

les SAVANTURIERS²⁷

FÉVRIER 2019

IL EST
ENCORE TEMPS
D'AGIR

07



Coraux
ATTENTION
monde
fragile



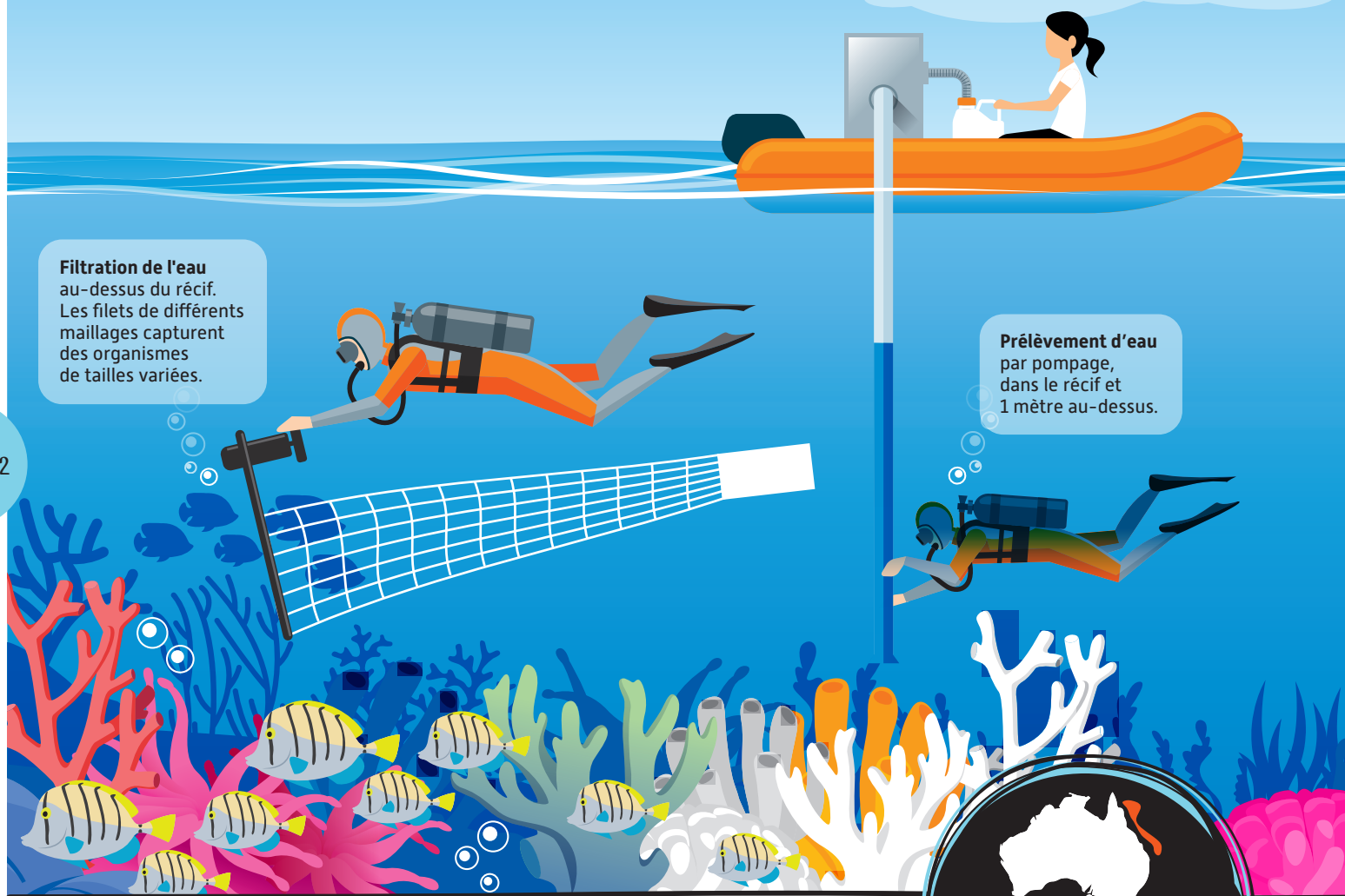
UN POSTER
À TÉLÉCHARGER
ET DÉCOUVRIR
EN VERSION ANIMÉE
DES INTERVIEWS ET UN CLIP
à retrouver sur **cea.fr**



On connaît !

