coralliens sont encore très peu connues. Trois études (Schlichter *et al.*, 1995 ; Fine et Loya, 2002 ; Sangsawang *et al.*, 2017) ont cependant montré qu'*Ostreobium* peut être une source de nutriments carbonés et azotés pour les coraux. L'une de ces études (Fine et Loya, 2002) suggère notamment que cette source alternative de nutriments pourrait améliorer la survie des colonies coralliennes blanchies, quand la symbiose du corail avec ses dinoflagellés (zooxanthelles) est rompue. Les recherches menées actuellement au MNHN et à l'IRD suggèrent l'utilisation d'une partie du carbone et de l'azote issus de la dissolution active du squelette corallien par l'algue *Ostreobium* pour sa photosynthèse. Il reste à savoir si cette algue transfère des éléments nutritifs à son hôte corallien de manière active afin de déterminer s'il y a bénéfices mutuels entre le corail et cette algue microperforante !



Des récifs coralliens fossiles : connaître le passé pour comprendre le futur

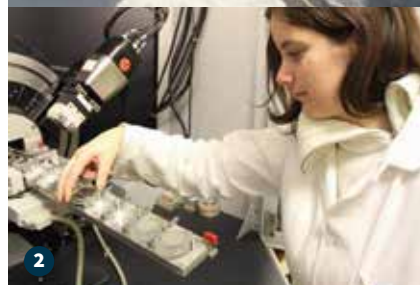
D^r STEPHAN JORRY
CHERCHEUR EN GÉOLOGIE MARINE

Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer)
Unité Géosciences Marines
Laboratoire Géodynamique et Enregistrement Sédimentaire

Les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer sont devenus aujourd'hui un enjeu sociétal majeur. Depuis plus d'une dizaine d'années, l'étude des récifs coralliens fossiles tient une place centrale dans la reconstitution des variations passées du niveau marin qui sont apparues au cours des dernières dizaines voire centaines de milliers d'années. Du fait de leur grande sensibilité face aux modifications des paramètres environnementaux (température, salinité, niveau de l'océan), les enregistrements les plus précis des variations passées du niveau marin sont obtenus à partir de l'étude de coraux fossiles qui ont vécu dans les tranches d'eau de faible profondeur.

Ces récifs fossiles peuvent être aujourd'hui observés soit sur des affleurements à terre, soit dans l'océan où ils forment des plateaux sous-marins ennoyés par parfois plusieurs centaines de mètres de profondeur. Pour étudier les récifs fossiles dans le domaine sous-marin, les scientifiques participent à des expéditions à bord de navires océanographiques, au cours desquelles sont réalisés des relevés géophysiques (qui permettent de cartographier le fond marin) et des prélèvements de roche et de sédiment afin de connaître la nature géologique des fonds.

De retour au laboratoire, des analyses sont effectuées sur les différents prélèvements, de manière à caractériser les environnements dans lesquels ont vécu les coraux fossiles, et dans le but d'obtenir des datations. Au final, l'étude des récifs fossiles va permettre d'accéder à des archives très importantes sur les fluctuations passées du niveau marin, afin de comprendre et de mieux appréhender le comportement futur des calottes polaires face au réchauffement climatique.



- 1** Prélèvements de roches et de sédiments sur des récifs fossiles
- 2** Analyses des échantillons en laboratoire
- 3** Expéditions océanographiques à bord du *Pourquoi pas ?* d'Ifremer



Les coraux et le guano...

D^r ANNE LORRAIN

CHARGÉE DE RECHERCHE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

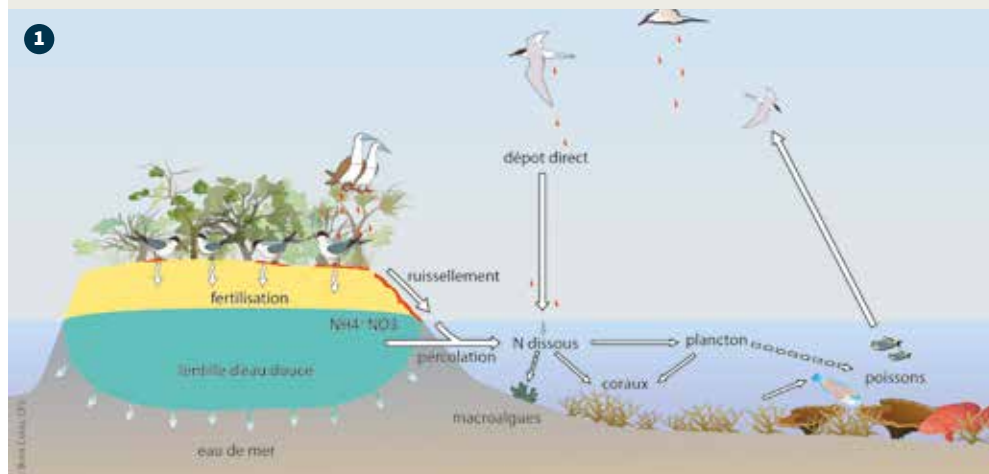
UMR 6539 – Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin (LEMAR)

D^r FANNY HOULBRÈQUE

CHARGÉE DE RECHERCHE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

UMR 9220 – Écologie Marine Tropicale des océans Pacifique et Indien (ENTROPIE) - Nouvelle-Calédonie



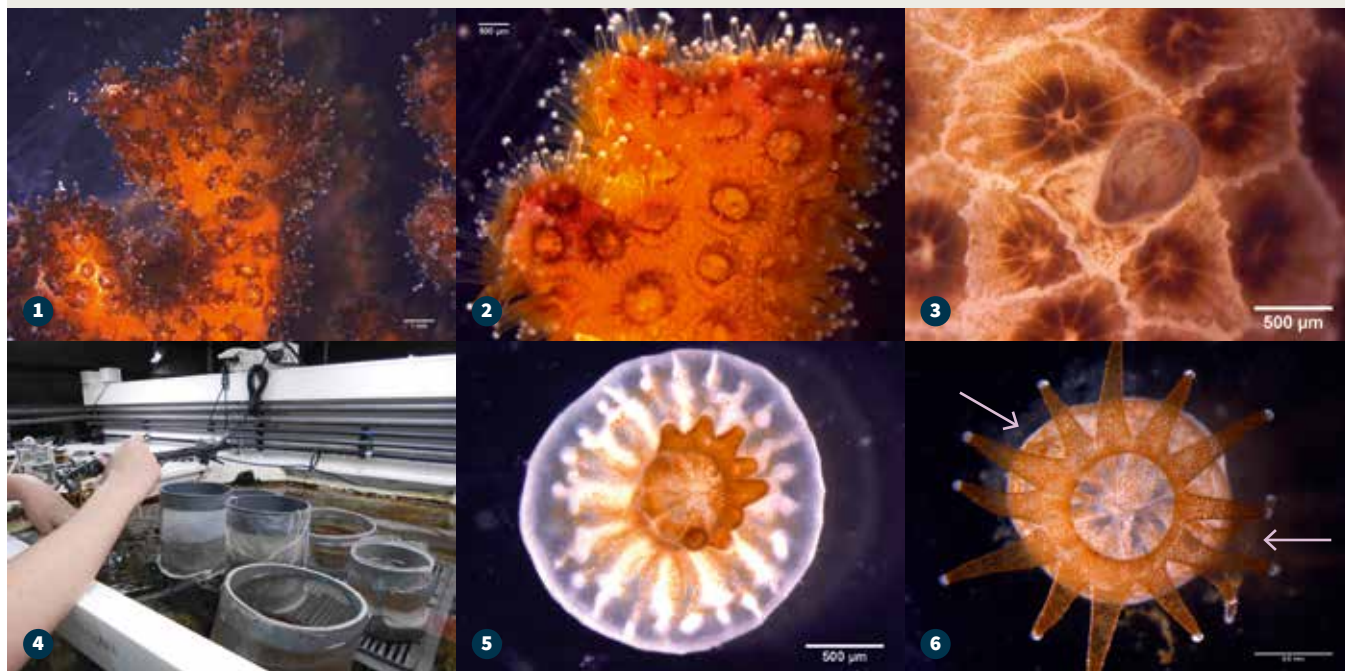
Les oiseaux marins, venant se reproduire sur les îlots éloignés, peuvent jouer un rôle écologique important de transfert de nutriments vers les eaux environnantes via leurs excréments (guano). Le projet porté par l'IRD a pour objectif d'évaluer la contribution des nutriments issus du guano (azote et phosphore) à la nutrition de différents maillons de l'écosystème corallien (plancton, coraux, algues, poissons) autour d'îlots abritant de larges colonies d'oiseaux et éloignés de toute source anthropique. Pour cela, la composition isotopique en azote ($\delta^{15}\text{N}$) du plancton, des tissus de coraux, algues, bivalves et poissons est mesurée sur un gradient d'éloignement aux îlots. Les premiers résultats ont permis de tracer l'entrée de l'azote issu du guano dans les chaînes alimentaires marines (Lorrain *et al.*, 2017). L'analyse d'échantillons d'eau et de coraux a ainsi montré la présence d'azote issu du guano dans les eaux des lagons, mais aussi dans les tissus des coraux vivant à proximité des îlots. Dans un deuxième temps, il s'agira d'appréhender si la présence de ce guano entraîne une modification des paramètres physiologiques des coraux (respiration, photosynthèse, croissance) et de la diversité des communautés pélagiques. Ce projet vise à apporter des informations indispensables sur le rôle encore méconnu des oiseaux marins sur le fonctionnement des récifs coralliens et une première évaluation de leur effet positif ou négatif sur la physiologie des coraux.



Symbiose corail-dinoflagellés

D^r ISABELLE DOMART-COULON
MAÎTRE DE CONFÉRENCES

Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN)
UMR 7245 CNRS-MNHN – Molécules de Communication
et Adaptation des Microorganismes (MCAM)



Les coraux constructeurs de récifs tropicaux obtiennent jusqu'à 90% de leur besoins énergétiques *via* leur association symbiotique avec des microalgues dinoflagellées *Symbiodinium sp.* (« zooxanthelles ») qui vivent dans leurs tissus. Le blanchissement corallien, c'est-à-dire la perte de ces microalgues en réponse aux stress (réchauffement, pollution), induit une perte de nutriments qui affaiblit les coraux et menace leur survie.

Les microalgues *Symbiodinium* sont présentes dès les premiers stades de vie de certaines espèces coralliennes, dans la larve planula (planctonique) et/ou sont acquises après la fixation de la larve à un support et sa métamorphose en polype primaire (benthique), qui bourgeonnera en colonie. Cependant, les recherches menées au MNHN en collaboration avec l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Océanopolis et l'Aquarium Tropical de la Porte Dorée montrent que les échanges mutuels de nutriments sont réduits dans la larve planula, qui utilise préférentiellement ses réserves (lipides), par rapport à la colonie adulte (Kopp *et al.*, 2015 & 2016). La mise en place du contrôle par l'hôte corail de la densité de ses microalgues

symbiotiques est également tardive, à partir du stade de vie polype primaire (Lecointe *et al.*, 2016). Les partenaires microbiens du corail (microbiote) et le fonctionnement de sa relation symbiotique avec les microalgues varient donc au cours du développement de la colonie corallienne. Il est crucial pour la restauration des récifs de mieux comprendre la réponse des stades de vie précoces des coraux aux stress environnementaux.

1

Branche d'une colonie de *Pocillopora acuta*

2

Extrémité d'une colonie de *Pocillopora acuta*

3

Émission d'une planula de *Pocillopora acuta*

4

Collecte des planulae de *Pocillopora acuta*

5

Polype primaire de *Pocillopora acuta* se développant sur une lamelle de verre. Les dinoflagellés sont bien apparents dans le tissu animal

6

Bourgeonnement de deux polypes secondaires (flèches) à partir du polype primaire en position centrale

Travailler pour le corail

Afin d'aider les collégiens dans leur orientation et de soutenir les lycéens dans la préparation de leur projet professionnel, une dernière partie est consacrée à découvrir différents portraits de professionnels dont les missions sont en lien avec le corail (technicien-plongeur, coralliculteur, scientifique, médiateur scientifique, photographe, journaliste, etc). À travers ces différents témoignages, les élèves pourront facilement se projeter et percevoir les nombreuses formations possibles et pour tout niveau.

Étudiant ^{BTS}



Guillaume Lemaître



Immersion

Je suis originaire de Saint-Félix au Gosier situé sur la côte Sud de Grande-Terre en Guadeloupe. J'y ai grandi jusqu'à mes 19 ans avant de traverser l'Atlantique pour pouvoir étudier en métropole. Actuellement, je suis étudiant en BTSA Productions Aquacoles, au Lycée de Bréhoulou à Fouesnant. Je souhaiterais pouvoir développer dans un avenir proche mon entreprise aquacole aux Antilles ou à l'étranger où les conditions seront les plus adéquates.

Je m'intéresse de très près aux coraux et au récif corallien. J'ai toujours connu ces paysages sous-marins. Le Grand-Cul-de-sac-marin, la Pointe des Châteaux, l'Îlet Caret, l'Îlet Fajoux, Port-Louis,

Grande-Anse, les Salines, etc, ont été pour moi de véritables terrains de jeux. J'y ai appris *in situ* la beauté, la diversité mais aussi la fragilité de ce milieu. En palme, masque et tuba, c'est toute la multitude des espèces coralliennes qui s'offre à mon regard, leur nuance de couleur, leurs

différentes formes, etc. J'aime voir pendant mes plongées les polypes des coraux aussi petits soient-ils, virevolter dans le courant. J'aime prendre le temps de regarder chaque détail de ces structures coralliennes entremêlées de petite faune intérieure.

J'ai une grande passion pour l'aquariologie et pour moi, l'océan reste le plus bel aquarium que l'on puisse trouver ! Le récif corallien, c'est aussi des ressources, et j'aime pêcher de beaux poissons mais pour cela, il faut que le milieu puisse continuer d'accueillir ces poissons.



Fonds marins en Guadeloupe

Je suis jeune, mais pourtant je ne peux que constater le changement. Les récifs se dégradent, dans certaines zones, les espèces se raréfient comme à Table d'Op à Port-Louis, ou le récif de Saint-Anne et ceux de La Femme Folle et de la Grande Caille. Le blanchissement du corail est visible, il se manifeste par des squelettes calcaires sans couleur et sans habitants. Les poissons viennent à manquer et certains même sont devenus introuvables. Certes, on y pêche toujours de belles pièces mais il faut passer un peu plus de temps ou alors aller très loin pour trouver les poissons. Je me souviens de grands bancs de poissons chirurgiens bleus. Aujourd'hui, ils sont moins nombreux. Ils font pourtant partie de ces brouteurs d'algues qui maintiennent en état les récifs.

Il faut poursuivre l'éducation des jeunes et des moins jeunes à la préservation des récifs. Les futures générations doivent pouvoir continuer de grandir dans ces paysages. Préservons notre océan, nous avons besoin de lui pour respirer, manger et passer du bon temps dans l'eau !



J'ai appris *in situ* la beauté, la diversité mais aussi la fragilité de ce milieu. »

Médiatrice scientifique

MASTER



Nathalie Siche

LES MOTIVATIONS

Depuis mon plus jeune âge, j'ai été au contact des organismes marins grâce à mon père, pêcheur, plongeur et scaphandrier. À travers mes yeux d'enfant, j'ai vécu et appris beaucoup de sa passion. Il m'apparaissait naturel de côtoyer la mer et ses habitants. C'est donc logiquement que j'ai orienté mon cursus vers ce milieu à travers la biologie animale, l'algologie ou l'écologie marine enseignées à l'Université de Brest. Pourtant à l'époque, certains me déconseillaient d'emprunter cette voie, faible en débouchés et avec un chômage omniprésent. Après une expérience professionnelle dans le milieu de la recherche, j'ai rapidement ressenti le besoin de médiation et la nécessité de faire partager mes connaissances au plus grand nombre. Je reprochais à la science de ne pas s'ouvrir assez au grand public. C'est ainsi qu'en 1998, j'ai signé mon premier contrat de guide à Océanopolis.

CURSUS

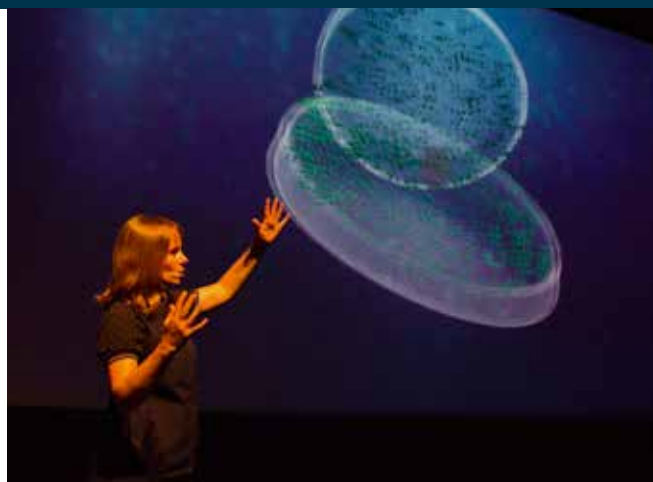
- Bac D (Maths et SVT)
- DEUG B (L2)
- Licence de biologie des organismes (option algologie)
- Maîtrise de biologie cellulaire et physiologique en milieu marin, stage à Ifremer dans le laboratoire Environnement profond.

LES MISSIONS DU POSTE

Dans le cadre de mes fonctions, je conçois et réalise des ateliers éducatifs, des supports pédagogiques (livrets, cahiers d'expériences, etc) mais aussi des animations adaptées aux différents publics (scolaires, grand public). Il m'arrive de participer à d'autres actions comme des animations sur l'estran ou le relâcher de phoques. Océanopolis étant coordinateur départemental de la Fête de la Science, je suis chargée de la gestion de ce projet. Je participe également à la formation des nouveaux membres de l'équipe.

