

du fluide hydrothermal, même en petite quantité, augmente notablement la proportion de sulfure toxique H_2S aux alentours des sources. Certaines espèces, tel *Riftia pachyptila*, semblent éviter par des adaptations biochimiques la diffusion d' H_2S à l'intérieur de leur branchie, alors que la forme moins toxique HS^- est assimilée. D'autres organismes, tels les bivalves du genre *Bathymodiolus*, sont protégés par des bactéries symbiotes qui consomment le sulfure directement dans leur branchie.

En plus d'être extrêmes, les environnements hydrothermaux sont soumis à de violentes perturbations naturelles. Les plus spectaculaires sont les éruptions volcaniques majeures, qui couvrent de lave un grand nombre de sites et suppriment toute trace de vie. Après ces épisodes, la vie se réinstalle vite autour des sources, selon une séquence de recolonisation qui dure quelques années.

POMPÉI SOUS LES MERS

Les tapis microbiens réapparaissent en premier. En moins d'un an, ils sont rejoints par des espèces pionnières telle *Tevnia jerichonana*, un ver apparenté à *Riftia pachyptila*. La suite est plus variable: ces espèces prospèrent ou laissent la place à d'autres qui deviennent à leur tour dominantes, mais les populations déclinent parfois et s'éteignent. La recolonisation s'accompagne de changements rapides dans la composition des fluides, et donc dans les formes d'énergie disponibles, ainsi que dans les contraintes de température et de toxicité. Le rôle de ces changements sur les successions observées reste l'une des grandes questions actuelles; en particulier, les conditions qui favorisent une espèce symbiotique plutôt qu'une autre sont débattues, faute de bien connaître les besoins physiologiques des différentes espèces et de leurs bactéries symbiotes.

Des événements moins violents que les éruptions volcaniques conduisent aussi à l'extinction locale des populations. Ainsi, un phénomène de séparation de phase se produit parfois à plusieurs centaines de mètres sous le plancher océanique: une fraction du fluide, concentrée en éléments lourds (sels, métaux...), se condense sous forme de saumure, tandis qu'une fraction plus légère, enrichie en composés volatils (sulfure d'hydrogène, hydrogène, méthane...), remonte à la surface. La composition des fluides hydrothermaux change alors au cours du temps, les éléments les plus volatils étant émis en premier et les plus lourds ensuite. Lorsque la fraction légère riche en sulfure s'épuise, les espèces symbiotiques, dont c'est la ressource principale, disparaissent.

Nous l'avons vu, la composition des fluides dépend des roches à travers lesquelles ils passent. Or dans certains cas, ces roches sont

celles du manteau terrestre: situées sous la croûte, elles sont le plus souvent loin de la surface et inaccessibles aux fluides, mais parfois, déplacées par des forces tectoniques, elles s'en rapprochent, allant jusqu'à affleurer sur les fonds marins. Très réactives, les roches du manteau s'altèrent au contact de l'eau. Ce phénomène, nommé serpentinitisation, produit de l'hydrogène en grande quantité, qui réagit lui-même spontanément à haute température et haute pression

avec le CO_2 pour former du méthane. Ces deux composés constituent des sources d'énergie alternatives au sulfure pour les communautés chimiosynthétiques peuplant les sources hydrothermales.

MÉTHANE ET SULFURE AU MENU

Sur le site *Rainbow*, au sud des Açores, où les fluides sont très concentrés en fer et les sulfures libres quasi absents de l'environnement, le méthane constitue par

exemple la source d'énergie principale de la moule *Bathymodiolus azoricus*. Celle-ci est aussi associée à des bactéries sulfo-oxydantes, et cette double symbiose lui permet de proliférer sur de nombreux sites de la dorsale Atlantique, aux teneurs variables en méthane et en sulfure.

Outre *Rainbow*, plusieurs sites hydrothermaux sont situés sur des roches serpentinitisées: *Logatchev*, *Ashadze*... Ce dernier, découvert en 2007 par une équipe franco-russe, est le plus profond, à 4000 mètres sous la surface. Sur les dorsales océaniques au volcanisme peu actif, qualifiées de lentes, ces environnements offrent une large gamme d'habitats aux populations chimiosynthétiques, dont la croissance et l'extinction sont rythmées par la durée de vie des sources, souvent éphémères. Sur certains sites, les fluides sont non pas acides, mais basiques. Les fumeurs noirs sont alors remplacés par de spectaculaires «cités blanches» (voir la figure page ci-contre). Celles connues aujourd'hui sont principalement peuplées de microorganismes, mais elles pourraient avoir abrité des faunes macroscopiques abondantes.