Prélèvements sous l'océan

L'expédition Tara Pacific a duré plus de deux ans pendant lesquels la goélette a parcouru 100 000 km. Durant ce voyage, une centaine de récifs coralliens ont été étudiés, autour de 32 îles et archipels. Les équipes ont totalisé 2 677 plongées pour recueillir plus de 37 000 échantillons – coraux, poissons et planctons –, à une profondeur de prélèvement quasi constante au-dessus des récifs. Comment ont-elles procédé ?



Filtration de l'eau
au-dessus du récif.
Les filets de différents
maillages capturent
des organismes
de tailles variées.

Prélèvement d'eau
par pompage,
dans le récif et
1 mètre au-dessus.

02

C'EST QUOI UN CORAIL ?

Les coraux sont des animaux, du même groupe que les anémones de mer et les méduses. Environ 1 300 espèces de coraux durs sont aujourd'hui recensées. Ils se distinguent selon leur forme : branchus, digités, foliacés, spatulés, tabulaires, massifs, « cerveau », colonnaires, tubulaires, « champignons »...

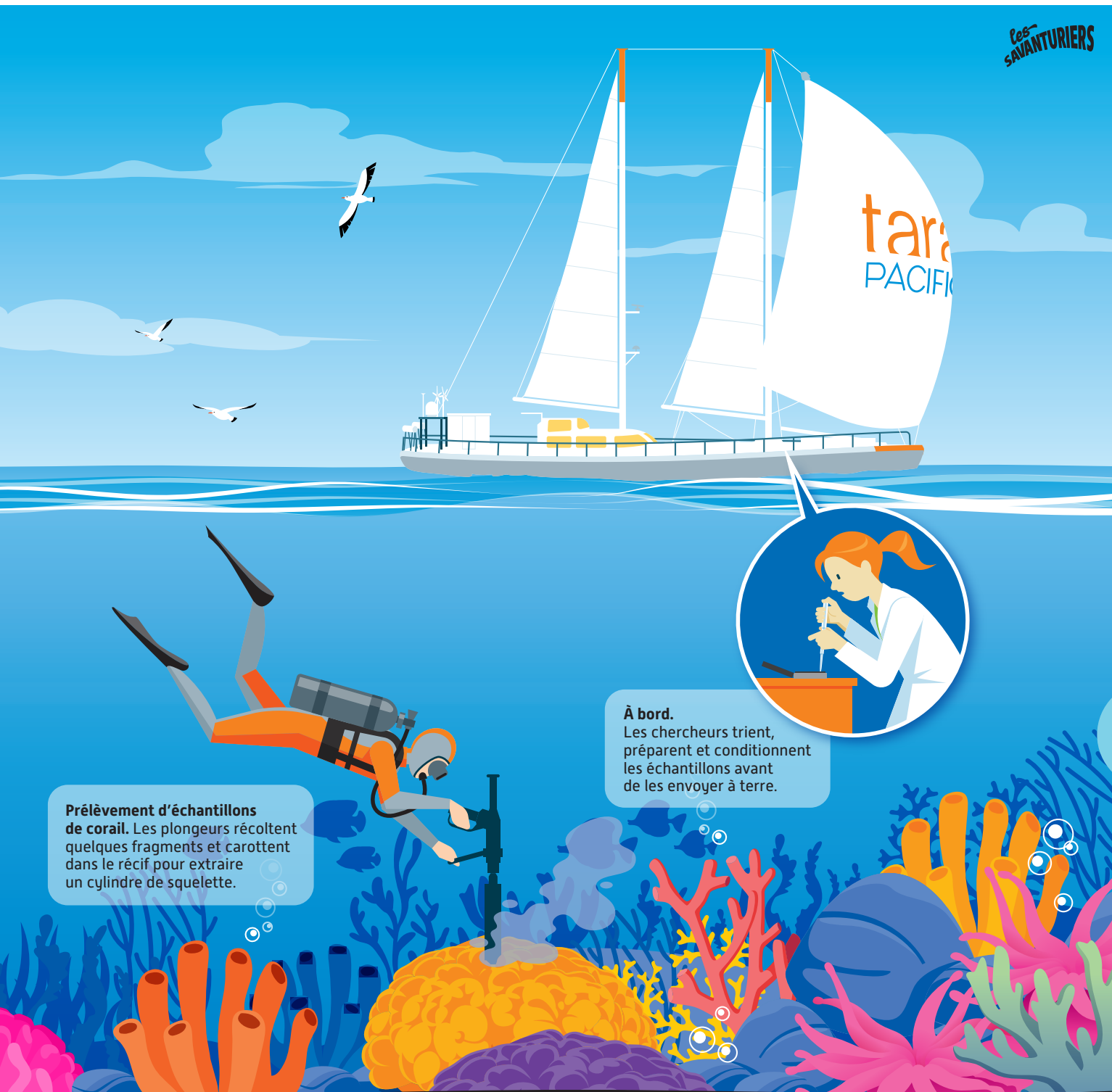
Apparus il y a 535 millions d'années, les coraux sont les plus anciens animaux du monde. En colonies de milliers d'individus, ce sont aussi les plus vieux : certaines colonies auraient plusieurs centaines voire plusieurs milliers d'années.