ATOUTS ET CONTRAINTES

Ce métier me permet de transmettre ma passion du milieu marin à toutes les générations, de sensibiliser le public à la richesse, à la beauté mais aussi à la fragilité de cette vie parfois insoupçonnée, afin de donner envie de la protéger. Pour cela, il faut être pédagogue, s'adapter aux publics. Il faut donner beaucoup mais



Animation XperienSEA - PLANCTON 3D commentée par Nathalie Siche

le retour est au centuple ! De belles découvertes qui sont aussi partagées dans un équipement de qualité. Océanopolis est un outil de médiation très adapté pour permettre la diffusion des connaissances en utilisant des outils de dernière génération. Notre métier évolue avec les nouvelles technologies, ça reste très stimulant. Il faut cependant être conscient que ce métier réclame une disponibilité importante. La vie personnelle doit s'ajuster en fonction des besoins professionnels. Les postes restent également limités, cependant j'observe un développement des activités de médiation depuis quelques années avec une augmentation des opportunités professionnelles, des recrutements.

CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS

Au-delà du métier de médiateur scientifique, l'enseignement de la SVT est indispensable pour les jeunes générations. Cette discipline est essentielle pour la construction du citoyen. En apportant aux autres les connaissances en biologie, en écologie, nous leur apportons des bases fondamentales qui leur permettront de prendre des décisions durant leur vie d'adulte. Nous nous plaçons comme un relais du savoir entre les générations. Je vous conseillerais de choisir la filière dans laquelle vous vous sentez le mieux. Faites ce que vous aimez, épanouissez-vous dans un métier qui influencera votre vie. Ce métier doit être votre passion. Il m'avait été déconseillé de m'investir dans cette voie... et pourtant...

Responsable scientifique pour une réserve naturelle nationale

MASTER



Julien Chalifour



Réserve Naturelle Nationale
de Saint-Martin

LES MOTIVATIONS

Originaire d'une région rurale éloignée des côtes françaises, j'ai toujours été passionné par les reportages sous-marins, le Grand bleu, l'aquariologie et les sports de plein air. Le milieu marin constitue aujourd'hui mon cadre de travail et accueille l'essentiel de mes loisirs.

CURSUS

Après un stage de découverte en aquarium, je me suis orienté vers un Diplôme de Technicien Supérieur des Métiers de la Mer (INTECHMER – Cherbourg). J'ai, par la suite, obtenu un Master en Développement local, Aménagement du territoire et Gestion des ressources naturelles en milieu tropical, avec une spécialisation sur les milieux marins. En parallèle de ces formations, je me suis attaché à compléter mes compétences techniques en me formant en plongée de loisir, puis professionnelle, en cartographie assistée par ordinateur (SIG), en photographie, ainsi qu'en validant mes permis de conduire et de navigation. Mon entrée dans la vie professionnelle, m'a amené à occuper tour à tour des postes de soigneur, d'halieute, de chargé d'étude en génie écologique, pour finalement intégrer le poste de chargé de mission, en tant que Responsable scientifique pour le gestionnaire de la Réserve Naturelle Nationale (RNN) de Saint-Martin aux Antilles françaises.

LES MISSIONS DU POSTE

En tant que Responsable scientifique pour la RNN de Saint-Martin, je suis amené à concevoir, réaliser et analyser des programmes de suivis scientifiques des espèces animales et végétales peuplant l'espace de la RNN. L'objectif de mon travail est d'évaluer l'efficacité des actions de gestion mises en œuvre, de déterminer les tendances évolutives des peuplements gérés et de contribuer à la production de connaissances sur les espèces et les milieux. Ce poste exige également de contribuer à la diffusion de ces connaissances, via des interventions scolaires, des animations publiques ou des participations à des congrès et colloques scientifiques. La réalisation de certaines missions scientifiques nécessite également de trouver des financements et des experts extérieurs indispensables à leur concrétisation. Au-delà des missions propres au poste, mes fonctions m'amènent également à effectuer des missions de Police de l'Environnement et d'entretien des infrastructures d'accueil du public.



Récif caribéen

ATOUTS ET CONTRAINTES

L'atout majeur de ce type de poste est qu'au-delà de certains suivis récurrents, chaque année amène son cortège de nouveaux sujets, de nouveaux collaborateurs et de nouvelles missions scientifiques. C'est un travail varié et enrichissant. Cependant, il est également contraint par les moyens financiers et logistiques disponibles, plus encore dans le contexte particulier d'un territoire ultra-marin de taille réduite et éloigné du continent. Nous manquons cruellement de moyens pour répondre à l'énorme panel de missions et de problématiques s'imposant quotidiennement à nous et l'île de Saint-Martin ne dispose que de très peu de scientifiques implantés en local.

CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS

Travailler dans l'environnement est un défi et doit nécessairement relever de la passion. C'est également une nécessité dans le contexte actuel, car protéger le vivant, c'est aujourd'hui protéger notre cadre de vie et les générations futures. Ce domaine et plus particulièrement le secteur marin font appel à un grand nombre de métiers et de niveaux de qualifications. Si le cursus universitaire peut sembler s'imposer, il ne faut pas pour autant négliger les compétences techniques complémentaires, qui peuvent faire la différence à la sélection pour un poste. Pour intégrer ce milieu de passionnés, la meilleure voie est celle de la rencontre et de l'immersion, afin d'en découvrir les métiers et de trouver celui qui vous convient.

Technicienne en aquariologie/ Plongeuse professionnelle ^{L3}



Maureen Midol



Collecte des larves de *Pocillopora actua* par Maureen Midol

LES MOTIVATIONS

Passionnée par le milieu marin depuis l'enfance, j'ai toujours été intéressée pour comprendre la biologie des organismes aquatiques ainsi que le fonctionnement d'un écosystème aquatique. Je voyais dans les aquariums la possibilité de recréer un « écosystème » à plus petite échelle et d'y suivre son évolution. Mon profil plutôt technique et manuel m'a naturellement conduit vers le métier de technicienne en aquarium/plongeuse.

LE CURSUS

Après avoir obtenu un bac scientifique, j'ai pu intégrer la Faculté de Biologie des Organismes de Rennes. Les deux années de redoublement de ma première année m'ont conforté dans le choix d'une filière plus technique et ont été valorisées à travers la réalisation de plusieurs stages dans le milieu aquacole et aquariologique (Grand Aquarium de Saint Malo, animalerie, INRA de Rennes). À la suite de mon L2, j'ai pu réaliser la Licence professionnelle d'Aquaculture Continentale et d'Aquariologie de Nancy. Cette formation correspondait davantage à mes attentes et m'a permis de réaliser un stage de six mois à Océanopolis. J'ai pu ensuite passer mes niveaux de plongée subaquatique et mon niveau professionnel Classe IB. Après avoir réalisé plusieurs CDD de soigneuse/technicienne en aquariologie (Aquarium du Trocadéro, Aquarium Marin de Trégastel, Océanopolis), j'ai pu être recrutée à Océanopolis.

LES MISSIONS DU POSTE

Les missions de mon métier sont très diversifiées : Les tâches quotidiennes sont essentiellement des tâches d'entretiens (vitres, décors, filtrations) ainsi que le suivi du bien-être des animaux.

Ce bien-être, dépend de plusieurs paramètres :

- La reconstitution de leurs conditions de vie.
- L'observation des comportements des espèces présentées.
- Le suivi régulier des paramètres physico-chimiques de l'eau (température, composés azotés, pH, etc).
- L'entretien des bassins, la bonne santé des animaux.

Nous soutenons également la conservation des espèces à travers des programmes de reproduction, des collaborations et des échanges entre aquariums (« bouturage » de corail, reproduction de raies et requins, élevage d'hippocampes). Océanopolis collabore avec des organismes de recherche sur des programmes scientifiques. Enfin, nous sommes sollicités pour transmettre nos connaissances auprès du grand public et des scolaires.

ATOUTS ET CONTRAINTES

Avant tout une passion, ce métier reste très stimulant grâce à la diversité des tâches, aux différentes espèces maintenues et aux nombreux secteurs d'activités que nous côtoyons. C'est aussi un apprentissage continu.

Technicien/plongeur est une profession très physique (plongée, port de charges lourdes, etc). Le vivant nécessite une présence quotidienne (astreinte le weekend, les jours fériés, etc). Les possibilités d'évolution restent limitées.

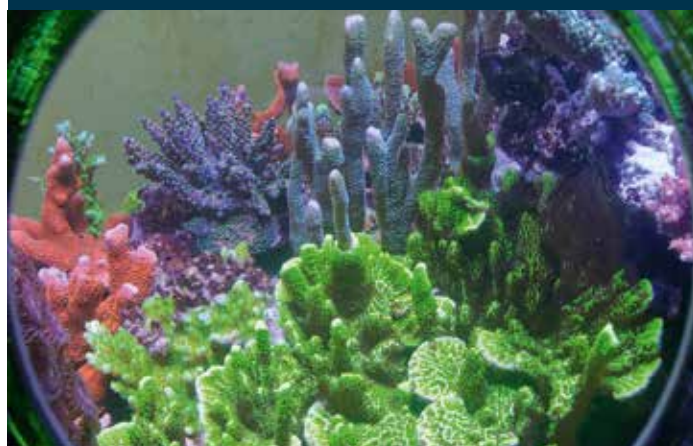
CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS

Je vous conseille de vous écouter, soyez curieux. Il m'apparaît important d'entrer en contact, le plus tôt possible, avec le milieu professionnel et d'entretenir son réseau. Sachez qu'il existe plusieurs voies possibles pour parvenir à un métier et inversement une formation peut permettre d'accéder à différents métiers. Enfin, il ne faut pas nécessairement s'arrêter sur des voies théoriques et générales. Les voies techniques et professionnelles peuvent aussi assurer un bel avenir !

Coralliculteur^{L3}



Antoine Combot



Cultiver du corail en Bretagne

La Ferme de Corail est une société agricole, créée en 2008 et située sur le port de Camaret-sur-mer en Bretagne.

Fondée sur le constat de récifs coralliens sous pressions et d'une demande de l'aquariophilie importante, la Ferme de Corail a souhaité proposer une alternative aux prélèvements en s'engageant dans la production de coraux issus de culture durable et écoresponsable.

Ce sont donc en 10 ans, plus de 300 souches référencées et une soixantaine d'espèces coralliennes qui composent notre collection. Le « bouturage » de corail demeure la technique de production la plus utilisée. La Ferme de Corail, c'est aussi 80 000 litres d'eau de mer conditionnés pour soutenir la culture corallienne.

Nos principaux objectifs sont :

- la préservation des écosystèmes récifaux du commerce animalier,
- la création d'une collection pérenne d'accueil de souches récifales acclimatées aux conditions artificielles,
- la promotion des techniques innovantes d'élevage,
- la sensibilisation des animaleries aux enjeux liés à la pollution des récifs et l'impact écologique de l'animalerie,
- la formation des générations futures à l'aquaculture responsable (via des stages pédagogiques).



Ingénieur ^{MASTER}

Yann Lacube

LES MOTIVATIONS

C'est grâce à ma passion pour les aquariums depuis l'âge de 10 ans que j'ai décidé de travailler dans le domaine de la biologie marine. Mon intérêt pour l'aquariologie a évolué progressivement de l'eau douce vers le milieu marin. La découverte du monde marin fut pour moi une révélation, le métier que je voulais faire devait être en rapport avec ce milieu qui reste encore à découvrir.

LE CURSUS

Après l'obtention de mon baccalauréat scientifique, je me suis orienté vers une licence de biologie générale. J'ai réalisé mes deux premières années à l'université de Tours puis mon L3 à l'université de La Rochelle.

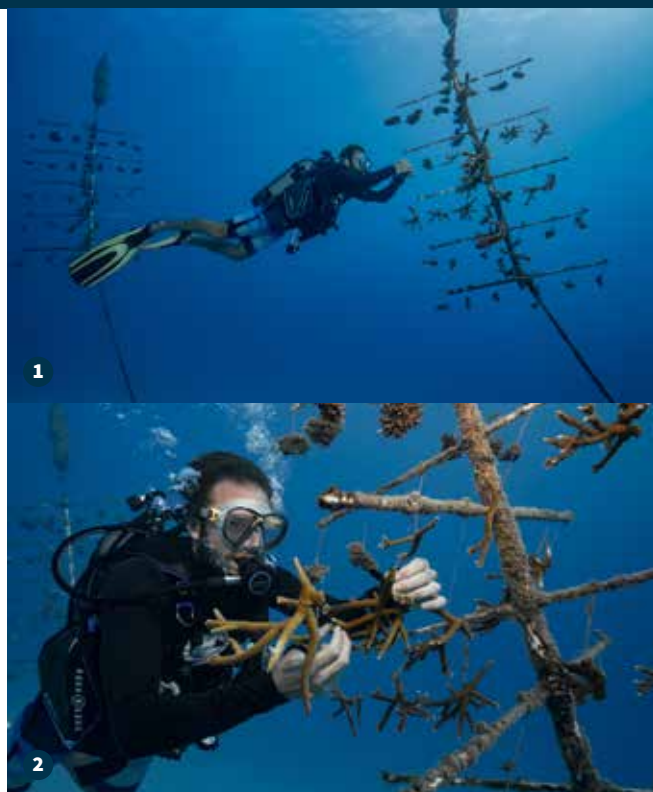
Cette année de licence m'a permis de me consacrer à la biologie marine (beaucoup de sorties sur le terrain afin

d'apprendre à reconnaître tous les types d'organismes marins). Après l'obtention de ma licence, j'ai effectué mon M1 à l'université Pierre et Marie Curie (Jussieu Paris 6) en Océanographie et Environnements Marins. À travers cette première année de master, j'ai pu découvrir plusieurs stations marines de recherche (Roscoff, Villefranche-sur-mer ainsi que Banyuls-sur-mer).

Mon stage de M1 m'a permis de faire de la recherche dans une entreprise de production d'invertébrés marins (La Ferme de Corail) à Camaret-sur-mer. J'ai réalisé ma seconde année de master à l'École Pratique de Hautes Études (EPHE) en « Biologie et Gestion de l'écosystème » parcours « Écologie corallienne ». J'ai réalisé mon stage de M2 de six mois dans le laboratoire de recherche du CRILOBE en Polynésie française pour travailler sur la reproduction d'une espèce de corail.

LES MISSIONS DU POSTE

À la suite du stage de M2 réalisé au CRILOBE, j'ai pu trouver un emploi au sein de l'équipe de recherche en tant que responsable aquariophile. J'ai pour principales missions la création/l'entretien des aquariums pour les expériences, l'entretien en plongée de structures sous-marines (tables et « arbres » coralliens), la production et le traitement de données de recherche ainsi que l'encadrement/aide de stagiaire.



1

2

1

« Arbre » à coraux dans le lagon de Moorea. « Bouturage » à des fins scientifiques. Une collaboration franco-américaine du CRILOBE avec le Dr M Hagedorn (HIMB et Smithsonian Institute) et Ken Nedimyer (Reef Renewal)

2

Le biologiste Yann Lacube du CRILOBE travaille sur le programme du Dr L Hédouin

ATOUTS ET CONTRAINTES

Ce métier est très enrichissant sur le plan humain, on rencontre des collègues venant du monde entier qui viennent faire des recherches ici en Polynésie. Ce métier est aussi très intéressant sur le plan technique en permettant l'acquisition permanente de compétences diverses (plongées, techniques de laboratoire, bricolage...). Mais ce métier passion à l'autre bout du monde entraîne aussi des contraintes familiales dues à la distance. C'est une profession où il ne faut pas trop compter ses heures.

CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS

Croire en ses idées et en ses rêves ! Ne pas hésiter à aller voir les gens, les démarcher, surtout dans ce milieu compétitif qu'est la recherche. Il faut se faire connaître et se démermer pour travailler sur les sujets qui vous passionnent.

Chargée de recherches

DOCTORAT – POST-DOCTORAT



Laetitia Hédouin

LES MOTIVATIONS

Passionnée par le milieu marin, aimant les sciences, j'ai longtemps cherché le métier de mes rêves, et mon parcours universitaire le reflète. Néanmoins, le milieu des récifs coralliens m'attirait et plus particulièrement le corail. Alors, j'ai essayé de réunir toutes les chances de mon côté pour travailler sur cet organisme unique. À force de persévérance, beaucoup de travail, de longues études et énormément de passion, j'ai réussi à décrocher un poste dans la recherche. Aujourd'hui, je n'ai aucun regret et je peux faire le métier que j'aime.

LE CURSUS

Juste après mon baccalauréat, j'ai intégré la faculté de sciences de Toulouse en sciences physiques. Cependant, peu conquise après 3 années, je me suis orientée vers un L3 et M1 de chimie organique à l'université de Montpellier. Malheureusement, le stage pratique de M1 ne m'a pas séduite et plutôt déçue. Après 4 ans d'études en sciences, j'avais besoin de trouver un domaine scientifique dans lequel m'épanouir pour mon avenir. Au terme de nombreuses recherches, je me suis inscrite à un master de chimie de l'environnement à Brest, qui a totalement changé ma vision du monde scientifique. J'ai découvert un monde tourné vers le questionnement et le fonctionnement de l'environnement qui correspondait à mes attentes.

À la suite de ce M2, j'ai eu la chance d'obtenir une bourse de thèse pour travailler sur le développement d'indicateurs biologiques de la contamination minière du lagon de Nouvelle-Calédonie, en partenariat avec l'université de la Rochelle, l'IRD et l'AIEA. J'ai rejoint après ma thèse le laboratoire du Dr RD Gates, une éminente scientifique spécialiste des coraux, où j'ai pu étudier la reproduction des coraux et les effets des contaminations terrigènes sur les coraux. En 2011, j'ai obtenu un poste de chercheur au sein du CRILOBE.

LES MISSIONS DU POSTE

Mon poste est majoritairement destiné à de la recherche fondamentale et appliquée sur les récifs coralliens. Je me suis spécialisée sur le corail et les effets des stress sur son cycle de vie. Pour cela, je développe des programmes de recherche sur cette thématique qui me tient à cœur et je participe à la formation des jeunes étudiants qui veulent découvrir le monde de la recherche. Aujourd'hui, je m'implique

Laetitia Hédouin
en immersion



de plus en plus dans des actions de communication vers la société civile.