Les sites hydrothermaux offrent donc de multiples preuves des spectaculaires facultés d'adaptation des organismes, mais ce n'est pas leur seul intérêt. Ils représentent aussi des réserves potentielles d'hydrogène pour nos sociétés humaines à la recherche d'énergies non polluantes. ■

Les sites hydrothermaux recèlent des réserves potentielles d'hydrogène

BIBLIOGRAPHIE

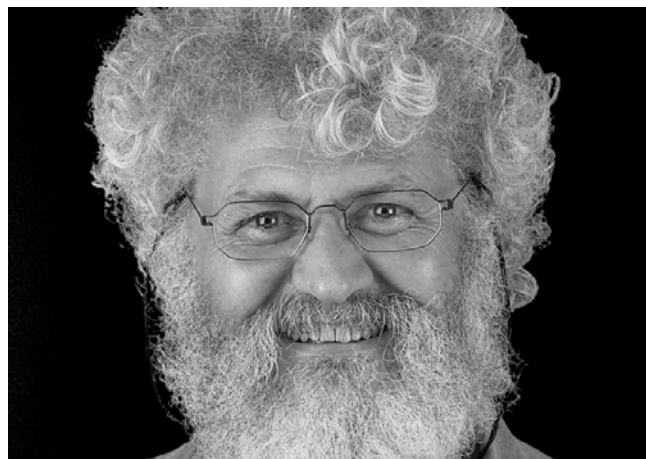
S. TOXVAERD, A Prerequisite for Life, *J. Theor. Biol.*, vol. 474, pp. 48-51, 2019.

E. BAKER ET AL., How many vent fields? New estimates of vent field populations on ocean ridges from precise mapping of hydrothermal discharge locations, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 449, pp. 186-196, 2016.

J. RESING ET AL., Basin-scale transport of hydrothermal dissolved metals across the South Pacific Ocean Nature, vol. 523, pp. 200-203, 2015.

N. LE BRIS ET F. GAILL, How does the annelid *Alvinella pompejana* deal with an extreme hydrothermal environment ?, in *Rev. in Env. Sc. Biotech.*, vol. 6, pp. 197-221, 2007.

ÉRIC KARSENTI



Plusieurs milliers d'espèces de plancton repérées par *Tara Oceans* sont inconnues

L'étude du plancton océanique et de son rôle écologique était le principal objectif de l'expédition *Tara Oceans*. Pouvez-vous nous rappeler ce que recouvre le terme de plancton ?

Éric Karsenti : Le plancton (marin) est constitué de tous les organismes vivants qui se laissent dériver à grande distance dans l'océan, même si beaucoup d'entre eux, comme les méduses, peuvent se déplacer activement sur de courtes distances. Cela inclut donc les virus, les bactéries et archées, les protistes (c'est-à-dire les eucaryotes unicellulaires tels que les protozoaires et les microalgues), le zooplancton, constitué d'animaux pluricellulaires dont la taille va d'environ 0,1 millimètre à plusieurs centimètres, et le phytoplancton (le plancton végétal).

BIO EXPRESS

10 SEPTEMBRE 1948
Naissance à Paris

1979
Thèse à l'institut Pasteur

1996
Création du département de biologie cellulaire et de biophysique au Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL).

2009
Directeur scientifique de l'expédition *Tara Oceans*.

2015
Médaille d'or du CNRS.

Pour quelles raisons l'expédition *Tara Oceans* a-t-elle été mise en place ?

Éric Karsenti : L'idée initiale était de monter une expédition médiatique, dans un objectif de vulgarisation scientifique, pour parler au grand public d'évolution, de biologie marine... Mais le coût d'une telle opération s'est révélé prohibitif.