Tout au long de sa vie, chaque individu sécrète son propre exosquelette qui, selon les espèces, est soit dur (à base de calcaire), soit mou et protéinique. Les coraux forment des colonies. Ils se développent à partir de minéraux prélevés dans l'océan et le squelette global s'agrandit au fil du temps. L'accumulation de squelettes durs forme les récifs coralliens, dont certains sont devenus les plus grandes structures complexes connues créées par des organismes vivants, appelées « grandes barrières de corail ».

LA PLUS GRANDE BARRIÈRE
DE CORAIL S'ÉTEND SUR QUELQUE
2 000 KM, AU LARGE DES CÔTES
AUSTRALIENNES.

UNIS POUR LA VIE

La plupart des coraux vivent en symbiose avec des micro-algues unicellulaires photosynthétiques (les zooxanthelles) majoritairement dans les mers chaudes. Celles-ci leur fournissent pigments et nutriments ! Outre ces micro-organismes, les récifs coralliens forment des écosystèmes foisonnants :



Prélèvement d'échantillons de corail. Les plongeurs récoltent quelques fragments et carottent dans le récif pour extraire un cylindre de squelette.

À bord. Les chercheurs trient, préparent et conditionnent les échantillons avant de les envoyer à terre.

03

poissons, protistes, bactéries et champignons y vivent en harmonie.

LE BLANCHISSEMENT, UN SYMPTÔME

Mais cette symbiose est fragile. Une hausse de température de quelques degrés par rapport à la normale suffit pour que l'algue soit expulsée du corail ; ce dernier, privé de nutriments et de pigments, dépérit et devient pâle : on parle de blanchissement. La micro-algue est capable de revenir dans le corail si la température diminue mais, si la hausse subsiste plusieurs semaines, le corail

finit par mourir. La fréquence des épisodes de blanchissement a un impact majeur sur les capacités du récif à se régénérer.

RÉCHAUFFEMENT ET ACIDIFICATION DES OCÉANS

L'augmentation des gaz à effet de serre liée aux activités humaines a un fort impact sur le réchauffement climatique. Une partie de ces gaz présents dans l'atmosphère est absorbée par l'océan. Ils augmentent sa température, perturbent sa composition chimique et le rendent plus acide, + 30 % depuis un siècle ! Ce phénomène

agit de façon négative sur la reproduction et la calcification du squelette corallien.

Les SAVANTURIERS 4 à (re)lire
« Nom de code CO₂ »

LEXIQUE

Coraux durs : coraux ayant un squelette calcaire.

Protéinique : constitué de macromolécules biologiques.

Symbiose : association intime, durable et obligatoire à leur survie entre deux organismes d'espèces différentes.

Photosynthétique : organisme qui utilise l'énergie lumineuse pour croître et se reproduire.

Protiste : organisme vivant unicellulaire à noyau.

On cherche !



Hong Kong – mars 2018

À l'embouchure de la Pearl River, seules 6 espèces de coraux sur 60 ont résisté à la pollution et aux vagues de réchauffement.

Samoa – décembre 2016

L'impact des rejets (substances chimiques, eaux usées, déchets) ainsi que la surpêche, combinés au réchauffement climatique, ont entraîné un fort blanchissement des coraux, jugé irréversible.

Palau – janvier 2018

Les 500 espèces de coraux se sont adaptées à l'acidification naturelle, due à des sources sous-marines de CO₂. De plus, cet état insulaire met en œuvre une politique active de protection de l'environnement, ce qui laisse présager la survie de la biodiversité.