ATOUTS ET CONTRAINTES

Le métier de chercheur est passionnant car on a la possibilité d'évoluer sans cesse, et d'explorer de nouveaux horizons, *via* le développement de nouveaux projets, de nouvelles collaborations (personnes, laboratoires, associations), de nouvelles zones coralliennes à explorer et à comprendre et de nouvelles techniques.

C'est un métier très diversifié, car, en plus de faire de la recherche au sens strict (réaliser des expériences scientifiques en laboratoires et/ou sur le terrain), être chercheur c'est aussi trouver les financements pour réaliser ses projets, c'est gérer des budgets et des personnes, c'est présenter ses travaux dans des conférences pour discuter avec ses confrères des derniers résultats, c'est sensibiliser la société civile et les enfants à la beauté des récifs coralliens pour mieux les préserver, c'est former les jeunes étudiants en les encadrant durant leurs stages ou en donnant des cours.

Chercheur c'est un métier de passion, car c'est un métier « envahissant »... Les journées sont souvent longues, mais quand on aime on ne compte pas ! Par contre, aujourd'hui, la route est longue et difficile pour devenir chercheur. Après 8 années d'études doctorales, plusieurs années post-doctorales, de nombreux jeunes chercheurs ne décrochent pas de poste. Après autant d'années de spécialisation, la reconversion est parfois difficile. Alors, il faut bien réfléchir avant de s'engager dans le domaine de la recherche et s'assurer de ses motivations pour arriver jusqu'au bout.

CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS

Alors que j'étais étudiante et que je ne savais pas trop ce que me réservait mon avenir professionnel, une chercheuse m'a dit un jour « il faut croire en ses rêves et aller jusqu'au bout ». Aujourd'hui, j'ai le métier de mes rêves, et ce n'est pas juste un métier, c'est ma vie, ma passion. À vous de trouver le vôtre !

Journaliste magazine

DUT - L3



Alexie Valois

LES MOTIVATIONS

Depuis 1990, je suis journaliste de l'écrit et de l'image. J'ai choisi ce métier à la fin du collège. Ma curiosité pour ce qui passe sur notre planète et comment les humains vivent ne s'est jamais tarie. Je vis le reportage comme une chance de découvrir et de faire découvrir, de témoigner avec l'optimisme d'une humanité créative.

CURSUS

- **Diplôme :** DUT - École publique de journalisme de Tours
- **Carte de Presse depuis 1995**
- **Langues lues et parlées :** Anglais, Espagnol
- **Formations continues :** Écrire Plurimédia, Podcast Vidéo, Podcast Audio, Final Cut Pro, Enrichir son style, L'art du portrait, Scaphandrier Classe IB.

LES MISSIONS DU POSTE



J'ai une grande liberté dans mon travail, et mes sujets d'inspiration sont inépuisables. »

Après mes études de journalisme, j'ai participé à la création du magazine Terre d'Afrique. Puis, pendant douze ans, au sein de la rédaction de l'agence photo Gamma, j'ai produit des reportages internationaux en tandem avec des photographes. Atypiques et souvent exclusifs, ils étaient publiés dans la presse magazine française et étrangère. Je suis devenue journaliste indépendante en 2007. Je travaille avec des magazines nationaux et des photographes professionnels, en France et à l'étranger, en proposant des sujets écrits, photographiés et filmés pour le web. À travers mes articles et vidéos éditoriales, je traite des questions de société, environnement, solidarité, innovation technologique, culture, tourisme, loisirs, économie, etc.

UN MOT SUR L'EXPOSITION RÉCIFS CORALLIENS, UN ENJEU POUR L'HUMANITÉ

Les six reportages de « Récifs coralliens, un enjeu pour l'humanité » ont été publiés dans de nombreux magazines imprimés et online. Et, à l'occasion de « 2018 Année Internationale pour les Récifs Coralliens », photos grand format, textes et vidéos ont été exposés en 2018 à Paris sur les grilles du siège de l'UNESCO, à Paris-Gare de Lyon, et au Montier Photo Festival.



Un récif en mer Rouge filmé par Alexie Valois

Cette production a été coréalisée avec le photojournaliste Alexis Rosenfeld, à la suite de l'épisode de blanchissement massif du printemps 2016. Nous avons souhaité attirer l'attention d'un maximum de personnes sur l'importance des enjeux environnementaux, sociaux et économiques liés au déclin des récifs coralliens. Nous voulions également montrer la beauté de ce monde animal mystérieux et les grandioses « paysages coralliens », à ceux qui n'ont pas l'occasion de les contempler par eux-mêmes.

ATOUTS ET CONTRAINTES

Je rencontre aussi bien des chefs d'entreprise, que des artistes, des scientifiques, des personnes reconnues ou non. Je ne m'ennuie jamais, mais je dois être très disponible, flexible, peu exigeante quant à ma rémunération, et accepter un statut précaire. En contrepartie, j'ai une grande liberté et mes sujets d'inspiration sont inépuisables. Il est capital que ce métier, qui permet de relater et réfléchir le monde, continue d'être perpétué par de nouvelles générations de journalistes. De nombreuses écoles forment des étudiants. S'ils sont pertinents, et apportent d'eux-mêmes à notre métier, ils y trouvent leur place.

Photojournaliste

DUT - L3



Alexis Rosenfeld

ALEXIS ROSENFELD
PHOTOGRAPHIE & EXPÉDITIONS



Vivre des moments uniques

LES MOTIVATIONS

Mon métier est la suite et la concrétisation d'une passion d'enfant. Il provient de l'intérêt suscité par des émissions devenues cultes comme « Caméra au poing » de Christian Zuber ou les explorations mythiques du Commandant Cousteau à bord de la Calypso, mais aussi Tazief, Paul Emile Victor. Ces explorateurs, véritables

réacteurs de rêves, ont réussi à éveiller en moi et dès mon plus jeune âge, une soif de connaissance, le goût de l'aventure, un besoin de rencontres et d'émerveillements. Cette sensibilisation précoce pour le milieu marin a été, et reste encore aujourd'hui, l'essence même de ma motivation pour toujours entreprendre de nouveaux projets.



Je vois
ma profession
comme une
porte ouverte
vers l'aventure. »

CURSUS

Après avoir obtenu mon diplôme de Moniteur de plongée à 17 ans, j'ai ensuite passé les qualifications de plongée professionnelle, le Classe IIA puis le Classe IIIB. Ces nouvelles qualifications me permettaient de ne plus avoir de limites de profondeur et autorisaient des interventions beaucoup plus importantes. Il m'était ainsi devenu possible de répondre à un large éventail de missions. Plus tard, avec l'évolution des technologies j'ai pu utiliser d'autres techniques de plongée comme l'usage du recycleur certes plus poussé, mais qui offre de plus grandes possibilités d'interventions.

LES MISSIONS DU POSTE

Je suis aujourd'hui reconnu comme photojournaliste et le seul scaphandrier bénéficiant d'une carte de presse. Mon activité se concentre essentiellement

sur la presse nationale et internationale. Ce métier m'apporte de belles satisfactions, des moments inoubliables, comme par exemple le seul photographe embarqué de la dernière mission du commandant Cousteau à Madagascar ou encore le photographe attiré pendant plusieurs années de la COMEX à Marseille. Cette année, les grilles de l'UNESCO à Paris ont accueilli ma nouvelle exposition, « Récifs coralliens, un enjeu pour l'humanité ». En réalisant cette exposition avec Alexie Valois, nous avons fait le choix de valoriser un thème important et qui concerne chacun de nous. Même si j'étais conscient, au début du projet, de l'importance de protéger les récifs, mon regard a complètement évolué au fil de cette création. Je me sens aujourd'hui beaucoup plus concerné par ce sujet et j'espère faire ressentir, à travers les photographies et les textes, l'importance et l'urgence pour la planète et pour nous les hommes, de protéger ce milieu réellement incroyable et indispensable.

ATOUTS ET CONTRAINTES

Ce métier est pour moi une chance, je me sens privilégié de pouvoir assouvir ma passion et de vivre des moments uniques et accessibles à peu de personnes. Je vois ma profession comme une porte ouverte vers l'aventure, l'opportunité de pouvoir réaliser mes rêves. C'est un métier où la créativité peut être pleinement valorisée. Cependant, il faut bien considérer que la plongée est une activité très physique et qui demande un véritable engagement. Une négligence, un oubli peuvent provoquer un incident ou des complications. Les périodes de préparation avant une plongée prennent beaucoup de temps pour finalement des délais d'immersion très réduits. Par exemple, une plongée à 100 m de profondeur ne durera que 15 min, ce qui est très court quand on considère toutes les heures de préparation. Si aujourd'hui je suis reconnu pour mon travail, en revanche le succès ne vient pas tout de suite, c'est beaucoup d'investissements pour arriver à se faire connaître. Rien n'est jamais acquis, il faut accepter de se remettre en question régulièrement. Il faut être attentif aux autres, aux collègues, à l'entreprise. Ce métier nécessite d'être tourné vers le monde qui nous entoure.

CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS

Les jeunes... soyez audacieux, ayez confiance en vous et en vos projets !

Plongeur naturaliste MASTER



Laurent Ballesta



ATOUTS ET CONTRAINTES

De mes 12 années passées aux côtés de Nicolas Hulot en tant que conseiller scientifique, pour le prime time Ushuaïa, à la réalisation de ma mission en eau profonde en Méditerranée durant cet été 2019, 20 ans se seront écoulés. Toutes ces

LES MOTIVATIONS

C'est dans mon éducation à la mer que mon métier trouve ses racines. J'ai été amené dès mon plus jeune âge sur les plages héraultaises par mes parents, plagistes confirmés. Porté par mes explorations esseulées mais enthousiastes, Carnon et Palavas m'ont vu grandir et croître en moi tout un apprentissage au milieu marin. À 6 ans, je barbotais dans 45 cm d'eau et à 7 ans, avec mon nouveau masque de plongée, je bravais les interdits. Là où d'ordinaire, le crabe ou la méduse éveillaient les craintes, je m'exaltais d'observation en découverte, d'expérience en prouesse. « Si j'avais été le fils de Cousteau, ça m'aurait aidé ... », mais en réponse à ma pensée d'ado, c'est finalement un apprentissage fait de gestes simples, d'efforts naturels, d'habitudes, qui me permet aujourd'hui d'exercer cette profession.

MON MÉTIER

D'avantage sensible à l'art et à la littérature, j'ai cependant intégré l'université des sciences en me projetant sur les émissions de Cousteau pour suivre le sillage des biologistes de la Calypso. Mais ces pionniers de l'image sous-marine m'ont trompé. Leur approche tellement accessible au grand public et si artistique se révélait finalement éloignée de la démarche universitaire. Titulaire d'un master en biologie marine, ma profession de photographe naturaliste requiert des qualités de plongeur, de biologiste et de photographe. Mon métier est à la croisée de plusieurs disciplines mais pas seulement, il est façonné par une démarche naturaliste. Derrière ce mot se conjuguent trois notions : être biologiste de terrain, c'est-à-dire participer à des missions, à des expéditions scientifiques ; mais c'est aussi être illustrateur en rapportant des images fidèles, des témoignages précis d'organismes observés dans leur milieu naturel et enfin, au-delà de l'artistique, c'est aussi réussir à provoquer une réflexion, susciter des émotions, transmettre un message.

années représentent des défis techniques inédits au service d'espèces et d'écosystèmes mal connus voire même complètement ignorés. Mes photographies du coelacanthé par 120 m de fond en Afrique du Sud ou mes plongées polaires de plus de 5h à -1,8°C pour le documentaire *Antarctica, sur les traces de l'Empereur* n'ont pu se concrétiser que grâce à mes très nombreuses plongées en dessous de 40 m, réalisées sur la côte méditerranéenne. Encore une fois, la Méditerranée m'a permis d'apprendre, de m'exercer, de cumuler un savoir-faire indispensable pour la bonne réalisation de mes futures missions plus conséquentes. Mes missions d'explorations et mes missions scientifiques sont valorisées dans la presse nationale et internationale mais aussi avec la diffusion de plusieurs documentaires pour Arte et National Geographic, la réalisation de 9 films, d'expositions. C'est également la publication de 13 ouvrages dont mes dernières productions *Adélie*, *Terre et Mer* et *700 requins dans la nuit*. J'exerce plus qu'un métier, c'est une véritable passion et qui requiert un total engagement. Le sacrifice de ma vie personnelle demeure l'aspect le plus difficile de ma profession. Il ne faut pas compter ses heures et derrière l'image de la réussite, c'est toujours beaucoup d'investissement, de concessions et bien souvent, jamais dans la facilité.

CONSEILS ET ENCOURAGEMENTS

Si les images du coelacanthé, la mission en Antarctique, les plongées de 24h, ont pu être réalisées c'est parce que la technique a permis cette exploration. Les technologies évoluent très rapidement. À chaque génération, un nouveau champ d'exploration apparaît et laisse présager de belles découvertes pour les prochaines années. Les jeunes, je vous encourage à croire en vos rêves mais ne laissez pas la place aux illusions. Il faudra beaucoup de travail, des sacrifices pour réussir vos projets. Les plus beaux combats sont ceux que l'on croit perdus d'avance, alors croyez en vous et battez-vous pour votre futur !

Ateliers

PARTIE 4

Cette dernière partie apporte une contribution à l'acquisition des connaissances en accord avec les programmes pédagogiques. Avec la volonté d'une approche pluridisciplinaire, ces ateliers abordent différentes thématiques et sont facilement réalisables en cours, sur écran-tablette ou sur supports imprimés. Les démarches et les contenus ont été au préalable validés par les conseillères-relais de l'Éducation Nationale.

Atelier 1

Histoire d'une connaissance scientifique, l'origine du corail

Atelier 2

Émettre une hypothèse

Atelier 3

Adaptation des organismes à leur milieu, les formes coralliennes

Atelier 4

Spécificité, de la cellule à l'organe

Atelier 5

Organisation structurale, la symétrie en 3D

Atelier 6

Relation symbiotique, importance des zooxanthelles

Atelier 7

Le réseau trophique, un équilibre fragile

Atelier 8

Causes et conséquences, visualisation de la pensée

Atelier 9

Actions!

Histoire d'une connaissance scientifique, l'origine du corail

 NIVEAU : CYCLE 4

 DURÉE : 2 HEURES

 DISCIPLINE : SVT, PC, FRANÇAIS, HISTOIRE, ANGLAIS

 TRAVAIL : INDIVIDUEL OU BINÔME

Compétences travaillées

- Extraire le vocabulaire employé au XVIII^e siècle pour décrire une observation scientifique.
- Identifier la démarche expérimentale utilisée pour parvenir à l'hypothèse sur l'origine animale du corail.
- Se projeter dans un travail descriptif pour une retranscription fidèle et pérenne des faits observés.

Problématiques abordées

Le corail est-il un animal ou un végétal ? Quels fondements permettent d'étayer l'hypothèse ?

Références aux programmes

- Analyser un document écrit et extraire les données les plus pertinentes pour répondre à la problématique.
- Synthétiser l'information pour formuler une réponse concise.
- Interpréter et exploiter ce travail de synthèse.

Ressources utilisées

- Fiche ressource 1-A : *Traité du corail*, Peyssonnel, - J. -A. (1744).
- Fiche ressource 1-B : *Tubastraea coccinea*, de Paula, A. F., & Creed, J. C. (2004).

Modalités

Faire réaliser par les élèves une analyse de document puis une mise en situation.

ÉTAPE 1 — EXTRAIRE LES INFORMATIONS

Dans le *Traité du corail* rédigé en 1744, Jean-André Peyssonnel relate ses observations sur le corail rouge de Méditerranée qui le conduisent à classer le corail dans le règne animal. L'avancée des connaissances a permis de classer ensuite le corail rouge parmi les Octocoralliaires (Classification des Cnidaires - p.13). Cette espèce n'appartient pas à l'ordre des Scléractiniaires, elle n'est donc pas un corail constructeur de récifs.

Dans le texte de la **Fiche ressource 1-A**, distinguez le vocabulaire appartenant aux végétaux de celui se rapportant aux animaux. Relevez également le vocabulaire décrivant l'organisme.

Exemple :

Végétaux	Animaux	Vocabulaire organisme
Fleurir	Insecte	Pattes
Vases	Baveux	Pieds
Fleur	Vermiculaire	Organes
Plante	Pattes	Glandules
Ortie	Pieds	Sang
Épanouir	Lait	Suc
Branches		Intestin
Écorce		Corps
Lait		Glandes sébacées

ÉTAPE 2 — INTERPRÉTER ET RESTITUER L'INFORMATION

J. -A. Peyssonnel a réalisé avec ce texte un travail de description très précis de ses observations. L'objectif de l'auteur était de diffuser le plus fidèlement possible les connaissances acquises. En vous appuyant sur cet extrait, réalisez un schéma scientifique d'une branche de corail telle que décrite en 1744. Pensez à utiliser un crayon à papier et à légender correctement votre dessin (écriture horizontale et à côté des tracés, titre, etc).

ÉTAPE 3 — ET AUJOURD'HUI, QUELLES DIFFÉRENCES ?

En vous appuyant sur la **Fiche ressource 1-B**, identifiez les différences de description entre le texte de J. -A. Peyssonnel et celui extrait de la publication scientifique de A. F. Paula et J. C. Creed. Des schémas sont disponibles en **Fiche ressource 6-A**. 260 ans séparent ces deux textes. Que pouvez-vous retenir ?

Donnez aux élèves un matériel biologique (coquille de mollusque, carapace de crustacé, éponge, etc) et demandez-leur de rédiger une description la plus précise possible à la manière de l'approche naturaliste de J.-A. Peyssonnel puis selon la description scientifique de A. F. Paula & J. C. Creed. Les élèves devront ensuite réaliser une restitution orale sans montrer l'objet et tenter d'être compris de tous.

Je fis fleurir le corail dans des vases pleins d'eau de la mer, et j'observai que ce que nous croyions être la fleur de cette prétendue plante n'était, au vrai, qu'un insecte semblable à une petite ortie ou poulpe.