Par ailleurs, en discutant avec Christian Sardet et Gaby Gorsky, de l'observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer, ainsi qu'avec d'autres chercheurs, je me suis aperçu qu'on ne savait presque rien sur le plancton à l'échelle globale, alors même que les microorganismes marins ont joué un rôle de premier plan dans l'évolution de la vie sur Terre, par exemple en enrichissant l'atmosphère terrestre en oxygène. Ainsi a émergé, notamment au travers de discussions avec Gaby Gorsky,

Colomban de Vargas et d'autres, l'idée de caractériser de façon exhaustive l'écosystème planctonique, des virus jusqu'aux larves de poissons.

C'est cette vision que nous avons réussi à faire financer en partie par des organismes publics (CNRS, CEA, EMBL...). Nous avons recruté des spécialistes de diverses disciplines, sollicité la fondation Tara Océan et sa goélette du même nom et, ce qui était une partie essentielle de l'entreprise, nous avons défini les procédures d'échantillonnage, en fonction des classes d'organismes et des objectifs scientifiques que nous nous sommes fixés.

Y avait-il déjà eu d'autres missions analogues d'exploration du plancton ?

Éric Karsenti : Depuis Darwin et son grand voyage autour du monde à bord du *Beagle*, et surtout l'expédition du *Challenger* (1872-1876) qui est à l'origine de l'océanographie moderne, il y a eu peu d'expéditions à long terme en circumnavigation avec un programme intégré. Mais il y a une dizaine d'années, le biologiste et homme d'affaires américain Craig Venter a monté une expédition d'échantillonnage de la diversité génétique des bactéries océaniques. Cette *Global Oceanic Sampling Expedition*, qui s'est déroulée de 2004 à 2006, a consisté à pomper l'eau en surface pour recueillir les bactéries et séquencer globalement leurs génomes. En cela, Craig Venter a été un précurseur de la métagénomique, démarche qui consiste à analyser le matériel génétique de toute une population de microorganismes différents. Mais d'une part les techniques de séquençage de l'époque étaient encore rudimentaires, d'autre part cette exploration se limitait à la génétique et ne cherchait pas du tout à caractériser l'écologie des communautés microbiennes. Son envergure n'est donc pas comparable à celle de *Tara Oceans*.

De quelle façon la mission *Tara Oceans* se déroulait-elle ?

Éric Karsenti : L'équipage était constitué de six marins, six scientifiques, un journaliste et un artiste. Nous naviguions pendant trois ou quatre jours, puis restions en station 60 heures en général pour collecter des échantillons à différentes profondeurs – de la surface jusqu'à 600 mètres.

Pour les protistes et autres microorganismes, il suffisait de pomper et filtrer une centaine de litres d'eau. Pour les organismes plus gros, qui sont plus

parsemés, il fallait des volumes d'eau beaucoup plus importants qu'il n'était pas question de pomper : cela aurait nécessité des moyens trop lourds. Leur récolte s'effectuait donc en laissant traîner des filets, équipés de débitmètres et dont la maille avait une taille adaptée aux organismes visés.

Les échantillons étaient généralement conservés à -20°C , parfois à la température de l'azote liquide (-195°C) ; certains organismes collectés étaient placés dans du formol. Tous les mois ou deux, on les expédiait à l'EMBL, à Heidelberg, qui les répartissait ensuite entre le Genoscope, à Evry, et les laboratoires de Villefranche-sur-Mer, de Roscoff, de Barcelone et de l'université de l'Arizona. Cela représentait à chaque fois environ une tonne de matériel !

Les sites d'échantillonnage étaient-ils choisis au hasard ?

Éric Karsenti : Pas du tout. Nous nous sommes efforcés de faire un choix de stations représentatives (il y en a eu 210 au total) en nous appuyant sur des cartes satellitaires dressées par des océanographes, en tenant compte des paramètres environnementaux (vent, température, courant...), de la richesse ou de la pauvreté du milieu, des particularités de certains endroits... Nous voulions un échantillonnage non seulement représentatif et assez complet, mais aussi qui soit corrélé avec les données environnementales et l'histoire océanographique de la masse d'eau sondée. C'est ce qui fait la force de *Tara Oceans* : une telle approche écosystémique n'avait jamais été adoptée auparavant.

Comment les échantillons sont-ils analysés ?