Chesterfield – septembre 2017

Ces îles sont des joyaux de biodiversité encore intacts. Les courants froids et les vents, qui ont empêché l'eau de se réchauffer, associés au peu d'activités anthropiques, ont préservé ce récif.

Ducie – septembre 2016

Le blanchissement, ponctuel, des coraux est dû à la vague de réchauffement El Niño. Les récifs de cette île inhabitée sont préservés des activités humaines et les chercheurs estiment qu'ils pourront se rétablir et préserver l'écosystème à long terme.

LA VIE DES RÉCIFS CORALLIENS

SAVOIR POUR PRÉVOIR

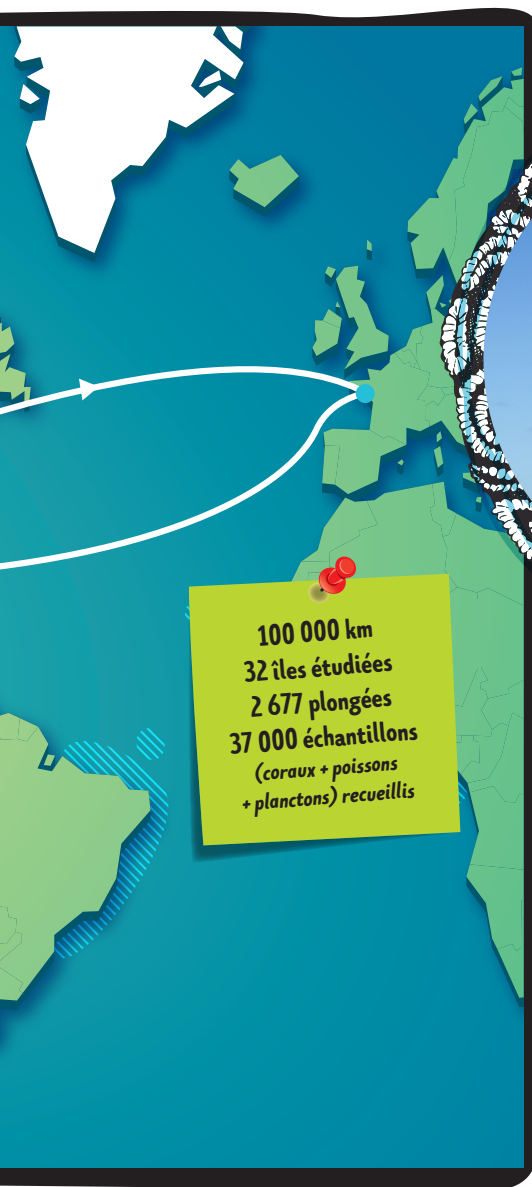
Depuis 2003, la Fondation Tara cherche à comprendre l'impact des changements climatiques sur les océans. Dans ce but, la goélette Tara a mené plusieurs expéditions, chacune avec un sujet de recherche précis. De retour à Lorient après plus de deux ans de navigation, la mission Tara Pacific dressera un état des lieux, un constat au niveau de tout un océan : où et comment les coraux sont-ils dégradés ? Et, à partir de toutes ces données, les chercheurs quantifieront la perte de biodiversité.

Objectif de la mission Tara Pacific

En réalisant le séquençage de l'ADN de tous les échantillons prélevés, les chercheurs pourront :

- comprendre la biodiversité des récifs et les interactions entre les différentes espèces : coraux – algues – poissons ;
- étudier la part microbienne des organismes à l'origine des équilibres des écosystèmes marins ;
- appréhender les mécanismes de résistance et d'adaptation des récifs, face à l'acidification des océans, au changement climatique, aux conséquences des activités humaines... en corrélant l'analyse ADN avec l'imagerie et l'analyse chimique des coraux et les paramètres physiques et chimiques des océans (température, acidité, oxygène, métaux...). •





La goélette Tara.



COMMENT S'ORGANISE UNE JOURNÉE À BORD ?