Cet insecte s'épanouit dans l'eau et se ferme à l'air, ou lorsque je versais des liqueurs acides, ou que je le touchais avec la main. Cela est ordinaire aux poissons et aux insectes lestacés d'une matière baveuse et vermiculaire. J'avais le plaisir de voir remuer les pattes ou pieds de cette ortie, et ayant mis le vase plein d'eau, où le corail était, à une douce chaleur, auprès du feu, tous ces petits insectes s'épanouirent; je poussai le feu et fis bouillir l'eau, et je les conservai épanouis hors du corail... Réitérant sur d'autres branches mes observations, je vis clairement que les petits trous qu'on aperçoit sur l'écorce du corail sont les issues par où les orties sortent; ces trous répondent à ces petites cavités ou cellules qui sont partie dans l'écorce, et partie tracées dans la substance propre du corail. Ces cavités sont les niches ou le séjour des orties corallines; les tuyaux que j'avais aperçus sont les sacs où sont contenus les organes de l'animal; les glandules sont les extrémités des pieds, et le tout contient réellement la liqueur ou le lait du corail, qui est le sang ou le suc de l'animal. Lorsque je pressais avec les ongles ces petites élévations, je faisais sortir les intestins et tout le corps de l'ortie, qui confus et mêlés ensemble, ressemblaient au suc épaissi qui sort des glandes sébacées de la peau. Je vis que l'animal,

lorsqu'il veut sortir de sa niche, force le sphincter qu'il trouve à son entrée, rend alors celle entrée rayonnée et semblable à une étoile ayant des raies blanches, jaunes et rouges; lorsque cela arrive, les tubules s'enflent et l'ortie sort en dehors avant de se développer; les pieds et le corps de l'animal forment le corps blanc que M. de Marsigli observa; l'ortie sortie étend ses pieds et forme ce que M. de Marsigli et moi avions pris pour les pétales de la fleur du corail; le calice de celle prétendue fleur est le corps même de l'animal avancé et sorti hors de la cellule. Le lait du corail est le sang ou le suc naturel de tous les insectes placés le long du corail; ils n'ont pas le sang rouge, mais blanc, de même que tous les autres poissons de même nature... L'expérience fait voir que l'écorce où est le gîte de ces orties est absolument nécessaire à la croissance du corail, et que, dès qu'elle manque, le corail cesse de croître et d'augmenter.»

« La nature du corail est, d'ailleurs, semblable à celle des coquilles, qui, par la force du feu, se réduisent en chaux et ont la propriété d'être dissoutes par les acides... Tous les principes chimiques qu'il donne sont semblables à ceux qu'on obtient du crâne humain, de la corne de cerf et des autres parties des animaux... Le corail fortement chauffé répandit une odeur très désagréable, approchant de celle de la corne brûlée... Le feu lui fit perdre sa couleur rouge naturelle; il devint d'un gris-brun et bien moins dur qu'auparavant... Je reconnus qu'on retirait du corail les principes ordinaires qu'on tire des parties des animaux. »

Description. — Colonies roughly spherical with coenosarc orange-red in color. Corallum white; plocoid or cerioid; porous. Corallum up to 105 mm in diameter; firmly attached to substratum due to large base. Corallites small; slightly spaced; projecting 2–13 mm above coenosteum on average. Calices usually circular, sometimes elliptical; 7.2–15 mm diameter; calicular edges often directly adjacent to one another. Columella spongy; up to 4.6 mm in diameter, composed of a mass of slender trabeculae.

PAULA, A. F., & CREED, J. C. (2004). TWO SPECIES OF THE CORAL *TUBASTRAEA* (CNIDARIA, SCLERACTINIA) IN BRAZIL: A CASE OF ACCIDENTAL INTRODUCTION. *BULLETIN OF MARINE SCIENCE*, 74(1), 175-183.

Description. — Colonies grossièrement sphériques avec un coenosarque rouge-orangé. Squelette blanc, plocioïde ou cérioïde, poreux. Section du squelette supérieure à 105 mm de diamètre, solidement attachée au substrat grâce à une large base. Les corallites sont petits, légèrement espacés, dépassant en moyenne de 2 à 13 mm au dessus du coenosteum. Les calices sont habituellement circulaires, parfois elliptiques de 7,2 à 15 mm de diamètre, avec des bords caliculaires souvent adjacents les uns aux autres. Mesurant plus de 4,6 mm de diamètre, la columelle est spongieuse, composée d'une masse de fine trabécules.

PAULA, A. F., & CREED, J. C. (2004). DEUX ESPÈCES CORALLIENNES DU GENRE *TUBASTRAEA* (CNIDARIA, SCLERACTINIA) AU BRÉSIL : UN CAS D'INTRODUCTION ACCIDENTELLE. *BULLETIN OF MARINE SCIENCE*, 74(1), 175-183.

Émettre une hypothèse

 NIVEAU : CYCLE 3 – CYCLE 4

 DISCIPLINE : SVT, FRANÇAIS, HISTOIRE

 DURÉE : 2 HEURES

 TRAVAIL : INDIVIDUEL OU BINÔME

Compétences travaillées

- Extraire les informations les plus importantes.
- Se projeter dans l'Histoire.
- Initier nos propres observations, susciter la curiosité.
- Confronter nos hypothèses, être capable de retranscrire oralement nos suppositions.
- Accepter nos erreurs pour mieux apprendre.

Problématiques abordées

- L'élaboration d'une connaissance scientifique à travers la découverte de l'origine du corail.
- La classification des êtres vivants.

Références aux programmes

- Analyser un document écrit et extraire les données les plus pertinentes pour répondre à la problématique.
- Synthétiser les informations pour formuler une réponse concise.
- Interpréter et exploiter ce travail de synthèse.
- Confronter ses observations.
- Démarche d'investigation.

Ressources utilisées

- p. 8-9 Une histoire scientifique

Modalités

- Faire réaliser par les élèves une analyse de document puis appliquer la démarche à de nouveaux exemples.

ÉTAPE 1 — EXTRAIRE LES INFORMATIONS

En vous aidant des citations en p. 8-9 (*Une histoire scientifique*), indiquez pour chacun des auteurs à quelle origine (minérale, végétale ou animale) a été assimilé le corail. Relevez également les années ou les périodes de ces citations.

ÉTAPE 2 — RESTITUER LES INFORMATIONS

Reportez sur une frise chronologique les observations des différents naturalistes :

- la période / année de la citation et son auteur
- l'origine supposée du corail
- un dessin synthétisant les descriptions

ÉTAPE 3 — APPRENDRE DE CETTE DÉMARCHE

Donnez aux élèves plusieurs exosquelettes (coquille de bigorneau, coquille de bulot, coquille de moule, coquille d'huître, exosquelette d'étrille, exosquelette de crabe vert, test d'oursin, squelette corallien, etc) ou endosquelettes (os de seiche, plume de calamar, etc). À défaut de matériels biologiques, des images pourront être utilisées.

À partir de ces objets, demandez aux élèves de les décrire (forme, dimensions, poids, consistance, coloration, etc). Proposez éventuellement à quelques élèves de restituer oralement leur description afin de s'assurer de la fidélité de leurs observations.

En s'appuyant sur leurs descriptions, demandez aux élèves de classer les squelettes en fonction de leurs caractères communs. Après leur avoir lu la *Lettre de M. de Rome Delisle sur les Polypes d'eau douce* en p. 9, demandez aux élèves de justifier à l'oral leur proposition de classification. Ils devront confronter leur point de vue sur la base de leurs observations.

Adaptation des organismes à leur milieu, les formes coralliennes

NIVEAU : CYCLE 4, LYCÉE

DISCIPLINE : SVT, FRANÇAIS, HISTOIRE

DURÉE : 2 HEURES

TRAVAIL : INDIVIDUEL OU BINÔME

Compétences travaillées

- S'interroger, expérimenter, interpréter, confronter les résultats pour répondre à une question scientifique.
- Retranscrire les données sur une représentation schématique.

Problématiques abordées

Stratégies de développement des organismes dans leur milieu : comment les espèces coralliennes s'adaptent en fonction de la courantologie ?
Valoriser la diversité des espèces.

Références aux programmes

- Réaliser une démarche d'investigation pour tester une hypothèse.

- Synthétiser les informations pour formuler une réponse concise.

- Réaliser un modèle à partir des hypothèses.

Ressources utilisées

- Sèche-cheveux, scotch, papier dessin.
- Fiche ressource 2-A : Formes coralliennes.

- Fiche ressource 2-B : Profil d'un lagon.

Modalités

Faire réaliser aux élèves une démarche d'investigation requérant une expérimentation puis une restitution écrite.

ÉTAPE 1 — FORMULER UNE HYPOTHÈSE

Différentes formes coralliennes sont symbolisées sur la p. 11 (*Un espace, des espèces*). Certaines espèces sont dites polymorphes, c'est-à-dire qu'elles ont la capacité de se développer sous des formes très diverses (branchues avec de fines sections, branchues avec des sections massives, en plateau, etc.). Les élèves devront formuler une hypothèse expliquant ce polymorphisme. Ils tenteront d'y répondre en développant une démarche expérimentale (étapes 2 et 3).

ÉTAPE 2 — TESTER ET DÉDUIRE DES INFORMATIONS

Pour cet atelier, les élèves pourront utiliser du carton à dessin avec un grammage suffisamment important pour un meilleur résultat. En s'aidant de la **Fiche ressource 2-A**, il devront réaliser les profils suivants :



Branchu



Massif (boule)



Encroûtant (feuille à plat)



Foliacé



Plateau



Cône

Scotez la base des profils sur un support stable (table, etc.). Pour chacun d'eux :

- positionnez un sèche-cheveux à 20 cm
- placez le profil perpendiculairement puis parallèlement au sèche-cheveux
- déduisez la forme la plus adaptée pour résister au flux (courant).

ÉTAPE 3 — EXPLOITER LES INFORMATIONS

Reportez-vous sur le profil schématisé de la **Fiche ressource 2-B**. En vous aidant de l'Étape 2 et, selon le niveau des élèves, en vous appuyant sur le schéma *Profil d'un lagon* p.11 :

- symbolisez les espaces du lagon en fonction de leur exposition aux courants (++ / + / - / --)
- figurez la répartition des 6 profils en fonction de leur résistance au courant
- concluez cette étape en résumant l'importance du courant pour la colonie corallienne (renouvellement en dioxygène dissous, apport de nourriture, évacuation des déchets/sédiments, transport des cellules reproductrices, etc)

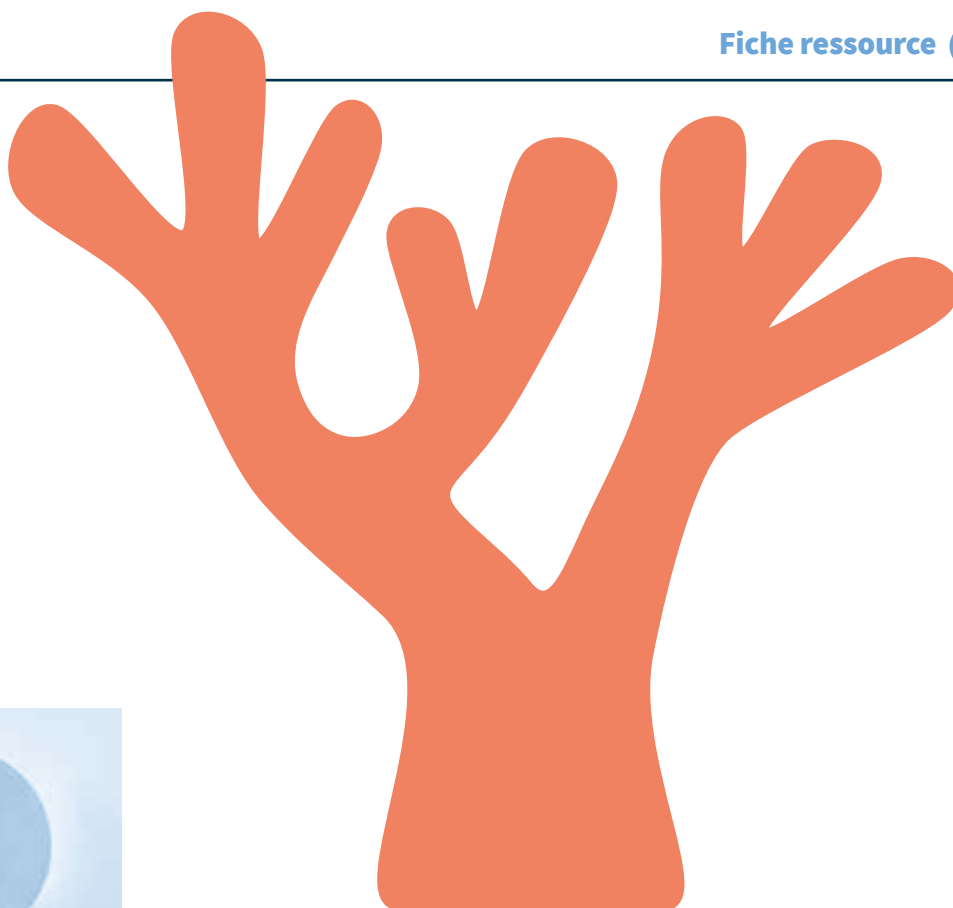
NB : Si le courant peut expliquer la forme des coraux, l'accès à la lumière peut être aussi influant. Prolongez cet exercice en invitant les élèves à réfléchir sur l'intérêt des formes coralliennes en fonction d'autres paramètres tels que la disponibilité lumineuse, la sédimentation, etc.

ÉTAPE 4 — APPRENDRE DE CETTE DÉMARCHE

Projetez cette démarche expérimentale vers d'autres exemples :

- la taille et la forme des arbres exposés au vent en bord de mer,
- les ceintures végétales en montagne (arbres feuillus et/ou conifères),
- les différences de végétation entre des milieux arides et humides, etc.

PROFIL BRANCHU



PROFIL FOLIACÉ



1



2

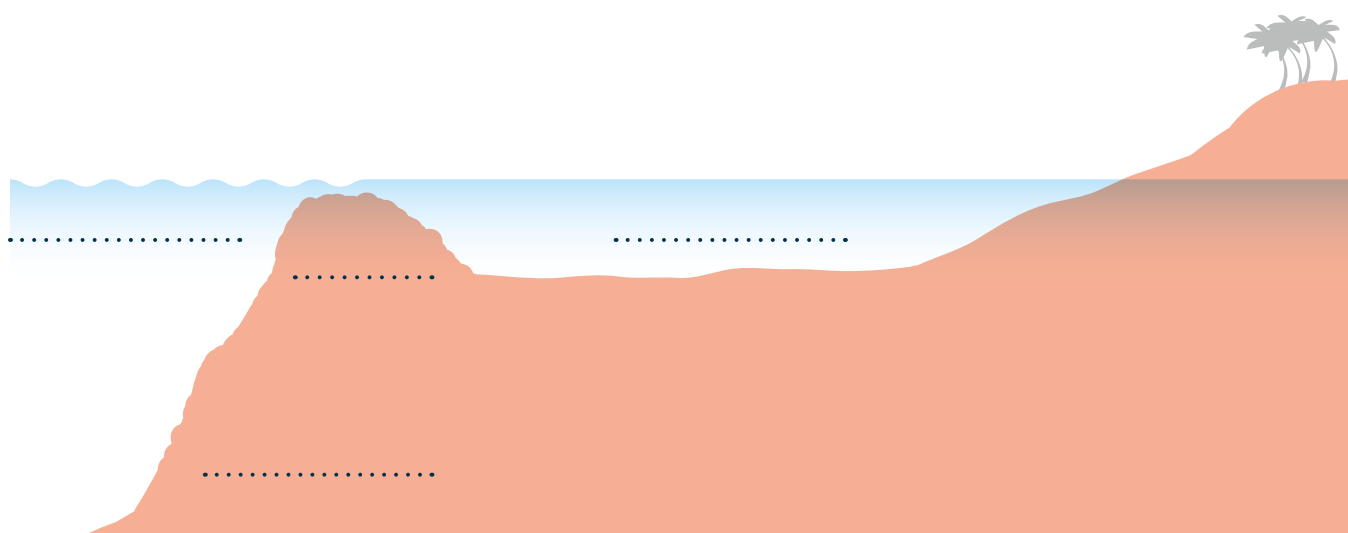


3



4

PROFIL D'UN LAGON



Spécificité, de la cellule à l'organe

NIVEAU : LYCÉE

DISCIPLINE : SVT, ARTS PLASTIQUES

DURÉE : 2 HEURES

TRAVAIL : INDIVIDUEL OU BINÔME

Compétences travaillées

- Identifier des cellules animales d'organismes marins.
- Comparer le matériel biologique.
- Élaborer des hypothèses sur la base de ses observations et de ses connaissances.

Problématiques abordées

L'organisation tissulaire d'organismes pluricellulaires. Diversité et spécificité cellulaire.

Spécificité fonctionnelle d'un organe.

Classification et biodiversité.

Références aux programmes

- Analyser des images obtenues par microscopie optique.
- Identifier les données et confronter les résultats. Valoriser ce travail exploratoire.

- Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes.

Ressources utilisées

- Fiche ressource 3-A : Images en microscopie optique de coupes histologiques.
- Fiche ressource 3-B : Planche d'identification des types cellulaires.
- Fiche ressource 4-A : Images en microscopie optique de coupes

histologiques inconnues.

- Fiche ressource 4-B : Images en microscopie optique de coupes de polype.

Modalités

Faire réaliser aux élèves une analyse de supports.

Démarche d'investigation : répondre à une problématique en posant une hypothèse.

Valoriser les connaissances acquises.

ÉTAPE 1 — ANALYSER DES ÉCHANTILLONS

La **Fiche ressource 3-A** présente des coupes histologiques d'organismes marins. En s'appuyant sur les photographies de coupes histologiques réalisées par Myriam Collin de l'IRD de Montpellier, les élèves pourront apprécier la diversité cellulaire de ces animaux. Les élèves s'aideront de la grille d'identification de la **Fiche ressource 3-B** pour identifier les différents types cellulaires. D'après leurs observations, ils légendront ensuite les cellules pour chacun des organismes étudiés.