Éric Karsenti : Les analyses sont de deux types. Il s'agit d'une part d'imagerie, d'autre part de séquençage. L'imagerie, par microscopie, par cytométrie en flux..., est essentiellement faite dans les laboratoires que j'ai mentionnés, mais il y avait

aussi de l'imagerie réalisée *in situ*, grâce à une caméra que l'on immergeait à des profondeurs variables (entre la surface et 1000 mètres de profondeur) et qui permettait d'enregistrer des images d'organismes de taille supérieure à 0,5 millimètre environ.

Quant au séquençage, il est question aussi bien de métagénomique, c'est-à-dire du séquençage de l'ADN global de l'échantillon, que de métatranscriptomique, c'est-à-dire du séquençage de son ARN. Ces analyses apportent des informations sur la diversité génétique et taxonomique de chaque échantillon, ainsi que sur les gènes exprimés. À ces « métaséquençages » s'est ajouté le séquençage de quelques génomes entiers de petits organismes eucaryotes, afin de fournir des références de comparaison. De ce point de vue, le Genoscope, sous l'impulsion de Jean Weissenbach puis de Patrick Wincker, a réalisé un travail colossal et d'une très grande qualité.

Qu'a-t-on ainsi appris sur la diversité du microplancton marin ?

Éric Karsenti : Pour les protistes, les données des séquençages effectués indiquent qu'ils regroupent de l'ordre de 150 000 genres rien que dans les eaux de surface, alors qu'on ne connaissait une dizaine de milliers d'espèces seulement. En termes d'espèces, cela fait bien sûr beaucoup plus, peut-être entre 1 et 10 millions. Et le tiers environ de ces unités taxonomiques n'ont pu être rattachées à aucun des groupes connus d'eucaryotes...

Pour ce qui est des virus et bactéries, les analyses montrent qu'ils englobent près de 40 millions de gènes différents, dont la plupart (59%) semblent bactériens. Une partie des gènes répertoriés provient d'études et missions antérieures, mais plus de 80% d'entre eux proviennent du recensement de *Tara Oceans*. On estime aussi qu'environ 30% des dizaines de milliers d'espèces de bactéries contenues dans les échantillons de

>

> *Tara Oceans* n'étaient pas connues de la science. Ce chiffre serait de l'ordre de 90% pour les virus.

Vous avez obtenu des résultats surprenants concernant des protistes nommés rhizaires. De quoi s'agit-il ?

Éric Karsenti : Les rhizaires constituent un grand groupe de protistes auquel appartiennent notamment les radiolaires. Ils ont un squelette minéral dont émergent des pseudopodes. Certains rhizaires sont des géants dans le microplancton et peuvent atteindre plusieurs centimètres, mais ils sont extrêmement fragiles et passent donc le plus souvent inaperçus dans les prélèvements. Avec plusieurs autres chercheurs, Tristan Biard, de la station biologique de Roscoff, a étudié les rhizaires de taille supérieure à 0,6 millimètre en examinant 1,8 million d'images prises par une caméra spéciale immergée, dans le cadre de 11 campagnes océaniques qui se sont déroulées entre 2008 et 2013, en particulier celle de *Tara Oceans*.

Et quels ont été les résultats ?

Éric Karsenti : Cette étude a notamment permis d'estimer la biomasse constituée par les rhizaires vivant dans les 200 premiers mètres de profondeur. Elle se révèle énorme, très supérieure à ce que l'on soupçonnait : en carbone, elle équivaut à plus de 5% de celle de tous les organismes marins. De plus, les rhizaires sont relativement abondants dans les vastes régions océaniques pauvres en nutriments, où ils seraient avantagés par leur capacité à vivre en symbiose avec des microalgues. Leur biomasse y est équivalente à celle de tous les autres organismes planctoniques de taille comprise entre 0,2 et 20 millimètres. Ces découvertes modifient notre compréhension des écosystèmes planctoniques, et suggèrent que les rhizaires pourraient avoir un poids important dans le bilan des flux de carbone des océans.

Y a-t-il d'autres études de *Tara Oceans* qui portent sur les flux de carbone ?