Nous partons très tôt sur site. Les plongées durent entre 1 heure et demie et 2 heures, nous prélevons les petits morceaux de coraux en sachets, dans de l'eau à bonne température, pour les maintenir dans un état de moindre stress. En plus des coraux, nous prélevons aussi des poissons pour étudier le microbiome présent dans leur tractus intestinal et leurs branchies ; nous comparerons leurs bactéries propres avec celles présentes dans l'environnement (eau et coraux) pour comprendre l'écosystème complet. À bord du bateau, nous conditionnons l'ensemble des échantillons du jour afin qu'ils soient étudiés plus tard, à terre.

AVEZ-VOUS FAIT DES PREMIÈRES CONSTATATIONS ?

Sur une île des Samoa, nous avons observé que quasiment tous les coraux étaient morts. Comme il restait leurs structures intactes, nous en avons déduit que cela s'était produit depuis peu. En faisant le tour de l'île, nous avons malheureusement constaté que plus de 80 % des coraux avaient blanchi. L'espoir, c'est que dans deux zones de protection marine, le taux de mortalité est bien moindre et que les coraux réapparaissent. Nous avons aussi trouvé des espèces plus résistantes : pourquoi, comment ? C'est ce qu'il nous faudra déterminer. Nous avons immédiatement rédigé un rapport, l'avons publié et envoyé aux autorités samoanes. Nous agissons toujours ainsi ; dans chaque pays où nous avons plongé, nous informons les autorités.

Chercheuse

VALÉRIE BARBE

FORMATION

BAC D

DEUG SVT

LICENCE BIOCHIMIE

MAÎTRISE BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

DEA BIOLOGIE MOLÉCULAIRE ET CELLULAIRE

THÈSE EN BIO-INFORMATIQUE ET GÉNOMIQUE

QUAND PUBLIEZ-VOUS DES RÉSULTATS ?

Tous les chercheurs qui ont participé à la mission Tara Pacific collaboreront pour la publication de l'ensemble des résultats, via des articles scientifiques. Il faut que tous les échantillons soient séquencés, analysés, comparés sur l'ensemble des 32 îles. Pour cela, nous nous voyons tous les six mois et nous tenons mutuellement informés de nos recherches. Cela nous prendra deux à trois ans.

VOUS ÊTES TRÈS IMPLIQUÉE

Je suis plongeuse, tout ce qui concerne la mer me touche beaucoup : voir la biodiversité devenir de moins en moins riche, tous les constats que je fais... Participer à ce type de missions est naturel et important ; j'ai envie d'apporter ma pierre pour sauver nos océans. ●

LEXIQUE

Microbiome : biodiversité des bactéries présentes dans un organisme.

El Niño : phénomène climatique qui se caractérise par des températures de l'eau anormalement élevées dans la partie est de l'océan Pacifique Sud, représentant une extension vers le Sud du courant chaud péruvien.



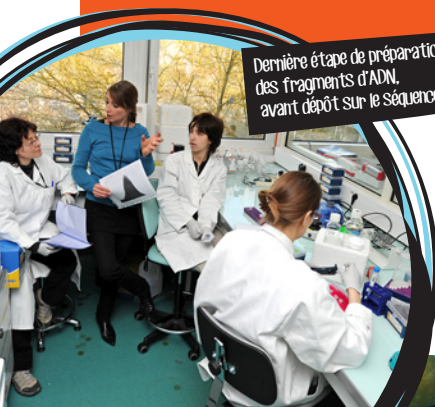
RETROUVEZ L'INTÉGRALITÉ DE L'INTERVIEW SUR cea.fr

LE GENOSCOPE

Le Genoscope, centre de séquençage pour l'étude de la biodiversité, a coordonné deux des quatre missions : Tara Oceans, de 2009 à 2013, pour l'étude de l'écosystème planctonique, et Tara Pacific, de 2016 à 2018, dédiée à l'étude de la capacité d'adaptation des récifs coralliens au changement climatique... et bien plus encore !

Il n'a été que peu impliqué dans les missions Tara Arctique 2006-2008 et Tara Méditerranée 2014, qui se sont concentrées sur l'étude de la physique des glaces et des pollutions au plastique.

Dernière étape de préparation des fragments d'ADN, avant dépôt sur le séquenceur.



SUR LE BATEAU

Les chercheurs ont établi un protocole d'échantillonnage précis. Afin de pouvoir comparer les données recueillies sur tous les sites, ils ont choisi trois espèces de coraux – *Porites lobata*, *Pocillopora meandrina* et *Millepora platyphylla* – et deux poissons chirurgiens, *Zanclus* et *Acanthurus*. Ils ont aussi prélevé l'eau au-dessus des récifs et, pendant la navigation, étudié l'ensemble des planctons de surface. Pour chaque échantillon, ils ont aussi relevé le pH, la température, la luminosité, le taux d'oxygène et de métaux... •



Valérie lors d'une opération de carottage.