ÉTAPE 2 — INTERPRÉTER LES INFORMATIONS

En s'appuyant sur l'Étape 1, les élèves devront trouver le type cellulaire commun aux coraux et aux méduses (les cnidocytes). En vous aidant de la p. 12 (*Fixes ou mobiles, les Cnidaires*), présentez la classification des Cnidaires en insistant sur les caractéristiques communes mais aussi les différences.

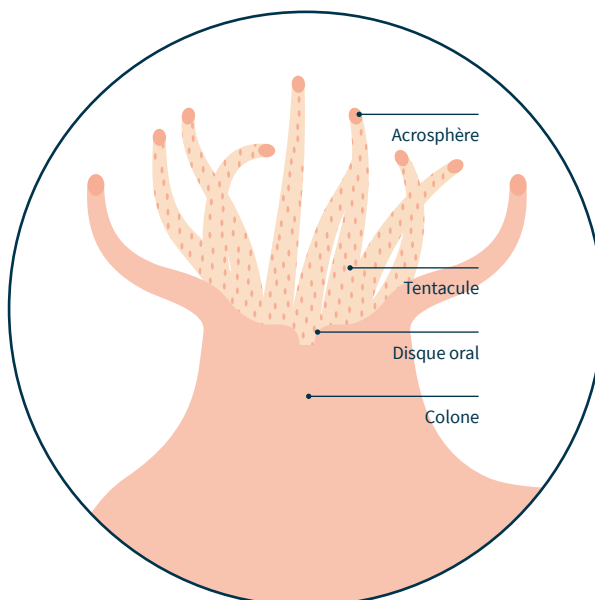
À l'issue de ce travail, les élèves devront être capables de distinguer la présence des cnidocytes. Soumettez aux élèves les planches histologiques d'organismes marins inconnus de la **Fiche ressource 4-A** et demandez leur d'identifier en fonction des coupes l'appartenance ou non à l'embranchement des Cnidaires.

ÉTAPE 3 — APPROFONDIR SES CONNAISSANCES

En utilisant la **Fiche ressource 4-B**, demandez aux élèves d'observer les coupes histologiques provenant de différentes parties du polype (schéma ci-dessous) :

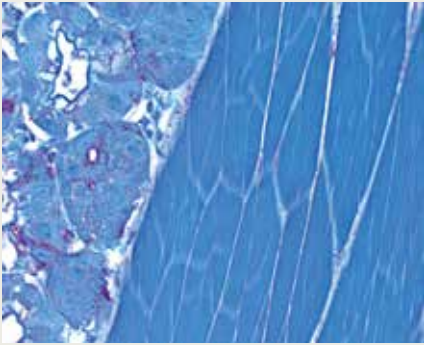
- extrémité du tentacule (acrosphère)
- morceau de tentacule
- morceau de disque oral
- morceau de colonne

Qu'observent-ils ? Comment peuvent-ils expliquer les différences d'abondance en cnidocytes entre les parties du polype ? Quels peuvent être les rôles des cnidocytes ?

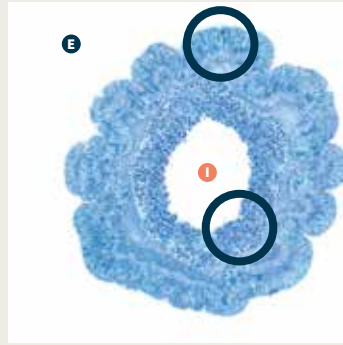
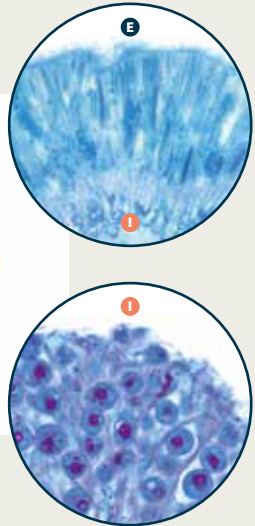


I Intérieur E Extérieur

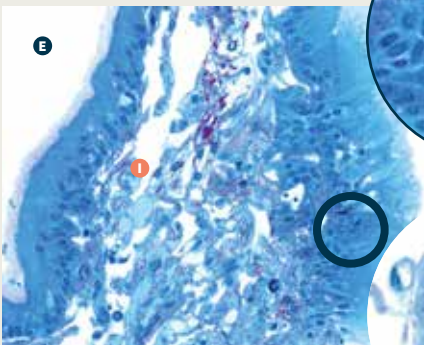
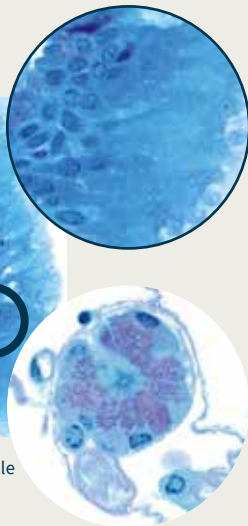
40 µm

Coupe longitudinale d'un abdomen de *Palaemon elegans*

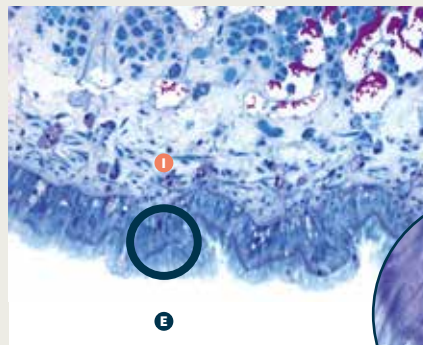
160 µm

Coupe transversale d'un tentacule d'*Anemonia viridis*

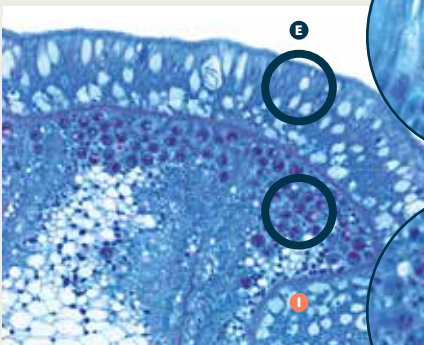
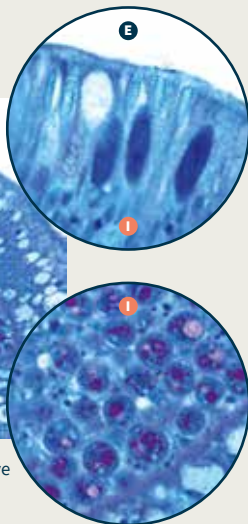
40 µm

Coupe longitudinale d'une pince de *Maenas carcinus*Coupe transversale d'une glande tégumentaire de *Cancer pagurus*

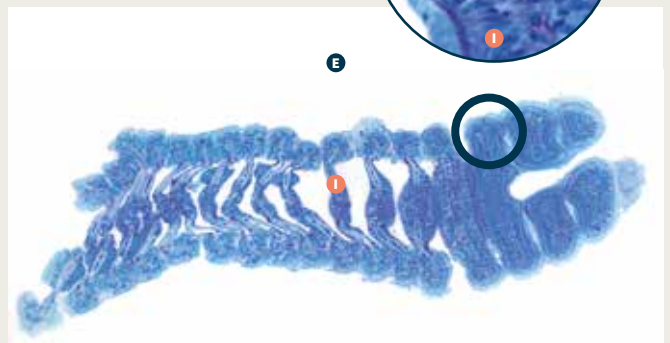
40 µm

Coupe transversale du manteau de *Mytilus edulis*

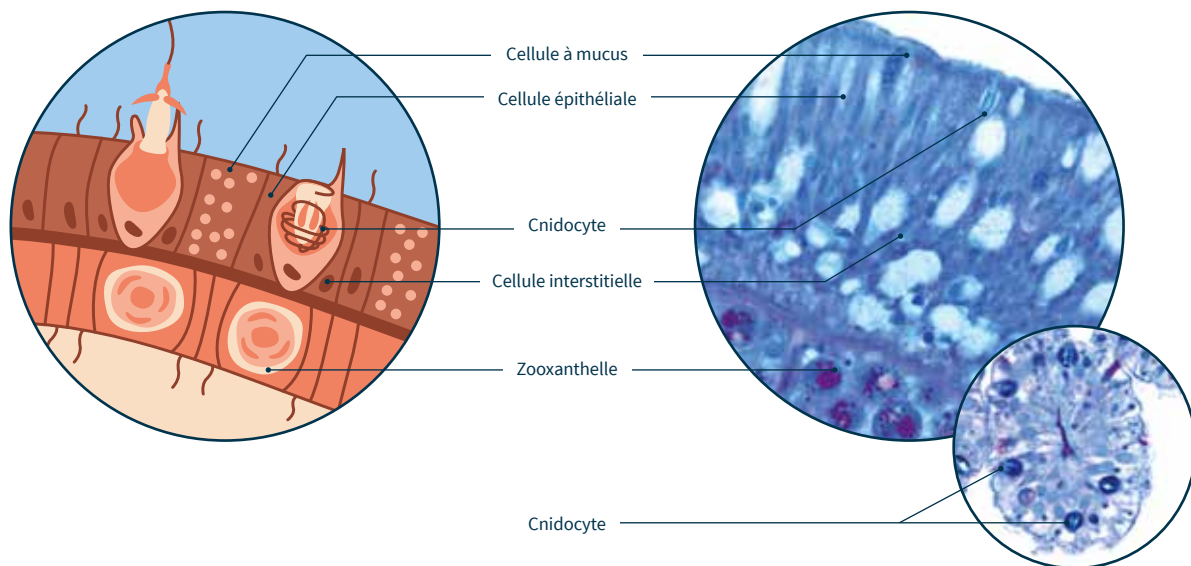
40 µm

Coupe longitudinale de l'ectoderme d'une larve zooxanthellée de *Pocillopora damicornis*