Éric Karsenti : Lionel Guidi, du laboratoire de Villefranche-sur-Mer, et d'autres chercheurs en ont publié une en même temps que celle de l'équipe associée à Tristan Biard. En s'appuyant sur des analyses informatiques et génétiques, ils ont caractérisé certains réseaux d'organismes planctoniques qui sont associés à l'export de carbone dans les régions océaniques

pauvres en nutriments, l'export de carbone désignant le processus par lequel le carbone contenu dans les organismes marins finit par couler et par se retrouver séquestré dans les fonds. Mais il reste encore beaucoup à comprendre...

Comment étudie-t-on les interactions de tous ces organismes ?

Éric Karsenti : Des méthodes bio-informatiques permettent, à partir des données des séquençages de l'ADN et de l'ARN des échantillons, qui renseignent sur la nature et l'abondance des différents organismes présents, de « cartographier » les interactions. Leur principe consiste à déterminer les cooccurrences et à les analyser. L'idée est par exemple que si un taxon (un type d'organismes apparentés) donné A se retrouve systématiquement dans les échantillons où est présent le taxon B, on « prédit » que les taxons A et B sont en interaction. On vérifie ensuite

l'environnement explique seulement 18% des variations de composition.

Les microorganismes planctoniques sont-ils répartis de façon particulière dans les océans ?

Éric Karsenti : *Tara Oceans* a confirmé des choses que l'on savait déjà, comme le fait que la biodiversité du plancton est plus riche dans les régions tropicales mais qu'il est plus abondant dans les mers froides. Elle a aussi montré que la circulation océanique joue un rôle particulièrement important dans la façon dont se distribuent les communautés d'organismes planctoniques.

Par exemple, une étude a porté sur l'influence des anneaux d'Agulhas (ou anneaux des Aiguilles), de vastes tourbillons qui se forment à l'est de l'Afrique du Sud, entre l'océan Indien et l'océan Atlantique sud. Les données de *Tara Oceans* ont montré que ces anneaux forment une sorte de barrière qui isole l'une

« Les rhizaires auraient un poids important dans le bilan des flux de carbone des océans »

les prédictions bio-informatiques en observant au microscope certains des échantillons, pour confirmer par exemple que les organismes A et B sont bien physiquement associés.

On observe ainsi que la plupart des organismes sont en interaction, qu'il s'agisse de symbiose, de parasitisme ou de commensalisme. Ainsi, il n'y a quasiment pas de protistes isolés. On peut trouver aussi des relations d'exclusion (la présence d'une espèce excluant celle d'une autre), et les chercheurs ont constaté que de telles relations concernent globalement 20% des organismes planctoniques.

Ces cartographies des réseaux d'interactions prennent également en compte les paramètres environnementaux (pH, température, concentration en phosphates...). Or le rôle des facteurs environnementaux dans la composition des communautés planctoniques s'est révélé bien moins important qu'on ne le pensait :

de l'autre les communautés planctoniques des deux océans. Plus généralement, l'analyse des données de l'expédition devrait fournir une vision globale de la concentration des organismes planctoniques et de leur diversité selon les régions. Et la comparaison avec ce que l'on sait sur les poissons sera sans doute utile pour la gestion des pêcheries.

Le réchauffement climatique perturbe-t-il les populations de plancton ?

Éric Karsenti : *Tara Oceans* a mis en évidence une stricte corrélation entre la température et la composition en archées et bactéries du plancton. Dans les profondeurs où la lumière pénètre, la température est, de fait, le principal facteur environnemental qui influe sur la composition du plancton. On devrait donc pouvoir se faire une idée de la façon dont la distribution des organismes planctoniques