Pocillopora meandrina.



LE MINI-SÉQUENCEUR MINION

Le Minlon est un mini-séquenceur qui utilise une nouvelle technique : le nanopore. Pas plus gros qu'une clé USB, il peut être embarqué à bord pour réaliser des analyses ADN sur le lieu de prélèvement, en moins de 48 heures. Cette technologie ne permet pas un séquençage complet de génomes de coraux complexes, mais au moins leur identification lorsqu'elle est impossible à l'œil nu. Avec le Minlon, on peut aussi étudier la diversité des micro-organismes, algues et bactéries qui vivent à l'intérieur d'une colonie de corail.



Julie réalise un dépôt d'ADN sur un mini-séquenceur Minlon.

À TERRE

Tous les échantillons arrivent au Genoscope, véritable « hub » qui les réceptionne, les conditionne puis les redistribue dans tous les laboratoires impliqués. Sur place commence alors le travail de séquençage.

L'ADN contient l'ensemble du matériel génétique, l'information nécessaire aux êtres vivants pour survivre et se reproduire. Le séquençage de l'ADN consiste à déterminer l'ordre d'enchaînement des nucléotides (T, A, G et C) propre à chaque espèce, et ainsi d'obtenir le génome complet de chaque échantillon.

Tous les relevés de cette mission ont été organisés comme ceux de Tara Oceans; ils viendront donc enrichir les bases de données globales approvisionnées par les bio-informaticiens du Genoscope. Le volume des données, ouvertes et mises à disposition de la communauté scientifique mondiale, favorisera des approches statistiques variées, vastes et qualitatives. Ainsi, pour cette mission, les chercheurs travailleront sur les problématiques de connectivité des organismes entre les récifs et le grand large. Plus largement, ils auront recours à l'intelligence artificielle pour modéliser, comprendre et, au final, mieux préserver l'océan. •



Plus de
37 000
échantillons
recueillis

9 000 à séquencer pour Tara Pacific
La plus grande partie des 1 000
échantillons pour Tara Oceans
déjà séquencée

Sur l'écran de contrôle des séquenceurs, Eric sélectionne le nombre de cycles et les différents paramètres de qualité pour le programme de séquençage.

Julie et Stefan regardent la qualité des séquences triées et retenues suite à l'analyse primaire.



DÉCOUVREZ LES COULISSES DU
LABORATOIRE EN VIDÉO SUR cea.fr

UN ÉCOSYSTÈME VITAL

Alors qu'ils ne représentent que

0,2 %

de la surface des océans

(dont 40 % dans l'océan Pacifique), les récifs coralliens abritent

30 %

des espèces marines connues.

Dans le monde,

500 millions

de personnes dépendent directement d'eux

pour la pêche et le tourisme.

IL EST ENCORE TEMPS D'AGIR !

Quelques préconisations ont d'ores et déjà été formulées pour que l'écosystème corallien puisse faire face au réchauffement climatique. Il est impératif de réduire les émissions de CO₂ afin de laisser le temps aux coraux de s'adapter au réchauffement global des océans et récupérer entre plusieurs épisodes de blanchissement. De plus, les récifs doivent être préservés localement de la prolifération des déchets plastique, du tourisme non durable, de la surpêche, des fuites d'hydrocarbure. Il faut aussi éviter de développer de grandes infrastructures côtières. ●



Hub : plateforme centrale d'un réseau.



FORMATION

BAC S

**MASTER BIOLOGIE ET SANTÉ
À L'UNIVERSITÉ DE VERSAILLES**

**DOCTORAT EN BIOLOGIE
GÉNOMIQUE À L'UNIVERSITÉ
PIERRE ET MARIE CURIE**

RACONTEZ-NOUS VOTRE MISSION À BORD

Je suis parti sur le bateau Tara tester la fonctionnalité du nouveau séquenceur Minlon, que l'on souhaite adapter pour l'étude de l'ADN des coraux, directement à bord. Nous étions en Papouasie-Nouvelle-Guinée, un pays intéressant pour sa biodiversité, avec pas moins de 500 espèces de coraux différentes ! En trois semaines, nous avons collecté et étudié 60 colonies.