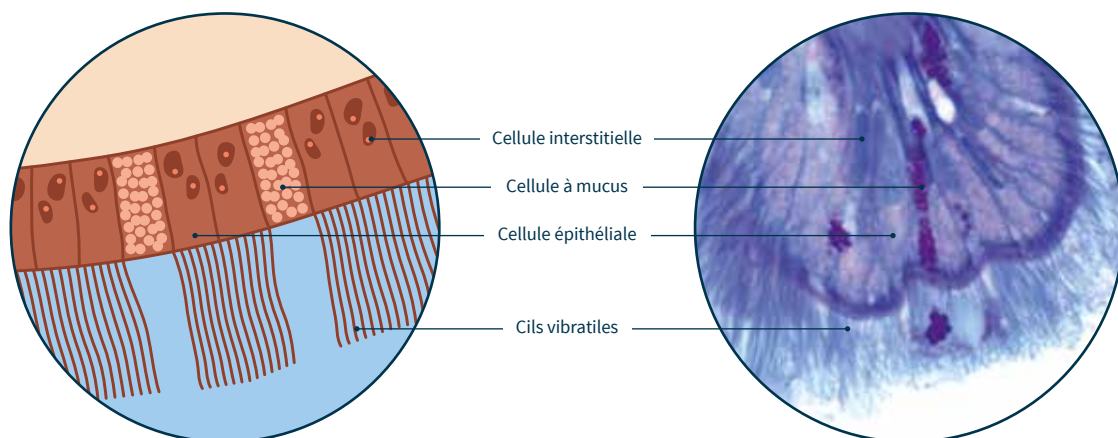
40 µm

Coupe transversale d'une branche de *Mytilus edulis*

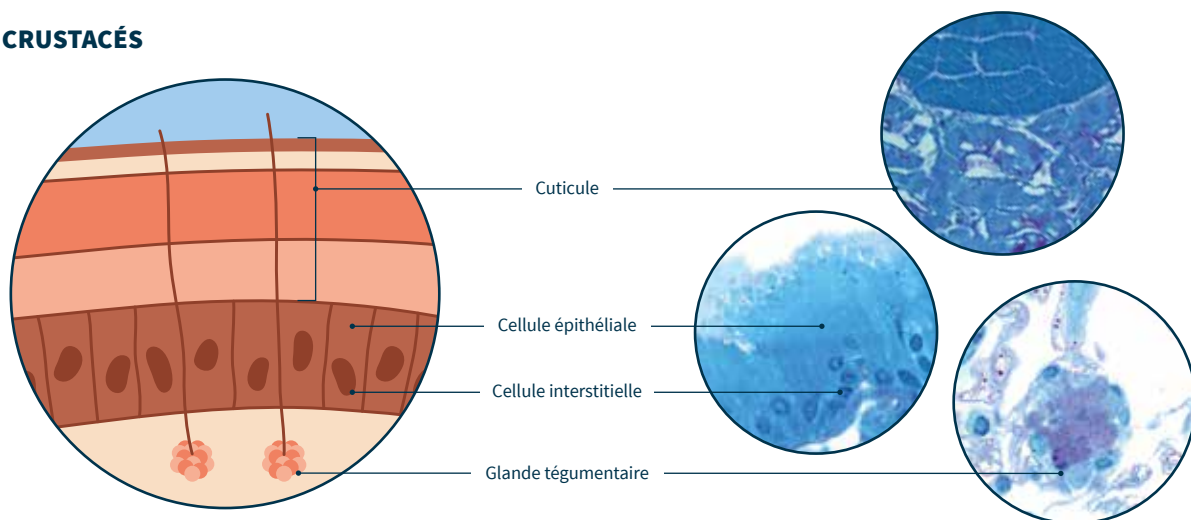
CNIDAIRES

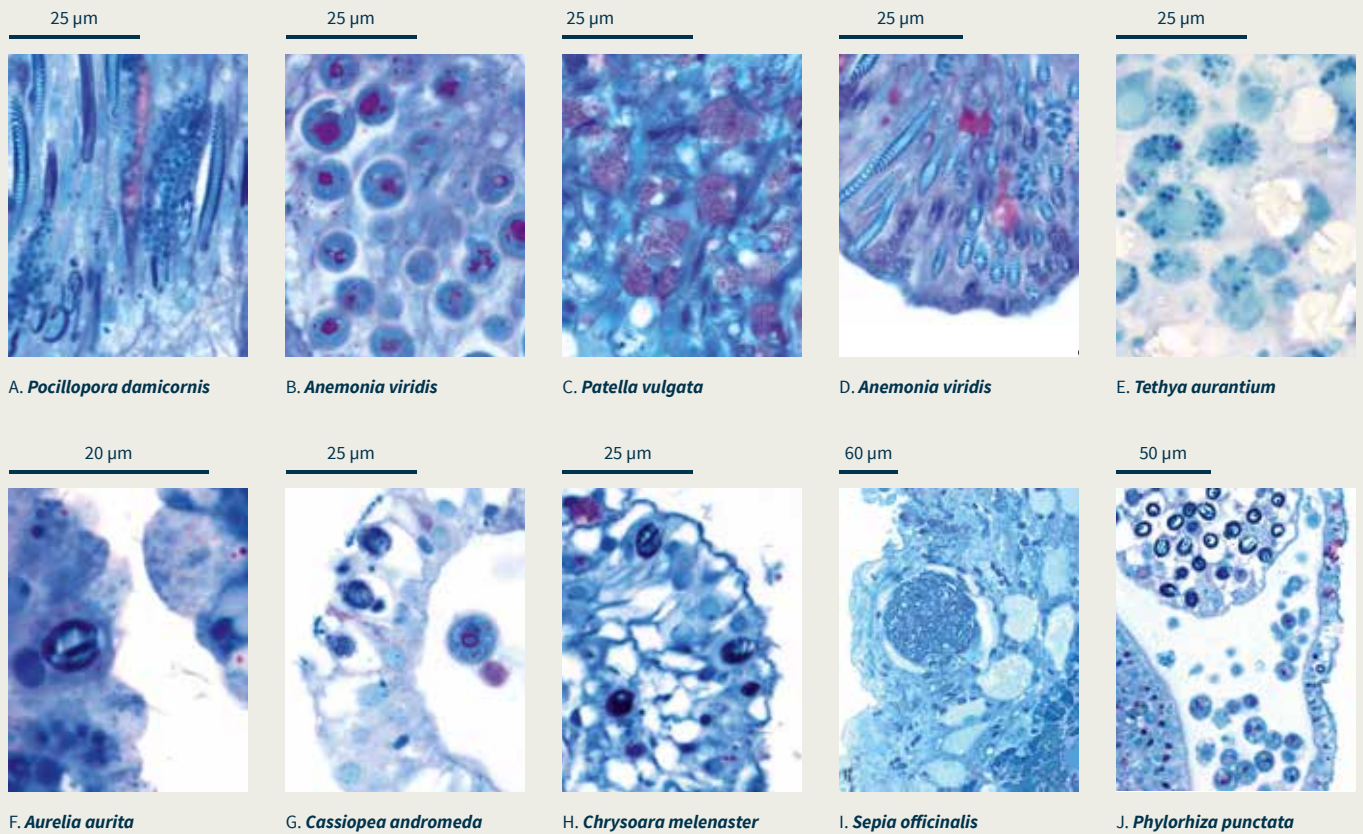


MOLLUSQUES BIVALVES

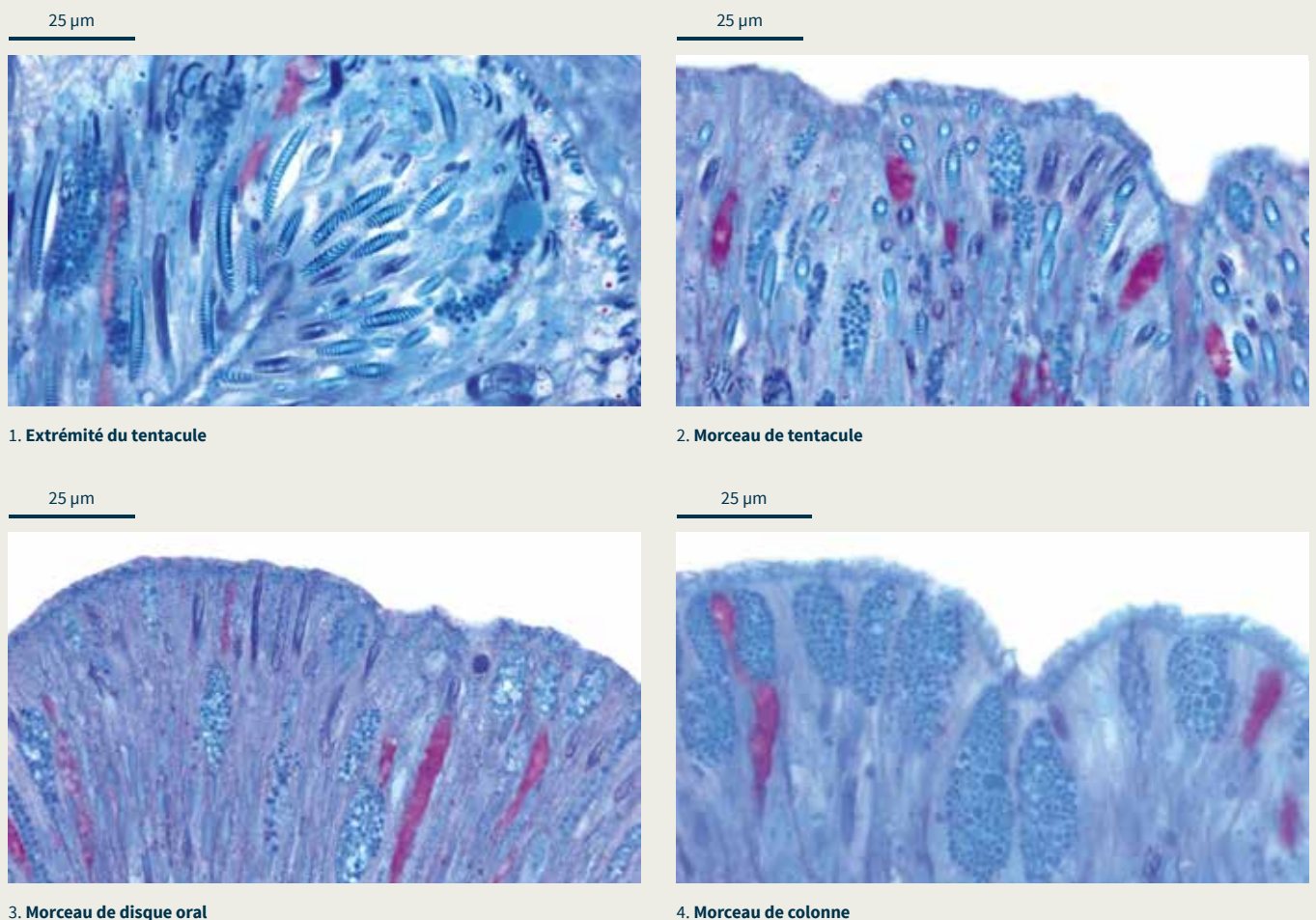


CRUSTACÉS





IMAGES EN MICROSCOPIE OPTIQUE DE COUPES DE POLYPE



Organisation structurale, la symétrie en 3D

NIVEAU : CYCLE 4 — LYCÉE

DURÉE : 3 HEURES

DISCIPLINE : SVT, MATHÉMATIQUES, ARTS PLASTIQUES

TRAVAIL : INDIVIDUEL

Compétences travaillées

- Réaliser une projection géométrique en réalisant une représentation en 3D du polype.
- Expliquer l'organisation du polype par la représentation solide/spatiale.
- Décrire les formes des polypes en fonction d'une base d'identification.

Problématiques abordées

Les structures du vivant suivent-elles une organisation géométrique ? La symétrie varie-t-elle en fonction des espèces ?

Références aux programmes

- Le dispositif de représentation : l'espace en trois dimensions (différence entre structure, construction et installation).
- La narration visuelle : dispositif séquentiel et dimension temporelle, montage, découpage, etc.
- Reconnaître des formes dans des objets réels et les reproduire géométriquement.

Ressources utilisées

- Fiche ressource 5-A : Organisation structurale d'un polype.
- Fiche ressource 5-B : Patron pour la conception en 3D d'un polype hexacoralliaire.
- Fiche ressource 6-A : Diversité des polypes.
- Fiche ressource 6-B : Photographies de polypes coralliens.

Modalités

Faire produire, utiliser et analyser par les élèves une projection 3D pour faire comprendre l'organisation structurale d'un polype.

ÉTAPE 1 — PRÉSENTER L'ORGANISATION STRUCTURALE

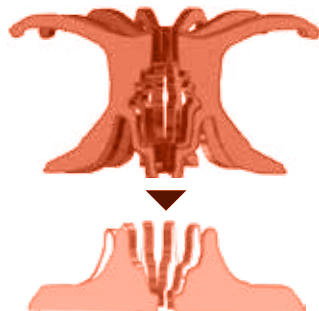
Le polype, cet animal qui constitue le corail, présente une organisation structurale suivant une symétrie radiaire (et bilatérale pour certains éléments). Les organes et le squelette du corail sont disposés tout autour de l'axe oral-aboral avec un orifice oral (bouche/anus) qui constitue le centre. Selon les organismes, cette symétrie (nombre de tentacules, de cloisons digestives, de côtes squelettiques, etc) peut être soit un multiple de 6 (ordre des Hexacoralliaires) soit d'ordre 8 (ordre des Octocoralliaires).

En vous appuyant sur une présentation du polype en p. 12 et 14 (*Fixes ou mobiles, les Cnidaires et Une mémoire calcaire*) présentez aux élèves l'animal, sa symétrie, ses capacités de calcification. Un polype schématisé est disponible dans la **Fiche ressource 5-A** pour permettre à l'élève d'identifier les différentes parties de l'animal.



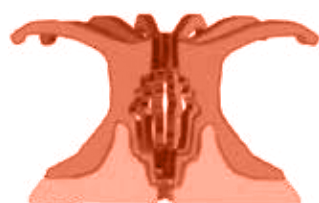
Fraction organique

(bouche, pharynx, cavité gastrovasculaire, tentacule)



Fraction minérale

(calice et côtes squelettiques)



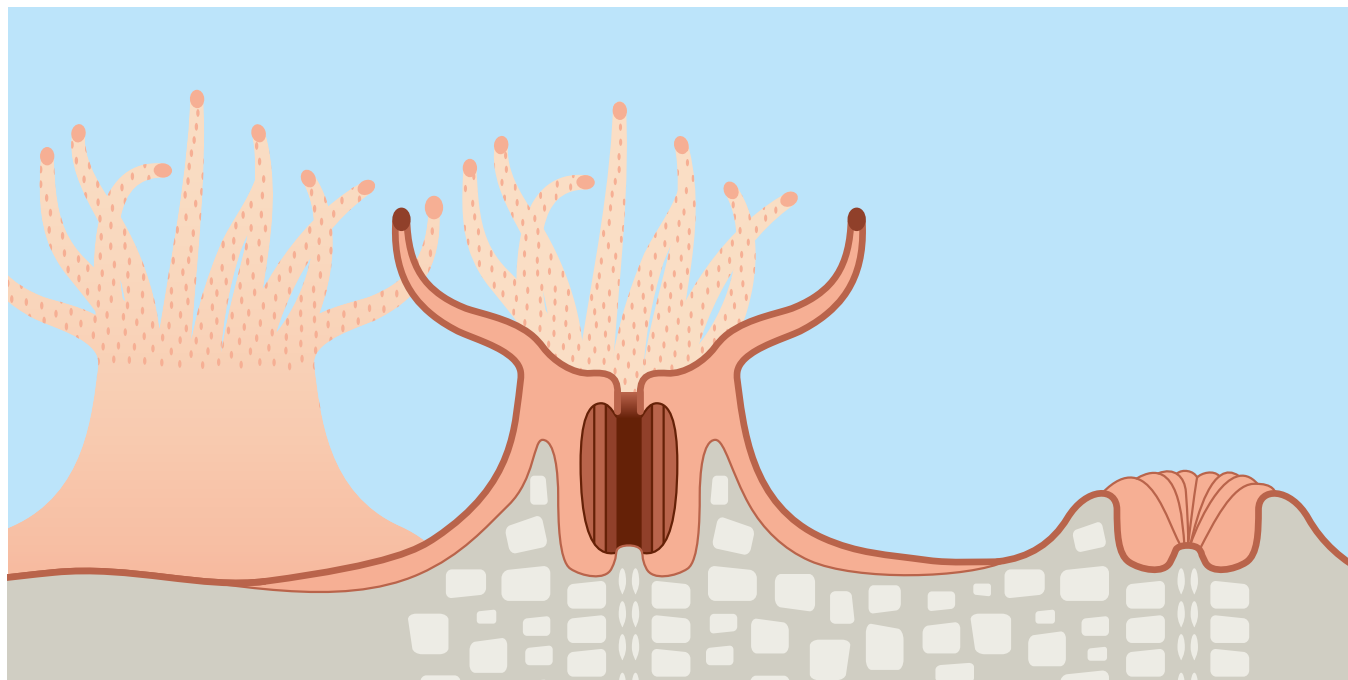
ÉTAPE 2 — RÉALISER UNE PROJECTION 3D DU POLYPE

Afin de bien intégrer l'organisation du polype, les élèves devront construire la maquette d'un polype d'Hexacoralliaire et/ou d'un polype d'Octocoralliaire. Pour cela, les élèves devront respecter les proportions, la symétrie radiaire, les multiples de 6 ou de 8. Selon le niveau des élèves, un modèle est disponible sur la **Fiche ressource 5-B**.

Pour un polype, les élèves auront à réaliser 1 disque oral, 1 disque basal, y x 6 (pour un Hexacoralliaire) ou 8 tentacules (pour un Octocoralliaire) et le même nombre de côtes squelettiques (fraction minérale).

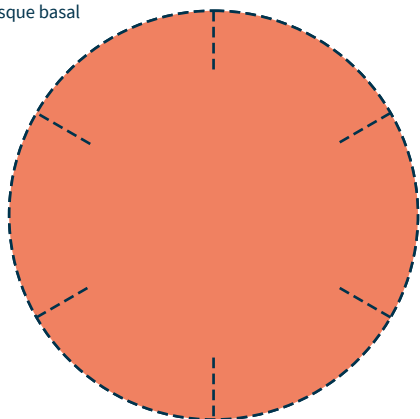
ÉTAPE 3 — UNE DIVERSITÉ MORPHOLOGIQUE

Les élèves pourront consulter la **Fiche ressource 6-A** pour découvrir les nombreuses formes de polypiers en fonction des espèces. En fonction des photos présentées sur la **Fiche ressource 6-B**, à eux de proposer un type d'organisation.

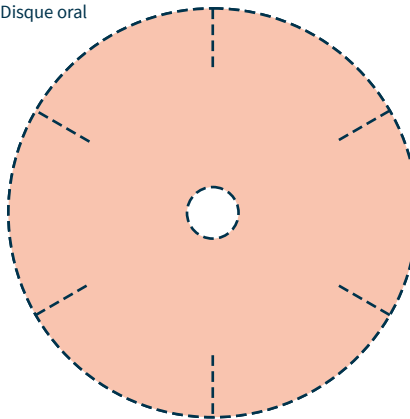


PATRON POUR LA CONCEPTION EN 3D D'UN POLYPE HEXACORALLIAIRE

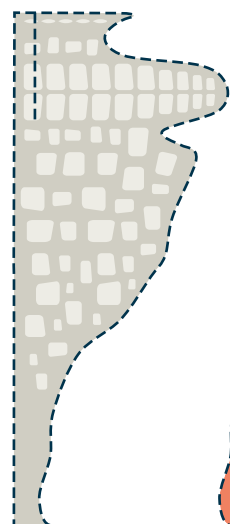
Disque basal



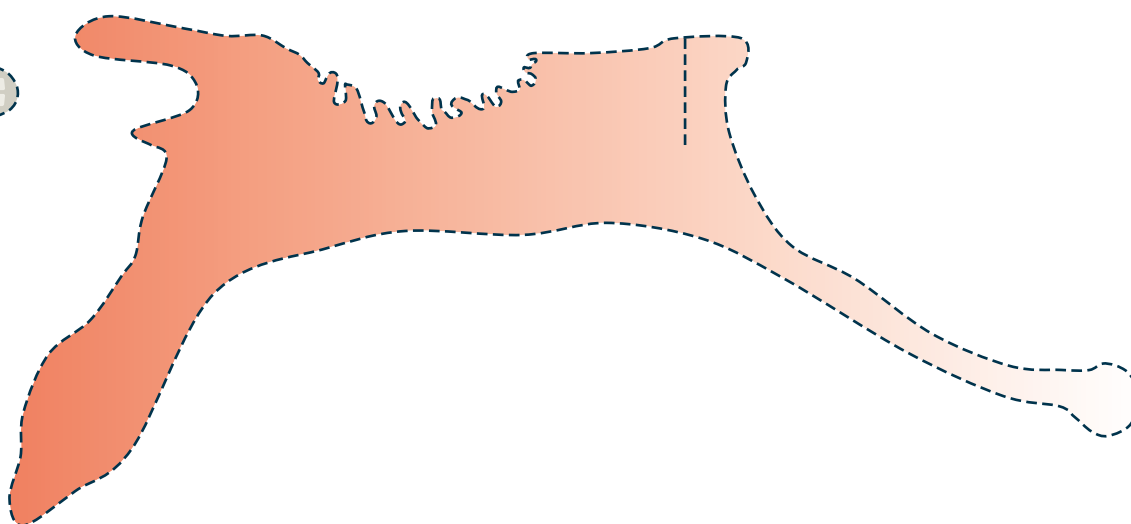
Disque oral

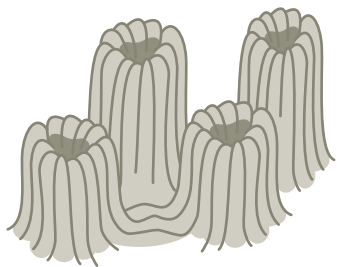


Fraction minérale

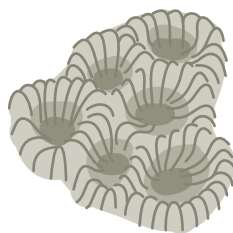


Fraction organique

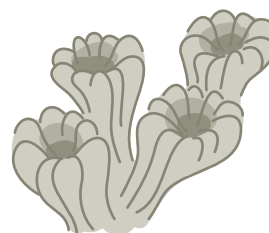




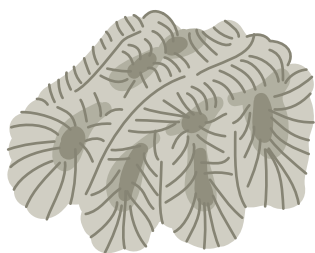
Organisation plocôide



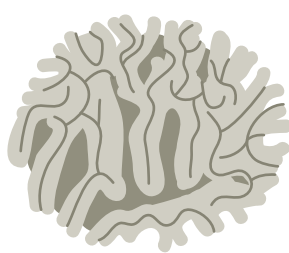
Organisation céroïde



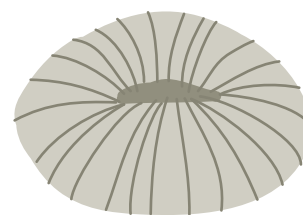
Organisation phacéloïde



Organisation méandroïde



Organisation flabelloméandroïde



Organisation solitaire

PHOTOGRAPHIES DE POLYPES CORALLIENS



Relation symbiotique, importance des zooxanthelles

 NIVEAU : LYCÉE (PREMIÈRE, TERMINALE)

 DISCIPLINE : SVT, MATHÉMATIQUES

 DURÉE : 3 HEURES

 TRAVAIL : INDIVIDUEL

Compétences travaillées	Problématique abordée	Ressources utilisées	Modalités
— Identifier les cellules végétales et les cellules animales dans une coupe histologique. — Décrire l'organisation tissulaire en fonction de la répartition des cellules. — Dépouiller et interpréter les résultats d'une démarche expérimentale.	La diversité des types cellulaires. Références aux programmes — Recenser, extraire et organiser des informations. — L'ADN, identité génétique : définition des espèces, comprendre la PCR.	— Fiche ressource 7-A : Coupes histologiques de tentacules d'<i>Anemonia viridis</i> zooxanthellés (non blanchis) et azooxanthellés (blanchis). — Fiche ressource 7-B : Identification des clades de zooxanthelles par électrophorèse sur gel d'agarose.	Identifier la localisation des zooxanthelles dans le tissu corallien. Comprendre l'importance de l'ADN dans l'adaptation aux conditions environnementales et le maintien de la biodiversité.

ÉTAPE 1 — PRÉSENTER LA SYMBIOSE

Référez vous en p. 15 (*Le Symbiocosme*) du dossier pour introduire auprès de vos élèves la notion de symbiose entre les cellules coralliennes et les microalgues (les zooxanthelles). Sur la **Fiche ressource 7-A**, observez les zooxanthelles visibles sur les coupes histologiques (tentacules d'*Anemonia viridis*). Examinez ensuite les coupes histologiques des polypes ayant subi un blanchissement. Que constatez-vous ?

QUE RETENIR ?

Les zooxanthelles ne sont plus présentes dans le tissu corallien. Seules les cellules animales sont encore visibles. Pour survivre, l'animal devra se recoloniser en microalgues. Les zooxanthelles sont localisées dans l'endoderme, protégées par l'ectoderme et exposées à la lumière.

ÉTAPE 2 — UNE DIVERSITÉ DE ZOOXANTHELLES

Jusqu'au début des années 1980, les zooxanthelles présentes dans le tissu corallien étaient associées à l'espèce *Symbiodinium microadriaticum*. Depuis, plusieurs travaux scientifiques ont révélé l'existence de différents groupes de zooxanthelles (9 clades) pouvant être associés aux coraux. Ces clades se distinguent pour leurs différences génétiques et morphologiques.

On les nomme de A à I ; les clades A, B, C et D étant majoritaires chez les coraux constructeurs de récifs. L'étude de Loh *et al.*, 2006 a été réalisée sur la Grande Barrière de Corail autour de l'île de One Tree Island.