MODÉLISER L'ÉCOSYSTÈME OCÉAN

Fort des avancées en écosystémique globale réalisées dans la première décennie du projet *Tara Oceans* (2009-2019), et publiées dans les meilleures revues scientifiques, nous avons pu nous structurer en fédération de recherche (FR2022), un institut virtuel regroupant 22 équipes internationales (11 en France, dont la fondation Tara Océan) autour d'une nouvelle odyssée : *Tara GO-SEE* (Global Ocean Systems Ecology & Evolution). L'objectif est de comprendre les principes fondamentaux d'écologie et d'évolution d'un premier écosystème complexe sur notre planète, en vue d'établir une théorie quantitative robuste de sa dynamique et de sa résilience. Entre les atomes, les cellules, les organismes, d'un côté, et le climat, les étoiles et les galaxies de l'autre, pour lesquels des centaines de milliards d'euros ont été dépensés pour leur étude, se trouvent les écosystèmes : ces réseaux de vie autoorganisés et adaptatifs, qui interagissent avec l'environnement sur de multiples échelles. Les écosystèmes sont peut-être les « objets » les plus complexes de notre Univers, car ils intègrent l'ensemble du vivant dans sa matrice physicochimique ; pour cette raison, ils ont longtemps échappé à la mesure scientifique et semblaient insondables. Or dans *Tara Oceans*, nous avons prouvé le contraire. Grâce à l'échantillonnage systématique du plancton marin sur des échelles taxonomiques (des virus aux animaux), systémique (des gènes aux organismes) et spatiotemporelle (4 ans sur les océans planétaires) intégrales, nous avons généré la plus grande base de données de séquences ADN/ARN et d'images d'organismes à l'échelle d'un biome. Pour la première fois nous percevons les frontières de la complexité réelle d'un écosystème global, et nous avons développé des concepts et méthodes pour intégrer les données génétiques, d'imagerie, et environnementales (biophysicochimiques), et commencer



L'écosystème marin, dont le plancton est un rouage clé, est-il l'« objet » le plus complexe de l'Univers ?

à découvrir la structure et la dynamique du grand réseau de vie planctonique. Dans *Tara GO-SEE*, nous proposons de poursuivre notre approche « pan-écosystémique » pour répondre, au cours des 10-15 prochaines années, à quelques questions fondamentales. Comment la vie s'est-elle diversifiée et complexifiée au niveau des écosystèmes ? Comment les organismes interagissent-ils et quelles sont les règles d'auto-organisation du vivant dans les écosystèmes ? Comment intégrer la complexité de la vie dans les modèles des grandes fonctions émergentes de l'océan (pompe à carbone, climat, réseaux trophiques et pêcheries). Notre hypothèse principale est que les interactions des organismes et leurs comportements collectifs sont à la base des mécanismes qui génèrent la biodiversité et régulent les communautés. Or ces forces

« symbiotiques » n'ont pas encore été quantifiées ni modélisées aussi bien en écologie qu'en évolution. Une approche au niveau de l'écosystème est nécessaire pour une compréhension holistique de ces processus qui pourraient tout simplement réguler notre monde. Pour ce faire, nous allons non seulement continuer à exploiter les données écomorphogénétiques issues des expéditions *Tara Oceans* et *Tara Pacific*, mais aussi développer des nouvelles approches analytiques pour combler des lacunes d'information, et intégrer et formaliser les données hétérogènes. Enfin nous retournerons en mer avec une nouvelle océanographie suffisamment flexible et réactive pour mesurer les processus clés de l'écosystème océan sur des échelles spatiotemporelles pertinentes.

COLOMBAN DE VARGAS,
FONDATION TARA OCÉAN

changera avec le réchauffement climatique. Par ailleurs, les résultats que j'ai déjà évoqués concernant les flux de carbone sont un avant-goût de ce que l'on peut apprendre sur la place du plancton dans la machinerie climatique de la Terre.

Quelles suites aura *Tara Oceans* ?

Éric Karsenti : D'abord, l'exploitation complète des échantillons et données recueillis demandera encore quelques années de travail. De nouvelles publications sont

d'ailleurs en cours, l'une sur la circulation océanique et la répartition du plancton, une autre sur la métatranscriptomique des eucaryotes, une troisième sur les îles du Pacifique et le rôle du fer, la quatrième sur les génomes de dizaines d'organismes unicellulaires clefs. Il reste aussi à exploiter la dernière phase de la mission, qui s'est déroulée dans l'océan Arctique. De plus, toutes les données de *Tara Oceans* sont mises en accès libre et public, ce qui permet à tous les chercheurs de les exploiter.

À cela s'ajoutent les données issues de la dernière expédition *Tara Pacific* (2016-2018), qui a porté sur les systèmes coralliens du Pacifique, et notamment le plancton qui y est associé. Mais nous avons surtout pu créer une fédération de recherche internationale en automne 2018, avec une vision renouvelée de notre projet au long cours de percer les mystères de l'écosystème océan (voir l'encadré ci-dessus). ■

Propos recueillis par Maurice Mashaal

Autant en emporte l'océan

De ses expéditions, la goélette *Tara* a collecté nombre de spécimens d'espèces planctoniques, pour beaucoup inconnues, qui se laissent porter au gré des courants dans les océans.