Ma collègue Julie Poulain, spécialiste en biologie moléculaire, met au point les différents procédés de traitement du corail, du prélèvement de l'échantillon jusqu'au séquençage de l'ADN. Et moi, bio-informaticien, je suis chargé d'analyser ces séquences pour en tirer des informations sur les coraux et les micro-organismes qu'ils hébergent.

QUEL EST L'INTÉRÊT DE CETTE TECHNIQUE ?

Séquencer à bord évite de stocker trop d'échantillons sur le bateau. Surtout, cela nous donne immédiatement un aperçu du fonctionnement d'un récif, pour réorienter nos recherches en temps réel.

EN QUOI CONSISTE VOTRE TRAVAIL À TERRE ?

De retour au laboratoire, je suis chargé de l'analyse des séquences d'ADN des coraux, grâce à laquelle nous recensons leur diversité et comprenons comment fonctionnent ces organismes. L'expression de leurs gènes nous renseigne sur leur activité au moment du prélèvement : est-ce qu'ils étaient en stress, en bonne santé ou au contraire en train de mourir ?

Les 5000 échantillons de coraux seront traités au Genoscope. L'intérêt est de faire une analyse comparative de l'évolution et de la diversité des espèces d'un bout à l'autre du Pacifique. Nous avons un deuxième axe de recherche : comment les coraux s'adaptent au changement climatique, résistent plus ou moins aux variations de température ou à l'acidification des océans.

Toutes les séquences vont enrichir des bases de données publiques qui existent déjà et seront disponibles pour toute la communauté scientifique.

QU'EST-CE QUI VOUS PLAÎT AU QUOTIDIEN ?

La biologie, comprendre comment fonctionne notre environnement, c'est fondamental. La bio-informatique consiste à utiliser la puissance de l'ordinateur pour traiter les milliers d'informations présentes dans une molécule d'ADN et ainsi mieux comprendre le vivant. Mon métier concilie les deux, c'est ce qui me plaît ! ●



RETROUVEZ L'INTÉGRALITÉ
DE L'INTERVIEW SUR **ceq.fr**



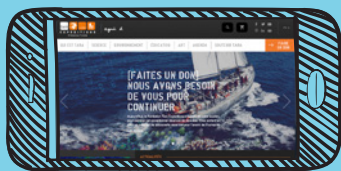
Scénario : Félix Elvis Le Pottier – dessins : Guillaume Penchinat

ENVIE D'EN SAVOIR PLUS SUR TARA, DÉCOUVREZ LES RESSOURCES DIGITALES SUR



cea.fr/go/savanturiers

SITE TARA OCEANS



<https://oceans.taraexpeditions.org/>

YouTube CEA Sciences

« TARA PACIFIC, LA GOÉLETTE MET À NOUVEAU LES VOILES »

Interview de Patrick Wincker – Julie Poulain – Valérie Barbe – juin 2016

<https://www.youtube.com/watch?v=CFPSjMAoLtQ>



« LE GENOSCOPE, CENTRE NATIONAL DE SÉQUENÇAGE »

octobre 2013

<http://www.cea.fr/comprendre/jeunes/Pages/metiers/videos-metiers/centre-national-sequence.aspx>

Éditeur :
Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives,
RCS Paris B 775 685 019

Directeur de la publication :
Marie-Ange Folacci

Conseiller scientifique :
Patrick Wincker

Ont participé à ce numéro :
Valérie Barbe, Juliette Bergdolt, Quentin Carradec,
Florence Klotz, Lucia Le Clech, Julie Poulain

Infographies : Antoine Levesque

Animation : Gary Levesque

Crédits : Pete West / Bioquest Studios, Maëva Bardy,
L.Godart / CEA, C.Dupont / CEA, Loïc Menard,
Lauric Thiault, F.Rhodes / CEA, Adobe Stock

Création, réalisation : Alexandre Cheyrou

Secrétariat de rédaction : Ellipse

Impression : PrintVallée – février 2019
ISSN 2271-6262



Nous remercions Fabienne
Chauvière d'avoir accepté
que nous empruntons le titre
de son émission.

SITES

www.cea.fr
www.cea.fr/jeunes
www.cea.fr/enseignants