Ces auteurs ont extrait et amplifié une séquence spécifique d'ADN des zooxanthelles hébergées dans 19 espèces de coraux constructeurs de récifs en utilisant la technique de la PCR (Polymerase Chain Reaction). Les premiers résultats sur gel d'agarose ont indiqué la présence de 3 clades différents de zooxanthelles entre les 19 espèces coralliennes. La **Fiche ressource 7-B** révèle les profils des différents clades obtenus sur gel d'agarose.

Comparez et utilisez ces 3 profils pour déterminer la composition en zooxanthelles des 19 espèces de coraux étudiées. Décrivez comment ces différences de composition en zooxanthelles peuvent influencer la diversité corallienne. Prolongez cette réflexion en mentionnant le caractère aléatoire et adaptatif des mutations dans un contexte de réchauffement climatique.

I Intérieur E Extérieur

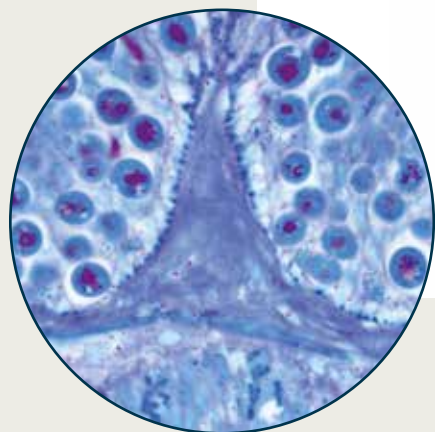
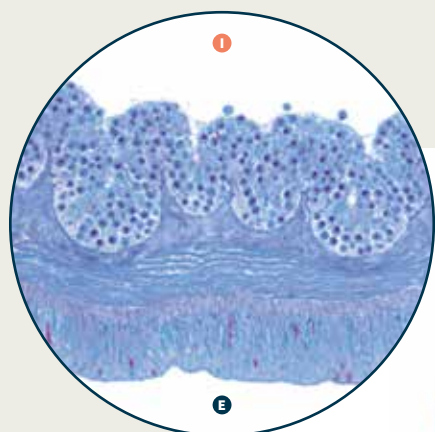
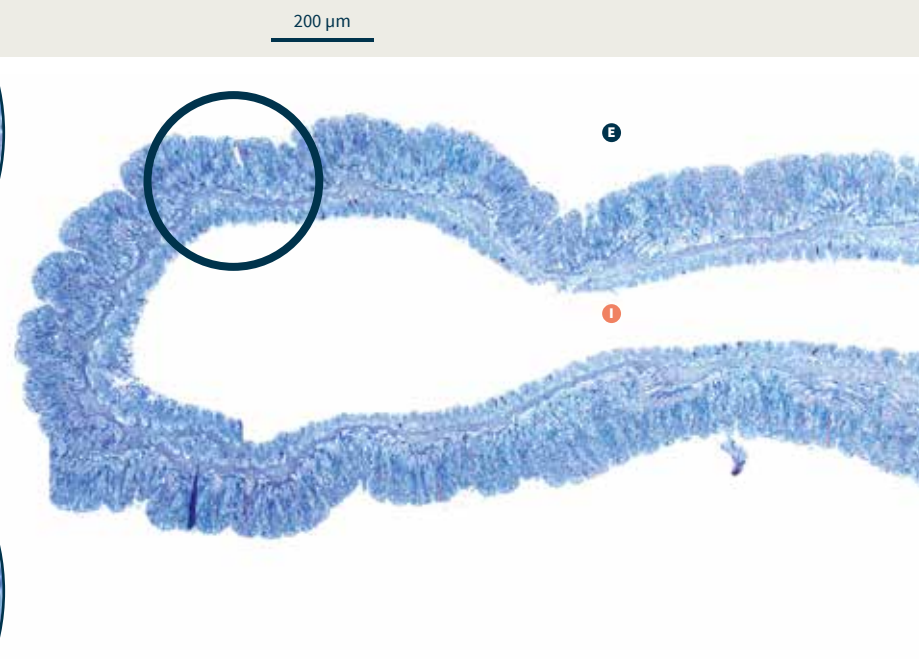
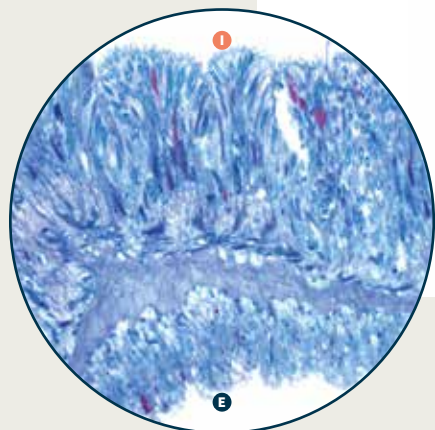
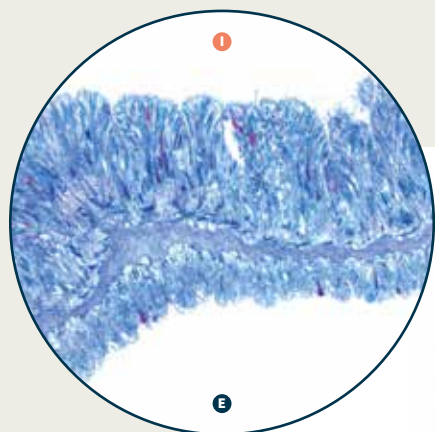
Coupe longitudinale de tentacule zooxanthellé (non blanchi)
d'*Anemonia viridis*Coupe longitudinale de tentacule azooxanthellé (blanchi)
d'*Anemonia viridis*

FIGURE 1

Électrophorèse sur gel d'agarose indiquant la taille des fragments amplifiés d'ADN des clades de zooxanthelles.

Clade A : 710 et 600 bp (paire de base),

Clade B : 890 et 500 bp,

Clade C : 890 et 710 bp.

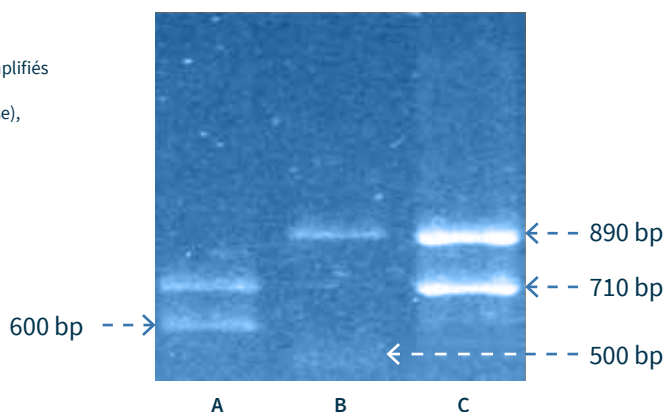


FIGURE 2

Électrophorèse sur gel d'agarose indiquant un même clade de zooxanthelles représenté pour 16 espèces coralliennes

(*Pocillopora damicornis*, *Stylophora pistillata*, *Seriatopora hystrix*, *Acropora pulchra*, *Acropora humilis*, *Acropora bushyensis*, *Acropora divaricata*, *Acropora valida*, *Acropora nasuta*, *Goniopora tenuidens*, *Porites lobata*, *Heliofungia actiniformis*, *Acrhelia horrescens*, *Lobophyllia hemrichii*, *Leptastrea purpurea*, *Echinopora hirsutissima*).

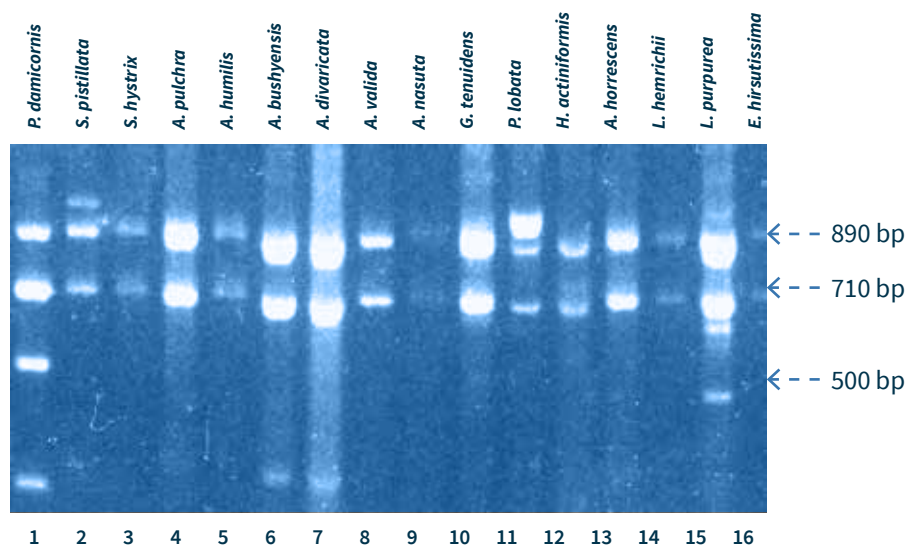
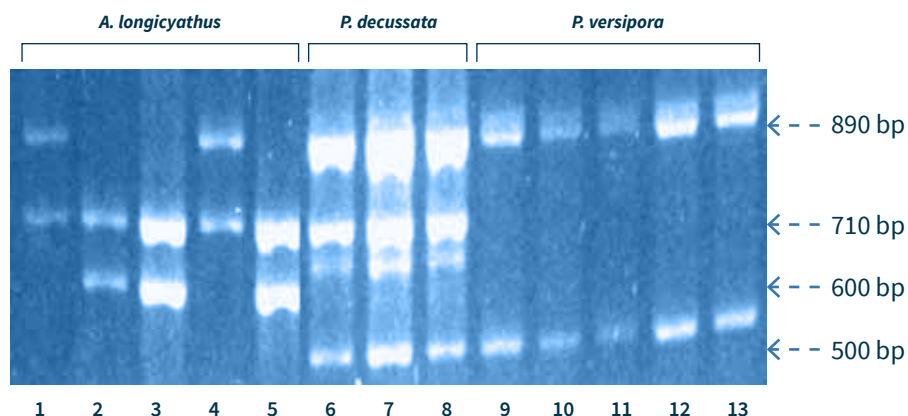


FIGURE 3

Électrophorèse sur gel d'agarose pour 3 espèces coralliennes pourvues d'1 ou plusieurs clades (*Acropora longicyathus*, *Pavona decussata*, *Plesiastrea versipora*).



QUE RETENIR ?

Les 16 espèces révélées sur la Figure 2 possèdent toutes le Clade C. Les 3 espèces de la Figure 3 sont composées :

- du clade B pour *P. versipora*,
- des clades B et C pour *P. decussata*,
- des clades A et C pour *A. longicyathus*.

Le réseau trophique, un équilibre fragile

NIVEAU : CYCLE 4 — LYCÉE

DISCIPLINE : SVT

DURÉE : 2 HEURES

TRAVAIL : INDIVIDUEL PUIS EN PETITS GROUPES

Compétences travaillées

- Décrire un réseau trophique en identifiant un ensemble de chaînes alimentaires connectées entre elles au sein de l'écosystème corallien.
- Décrire les répercussions en cascade dues aux activités humaines sur l'écosystème corallien.

Problématiques abordées

- Comment se distribuent les espèces au sein d'un réseau trophique de type corallien ?
- Un déséquilibre de la chaîne alimentaire peut-elle affecter le développement du corail ?

Références aux programmes

- Relations alimentaires entre les organismes vivants.
- Répartition des êtres vivants et peuplement des milieux.
- Transformation de l'énergie au sein de la biosphère.
- La place des micro-organismes dans la production de matière.
- Les besoins et la place des producteurs primaires dans les réseaux trophiques.
- Matières échangées entre un être vivant et le milieu de vie.

Ressources utilisées

- p. 18 Vivre ensemble – Schéma simplifié du réseau trophique de l'écosystème corallien.
- p. 30-33 Les Espèces Exotiques Envahissantes.
- p. 34 La surpêche.

Modalités

Faire réaliser par les élèves une analyse de document puis une restitution orale.

ÉTAPE 1 — IDENTIFIER LES COMPARTIMENTS TROPHIQUES

Les élèves associeront pour chacun des niveaux trophiques ci-dessous la définition correspondante :

- producteur primaire...
- consommateur secondaire...
- décomposeur...
- consommateur primaire...

« Organisme capable de produire de la matière organique (biomasse) à partir de matière minérale grâce à une source d'énergie lumineuse (photosynthèse) ou chimique (chimiosynthèse). »

« Organisme capable de produire de la matière organique (biomasse) exclusivement à partir de la consommation de producteurs. »

« Organisme capable de produire de la matière organique (biomasse) à partir de la consommation de producteur ou d'alguivore/herbivore. »

« Organisme capable de produire de la matière organique (biomasse) et de la matière minérale à partir de matière organique morte ou d'excréments. »

D'après ces définitions, quel niveau trophique désigne les carnivores et quel autre niveau décrit les alguivores ?

ÉTAPE 2 — LE RÉSEAU TROPHIQUE

Sur le même schéma en p. 18 (*Vivre ensemble*), les élèves indiqueront les organismes appartenant aux niveaux trophiques :

- producteur primaire (P1),
- consommateur primaire (C1),
- consommateur secondaire (C2),
- consommateur tertiaire (C3),
- consommateur quaternaire (C4),
- etc

ÉTAPE 3 — ORGANISATION TROPHIQUE AFFECTÉE

Cette partie propose de cibler les répercussions subies par les coraux, suite à la modification d'un maillon de la chaîne alimentaire. Deux thématiques sont présentées dans ce dossier : la surpêche et l'introduction d'espèces exotiques envahissantes. Vous pourrez vous appuyer sur la note *Les requins au service des coraux...* en p. 18, *Les EEE* en p. 30-33 et *La surpêche* en p. 34.

Constituez des groupes d'élèves qui devront travailler sur l'un des 4 exemples cités :

- les requins, le rôle des piscivores
- les indispensables herbivores
- la rascasse, une espèce marine introduite
- le rat, une espèce terrestre introduite

En tenant compte des informations fournies, chaque groupe devra schématiser une chaîne alimentaire modifiée en identifiant les niveaux trophiques affectés. Les menaces qui pèsent sur le récif corallien devront être clairement identifiées.

Pour chacun des exemples, une restitution orale pourra être envisagée afin de représenter sur un seul récif les différentes situations.

Causes et conséquences, visualisation de la pensée

NIVEAU : CYCLE 4 – LYCÉE

DISCIPLINE : SVT, FRANÇAIS, INFORMATIQUE

DURÉE : 2 HEURES

TRAVAIL : EN PETITS GROUPES

Compétences travaillées

- Représenter visuellement sur un support arborescent, le cheminement des idées.
- Retranscrire dans un ordre hiérarchique un contenu écrit en une synthèse visuelle.
- Appréhender la multiplicité des menaces pesant sur les récifs coralliens ; se projeter à différentes échelles d'analyse (polype, corail, population, écosystème, lagon/atoll, océan, Terre).

Problématiques abordées

Comment les principales pressions limitent-elles le développement de l'écosystème corallien ?
Une même dégradation (exemple : développement des algues, maladies, etc) peut-elle être induite par différentes causes ?

Références aux programmes

- Aide à la lecture, savoir repérer des informations ciblées sur des documents informatifs.
- Synthétiser les informations essentielles d'un document en repérant les indices textuels.
- Développer des qualités d'expression, travailler sur le lexique scientifique.

Ressources utilisées

- p. 23-34 - Partie 2
- Fiche ressource 8 : Carte heuristique corail. Exemple de carte heuristique des pressions et de leurs conséquences sur le corail et l'écosystème corallien.

Modalités

Faire réaliser par les élèves une synthèse de document puis une restitution visuelle.

ÉTAPE 1 — INTRODUCTION À LA VISUALISATION DE LA PENSÉE

Cette première partie est consacrée à présenter aux élèves l'intérêt de la carte heuristique pour aider au cheminement de la pensée. Divisez en deux l'effectif de la classe et attribuez la lecture d'une menace (Partie 2 : p. 23-34) qui pèse sur l'écosystème corallien :

- groupe 1 : menace A
- groupe 2 : menace B

Demandez aux élèves du premier groupe de résumer oralement en une phrase, pour le second groupe, les causes et les conséquences de cette menace sur le corail ou plus largement, le récif corallien. Inversez les rôles.

Au terme de cet exercice, les élèves sont-ils satisfaits de la qualité de la restitution ? Analysez ensemble les points qui ont fait défaut (restitution de l'information, chronologie des faits, complexité du vocabulaire, difficulté du sujet, trouver des repères, etc).

Présentez l'intérêt d'une carte heuristique, représentée pour l'occasion sous la forme d'un corail branchu (**Fiche ressource 8**).

ÉTAPE 2 — MISE EN APPLICATION

Divisez maintenant votre classe en groupes de travail correspondant au nombre de menaces différentes que vous souhaitez aborder. Chacun des groupes disposera des informations relatives à la menace à étudier. À la lecture des documents, les élèves relèveront les mots-clefs caractérisant la menace :

- la ou les causes de la menace
- les conséquences de la menace

À l'aide des mots-clefs choisis, les élèves élaboreront ensuite sous la forme d'une arborescence, la succession chronologique des différents événements. L'objectif est d'obtenir une représentation visuelle du cheminement de la pensée.

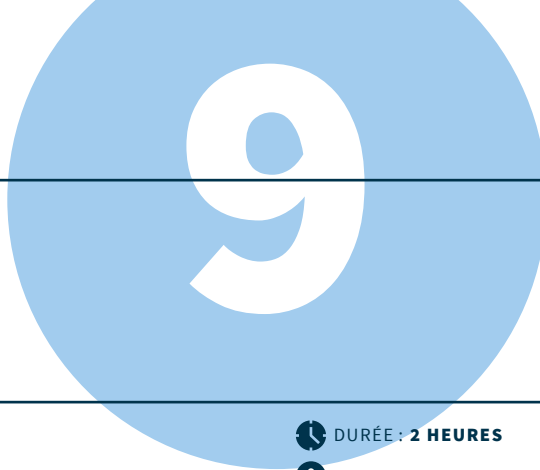
Un exemple de carte heuristique est disponible dans la **Fiche ressource 8**. Cette arborescence peut-être réduite ou amplifiée selon le niveau des élèves, le degré de précision et l'échelle d'observation (corail, écosystème, océan, planète).

ÉTAPE 3 — RESTITUTION

Chaque groupe produira une restitution orale de la carte heuristique de la menace abordée. Pour cela, les cartes auront été réalisées sur informatique (power point, excel, etc) ou sur des panneaux de grands formats. Seule la qualité de la carte heuristique et de la restitution orale permettront aux autres groupes de retenir les principales informations. Ces derniers n'auront pas eu connaissance du document écrit.

PRINCIPE CARTE HEURISTIQUE





NIVEAU : CYCLE 4 – LYCÉE

DURÉE : 2 HEURES

DISCIPLINE : SCIENCES, FRANÇAIS

TRAVAIL : INDIVIDUEL OU EN PETITS GROUPES

Compétences travaillées	Problématiques abordées	Références aux programmes	Ressources utilisées
— Apprendre à faire des choix, adopter un comportement pour la réalisation de projet. — Incitation au questionnement, à l'initiative, l'erreur, la persévérance. — Préparation du projet d'orientation. Connaître ses compétences, ses motivations.	Quelles peuvent-être les professions en lien avec le corail ? Comment se préparer à son avenir professionnel ?	— Découvrir différents supports d'information se rapportant à une même thématique. — Adopter des stratégies et des procédures d'écriture efficaces. — Découvrir différentes formes de l'écriture de soi et de l'autoportrait. — Comprendre l'importance de la vérification et du recoupement des sources. — S'exprimer de façon maîtrisée en s'adressant à un auditoire.	— p. 54-64 Travailler pour le corail ... Modalités Adopter des repères pour mieux connaître une profession.

ÉTAPE 1 — PAROLES DE PROFESSIONNELS

Cet atelier propose de projeter l'élève dans une situation professionnelle l'engageant dans une mission sur l'écosystème corallien. Devenu décisionnaire, l'élève sera incité à être force de propositions, de choix, d'actions. Reportez vous aux p. 54-64 (*Travailler pour le corail...*) afin que les élèves s'approprient les différents témoignages de professionnels.

ÉTAPE 2 — S'ENGAGER DANS UNE MISSION

Préparez deux boîtes (Métier, Mission) et déposer dans chacune d'elle, des morceaux de papier portant les inscriptions suivantes :

- boîte Métier : médiateur scientifique, technicien-soigneur, chercheur, photographe professionnel, plongeur professionnel, gestionnaire aire marine, etc.
- boîte Mission : préparer une exposition sur les récifs coralliens, suivre l'impact du réchauffement climatique sur le corail, décrire une nouvelle espèce de corail, aider la conservation d'une espèce corallienne, valoriser ses résultats auprès d'élèves/grand public, etc.

Les élèves piocheront tour à tour un métier et une mission. Demandez leur ensuite de dresser une action reliant le métier et la mission attribués. Après un temps de préparation, ce travail sera monté comme un scénario dans lequel l'élève devra être investi par sa mission.

ÉTAPE 3 — S'INFORMER POUR MIEUX S'ORIENTER

Les élèves réfléchiront sur leur propre orientation professionnelle. Après un temps de réflexion, les élèves choisiront la profession la plus favorable à leur épanouissement personnel et professionnel.

Ils devront créer une carte heuristique en regroupant les mots-clés décrivant :

- leurs motivations pour la profession retenue,
- les principales missions de leur futur métier,
- les différentes formations possibles, les compétences,
- les atouts et les contraintes du métier choisi.

En s'aidant de leur carte heuristique, les élèves présenteront au reste de la classe leur future profession.



Remerciements

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

Ministère de l'Éducation Nationale

Ministère des Outre-mer

Relecture et corrections scientifiques

Pascale Joannot
(COMER - MNHN)

Témoignages scientifiques

CORAIL ARTEFACT

Jérémy Gobé
Thomas Granovsky
Isabelle Domart-Coulon
(MNHN)

CRIOBE

Serge Planes
Laetitia Hédouin
Cécile Berthe
Jeanine Almany

CSM

Denis Allemand
Éric Tambutté

FONDATION TARA OCÉAN

Romain Troublé
Xavier Bougeard

IFRECOR

Francis Staub
Claire Bissery
Catherine Gabriele
Marie Duflos
Bernardo Sanchez

IFREMER

Stephan Jorry
Martina Ferraris

IRD

Pascale Chabanet
Aline Tribollet
Jocelyne Ferraris
Claude Payri
Fanny Houlbrèque
Sophie Bonnet
Valentine Meunier
Anne Lorrain
Riccardo Rodolfo-Metalpa

MNHN

Isabelle Domart-Coulon
Anaïs Massé

Témoignages professionnels

ALEXIE VALOIS JOURNALISTE

Alexie Valois
(Journaliste)

ALEXIS ROSENFELD – PHOTOGRAPHY & EXPEDITIONS

Alexis Rosenfeld
(Photojournaliste)
Charlotte Blan

ANDROMEDE OCEANOLOGIE

Laurent Ballesta
(Photographe naturaliste)
Caroline Ballesta

CRIOBE

Serge Planes
Laetitia Hédouin
(Chargée de recherches)
Yann Lacube
(Ingénieur)
Guillaume Iwankow
Maggy Nugues

LA FERME DE CORAIL

Antoine Combot
(Coralliculteur)

LYCÉE DE BREHOULOU

Guillaume Lemaître
(Étudiant guadeloupéen)

OCÉANOPOLIS

Maureen Midol
(Technicienne/Plongeuse
professionnelle)
Nathalie Siche
(Médiatrice scientifique)

RÉSERVE NATURELLE NATIONALE DE SAINT-MARTIN

Julien Chalifour
(Responsable scientifique)

Coupes histologiques et photographies numériques

IRD

Myriam Collin
Frédérique Aberlenc

IRD Montpellier – UMR DIADE
(Diversité Adaptation et Développement
des plantes) – équipe F2F.
Coloration histologique utilisée :
NBB (Naphtol Blue Black).

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, Lehoudey 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, Putschim 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, Ebre Ph, Eisenhauer 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
- Lecointe 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, Kranenburg 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 Wesenbeeck 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, Tlusty 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, Tröeng 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
- Titlyanov 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

Crédits photos

Couverture

Jackson Reef Tiran Island ©Renata Romeo/Coral Reef Image Bank
p. 2 : Taveuni, Fiji ©Yen-Yi Lee/Coral Reef Image Bank

Partie 1

p. 8 : Figure 129 – N°4 – Table XXVIII
©gallica.nf.fr/Bibliothèque nationale de France
p. 8 : Figure 110 – Table XXIV
©gallica.nf.fr/Bibliothèque nationale de France
p. 9 : PLATEARIUS-p192 ©gallica.nf.fr/
Bibliothèque nationale de France
p. 9 : Figure 180 – N°1 – Table XL
©gallica.nf.fr/Bibliothèque nationale de France
p. 11 : Dumaguete, Philippines ©Gregory Piper/Coral Reef Image Bank
p. 12 : Gravure Molluscoïdes & Zoophytes, 1852 ©Lionel Feuillassier
p. 13 : C. Darwin, Evolutionary Tree from the First Notebook on Transmutation of Species-1837 ©Cambridge University Library
p. 14 : *Lobophytum sp.* ©Océanopolis
p. 14 : *Acropora sp.* ©Océanopolis
p. 15 : *Symbiodinium sp.* ©Océanopolis
p. 15 : Polype *Stylophora pistillata* ©Océanopolis
p. 17 : photographies 1-9 Le « bouturage » à Océanopolis ©Océanopolis
p. 17 : Colonie de *Stylophora pistillata* ©Océanopolis

Partie 2

p. 22 : Okinawa, septembre 2016 ©The Ocean Agency/xl catlin seaview survey
p. 25 : American Samoa, february 2015 ©The Ocean Agency/xl catlin seaview survey
p. 25 : *Acanthaster planci* ©Océanopolis
p. 26 : Palau ©Yen-Yi Lee/Coral Reef Image Bank
p. 27 : Snorkeler on reef ©Mark Fitz/Coral Reef Image Bank
p. 28 : National Park of American Samoa ©Shaun Wolfe/Coral Reef Image Bank
p. 29 : Martin Habluetzel ©Alamy Stock Photo
p. 30 : Lionfish ©Ceyhan Bekiroglu/Coral Reef Image Bank
p. 31 : Reef sharks, Jardines De La Reina ©Phillip Hamilton /Coral Reef Image Bank
p. 31 : Spearfisher, Palau ©The Ocean Agency/Coral Reef Image Bank
p. 32 : All Canada Photos ©Alamy Stock Photo
p. 32 : Rudmer Zwerver ©Alamy Stock Photo
p. 33 : Fou brun ©Solène Derville/IRD
p. 33 : Coral hind ©Ceyhan Bekiroglu/Coral Reef Image Bank
p. 34 : Shark in Fakarava during grouper spawning ©Rick Miskiv/Coral Reef Image Bank
p. 34 : School in net ©Yen-Yi Lee/Coral Reef Image Bank
p. 34 : Clownfish in anemone ©Cinzia Osele Bismarck/Coral Reef Image Bank

Partie 3

p. 36 : *Orbicella annularis* ©Océanopolis
p. 38 : Culture en conditions contrôlées de «boutures» de Scléractiniaires à Océanopolis ©Océanopolis
p. 38 : Virgin Islands National Park ©Shaun Wolfe/Coral Reef Image Bank
p. 38 : Récolte des cellules reproductrices d'*Orbicella faveolata* ©Océanopolis / Planugwa
p. 40 : montage et photographie du point d'esprit ©Jérémy Gobé
p. 40 : 1. J. Gobé à la SCOP Fontanille ©Thomas Granovsky
p. 40 : 2. Colonie sur dentelle ©Isabelle Domart-Coulon/MNHN
p. 40 : 3. Expérimentation ©Isabelle Domart-Coulon/MNHN
p. 41 : Carte Les territoires récifaux

d'outre-mer français ©IFRECOR
p. 42 : 1. Tara au large de l'île Maurice ©Francis Latreille/Fondation Tara Océan
p. 42 : 2. Grande Barrière de Corail ©Nicolas Delabrosse/Fondation Tara Océan
p. 42 : 3. Scientifique au travail ©David Hannan/Fondation Tara Océan
p. 43 : 1-3 MARECO_Regards d'enfants ©Stéphanie Carrière/IRD
p. 44 : 1. À bord du Why ©Franck Gazzola
p. 44 : 2. Coraux mésophotiques ©Franck Gazzola
p. 44 : 3. Quadrat ©Franck Gazzola
p. 45 : 1. Ponte corallienne ©Laetitia Hédouin/CRIOBE
p. 45 : 2. Blanchissement à Tahiti ©Laetitia Hédouin/CRIOBE
p. 46 : La technique du « microbouturage » ©Alexander Venn/Éric Tambutti/CSM
p. 47 : Blanchissement à Tikehau ©Cécile Berthe/CRIOBE
p. 48 : 1. Le corail *Pocillopora verrucosa* en cours d'incubation ©Valentine Meunier/IRD
p. 48 : 2. Collecte de coraux ©Tom Shlesinger
p. 48 : 3. Représentation schématisée des principales stratégies de prélèvement de l'azote par les coraux ©Valentine Meunier/IRD
p. 49 : 1. 50 espèces différentes de coraux ©Riccardo Rodolfo-Metalpa/IRD
p. 49 : 2. Récif corallien de Bouraké ©Riccardo Rodolfo-Metalpa/IRD
p. 49 : 3. Coraux de Bouraké effleurant la surface ©Riccardo Rodolfo-Metalpa/IRD
p. 50 : 1. Filaments vivants de la microalgue du genre *Ostreobium sp.* ©Anaïs Massé/MNHN
p. 50 : 2. Observations des filaments microperforants (*Ostreobium sp.*) localisés dans le squelette calcaire ©Anaïs Massé/MNHN
p. 51 : 1. Prélèvements de roches et de sédiments sur des récifs fossiles ©Ifremer
p. 51 : 2. Analyses des échantillons en laboratoire ©Ifremer
p. 51 : 3. Expéditions océanographiques à bord du *Pourquoi pas ?* ©Ifremer
p. 52 : 1. Représentation schématisée de la contribution trophique du guano pour l'écosystème corallien ©Boris Colas/CPS
p. 52 : 2. Fou brun sur l'île Surprise ©Eric Vidal/IRD
p. 52 : 3. *Pocillopora damicornis* ©Fanny Houlbrèque/IRD
p. 53 : 1. Branches de colonies de *Pocillopora acuta* ©Isabelle Domart-Coulon/MNHN
p. 53 : 2. Extrémité d'une branche de *Pocillopora acuta* ©Isabelle Domart-Coulon/MNHN
p. 53 : 3. Emission d'une planula de *Pocillopora acuta* ©Anaïs Massé/MNHN
p. 53 : 4. Collecte des planulae de *Pocillopora acuta* ©Isabelle Domart-Coulon/MNHN
p. 53 : 5. Polype primaire de *Pocillopora acuta* ©Isabelle Domart-Coulon/MNHN
p. 53 : 6. Bourgeonnement des polypes secondaires de *Pocillopora acuta* ©Isabelle Domart-Coulon/MNHN

p. 55 : 1. Immersion ©Guillaume Lemaître
p. 55 : 2-3. Fonds marins en Guadeloupe ©Guillaume Lemaître
p. 56 : Animation XperienSEA - PLANCTON 3D commentée par Nathalie Siche ©Océanopolis
p. 57 : Récif caribéen ©Julien Chalifour
p. 58 : Collecte des larves de *Pocillopora acuta* par Maureen Midol ©Océanopolis
p. 59 : Cultiver du corail en Bretagne ©La Ferme de Corail
p. 60 : 1. « Arbre » à coraux dans le lagon de Moorea ©Alexis Rosenfeld
p. 60 : 2. Le biologiste Yann Lacube ©Alexis Rosenfeld
p. 61 : Laetitia Hédouin en immersion ©Laetitia Hédouin/CRIOBE

p. 62 : Un récif en mer Rouge filmé par Alexie Valois ©Alexis Rosenfeld
p. 63 : Vivre des moments uniques ©Alexis Rosenfeld
p. 64 : Récif corallien de Fakarava en Polynésie française ©Laurent Ballesta/700 Requins dans la nuit

Partie 4

p. 72 : 1. Coupe longitudinale d'un abdomen de *Palaemon elegans* ©Myriam Collin/IRD
p. 72 : 2. Coupe transversale d'un tentacule d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 72 : 3. Coupe longitudinale d'une pince de *Maenas carcinus* ©Myriam Collin/IRD
p. 72 : 4. Coupe longitudinale d'un abdomen de *Palaemon elegans* ©Myriam Collin/IRD
p. 72 : 5. Coupe transversale d'une glande tégumentaire de *Cancer pagurus* ©Myriam Collin/IRD
p. 72 : 6. Coupe transversale du manteau de *Mytilus edulis* ©Myriam Collin/IRD
p. 72 : 7. Coupe longitudinale de l'ectoderme d'une larve zooxanthellée de *Pocillopora damicornis* ©Myriam Collin/IRD
p. 72 : 8. Coupe transversale d'une branchie de *Mytilus edulis* ©Myriam Collin/IRD
p. 73 : 1. Coupe longitudinale de l'ectoderme d'une larve zooxanthellée de *Pocillopora damicornis* ©Myriam Collin/IRD
p. 73 : 2. Coupe transversale d'une branchie de *Mytilus edulis* ©Myriam Collin/IRD
p. 73 : 3. Coupe transversale d'une glande tégumentaire de *Cancer pagurus* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : A. Coupe longitudinale de l'ectoderme d'une larve zooxanthellée de *Pocillopora damicornis* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : B. Coupe longitudinale d'un tentacule d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : C. Coupe longitudinale du pied de *Patella vulgata* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : D. Coupe transversale d'un tentacule d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : E. Coupe transversale de *Tethya aurantium* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : F. Coupe transversale d'un tentacule d'*Aurelia aurita* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : G. Coupe transversale d'un tentacule de *Cassiopea andromeda* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : H. Coupe transversale d'un tentacule de *Chrysopa melenaster* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : I. Coupe longitudinale du manteau de *Sepia officinalis* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : J. Coupe transversale d'un tentacule de *Phylorhiza punctata* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : 1. Coupe transversale de l'extrémité d'un tentacule d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : 2. Coupe longitudinale d'un tentacule d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : 3. Coupe transversale du disque oral d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 74 : 4. Coupe transversale de la colonne d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 77 : 1-16 Polypes coralliens ©Océanopolis
p. 79 : 1. Coupe longitudinale de tentacule zooxanthellé d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 79 : 2. Coupe longitudinale de tentacule azooxanthellé d'*Anemonia viridis* ©Myriam Collin/IRD
p. 80 : 1-3 Identification des clades de zooxanthelles sur gel d'agarose ©Loh/ACRS Proceedings
p. 85 : Ras Umm Sid, Sharm El Sheikh ©Renata Romeo/Coral Reef Image Bank
p. 91 : Fan Coral, Great Barrier Reef ©Jayne Jenkins/Coral Reef Image Bank

Conception / Rédaction**Océanopolis**

Lionel Feuillassier
Anne Rognant

Océanopolis (2020).
[ÉCO]systèmes & Co.
Les récifs coralliens
pp. 92

Relecture et corrections scientifiques

Pascale Joannot
(COMER - MNHN)

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

Océanopolis

Céline Liret
Dominique Barthelemy

Utilisation possible
des illustrations et des schémas
dans un cadre pédagogique
(non commercial),
sous réserve de la mention :
© Rodhamine / Océanopolis.
Modification non autorisée

Référent scientifique

Denis Allemand (CSM)

Académie de Rennes

David Guillaume
Christian Goubin

Conseillères-relais Arts et Culture de l'Éducation Nationale à Océanopolis

Laure Stervinou
Corinne Nicolas-Mussot

Conception graphique

Rodhamine

Impression

Media Graphic





[ÉCO]systèmes & Co.

Les récifs coralliens