© Latreille-Tara Expéditions

IMMORTELLE?

Cette petite méduse collectée en Méditerranée est une espèce proche de la méduse *Turritopsis* réputée pour être immortelle.



LA GUERRE DES PTÉROPODES

Trois différents mollusques ptéropodes collectés en Méditerranée. Deux d'entre eux sont protégés par de fragiles coquilles calcaires. Ils sont des proies naturelles du troisième ptéropode sans coquille au premier plan.

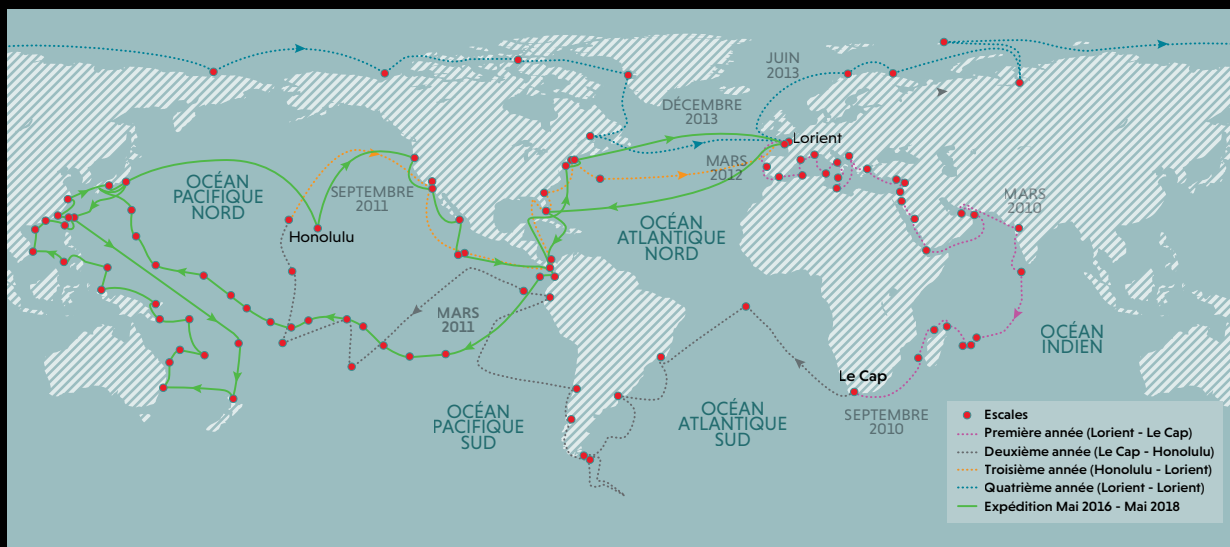


© John Dolan

UNE FRUSTULE EN SILICE

Les diatomées, ici *Planktoniella sol.* sont des algues unicellulaires enveloppées dans un squelette en silice, la frustule.





D'après carte de be-pôles/Tara Expéditions

La goélette Tara a plusieurs fois écumé les océans lors de 11 expéditions, comme Tara Oceans entre 2009 et 2013 (en pointillé), Tara Pacific entre 2016 et 2018 (en trait plein)...

UN PLANCTON DISCO

Les cténaires sont des organismes carnivores. Ils se déplacent à l'aide de 8 rangées de cils qui sont chez certaines espèces bioluminescents et émettent des flashes lumineux et colorés. Ce juvénile a été collecté en mer Méditerranée.



UN VER MODÈLE

Platynereis dumerei est un vers annélide au dimorphisme sexuel bien marqué : les femelles sont jaunes ; les mâles sont blancs sur une face, et rouge de l'autre. Ce ver est un organisme modèle en biologie et en génétique.

UN CRUSTACÉ BLEU

Les copépodes, comme ce spécimen bleu, sont de petits crustacés libres ou bien parasites. Certains sont les hôtes du vibron du choléra, ce qui explique le lien entre changement climatique, blooms planctoniques et épidémies.

Autant en emporte l'océan



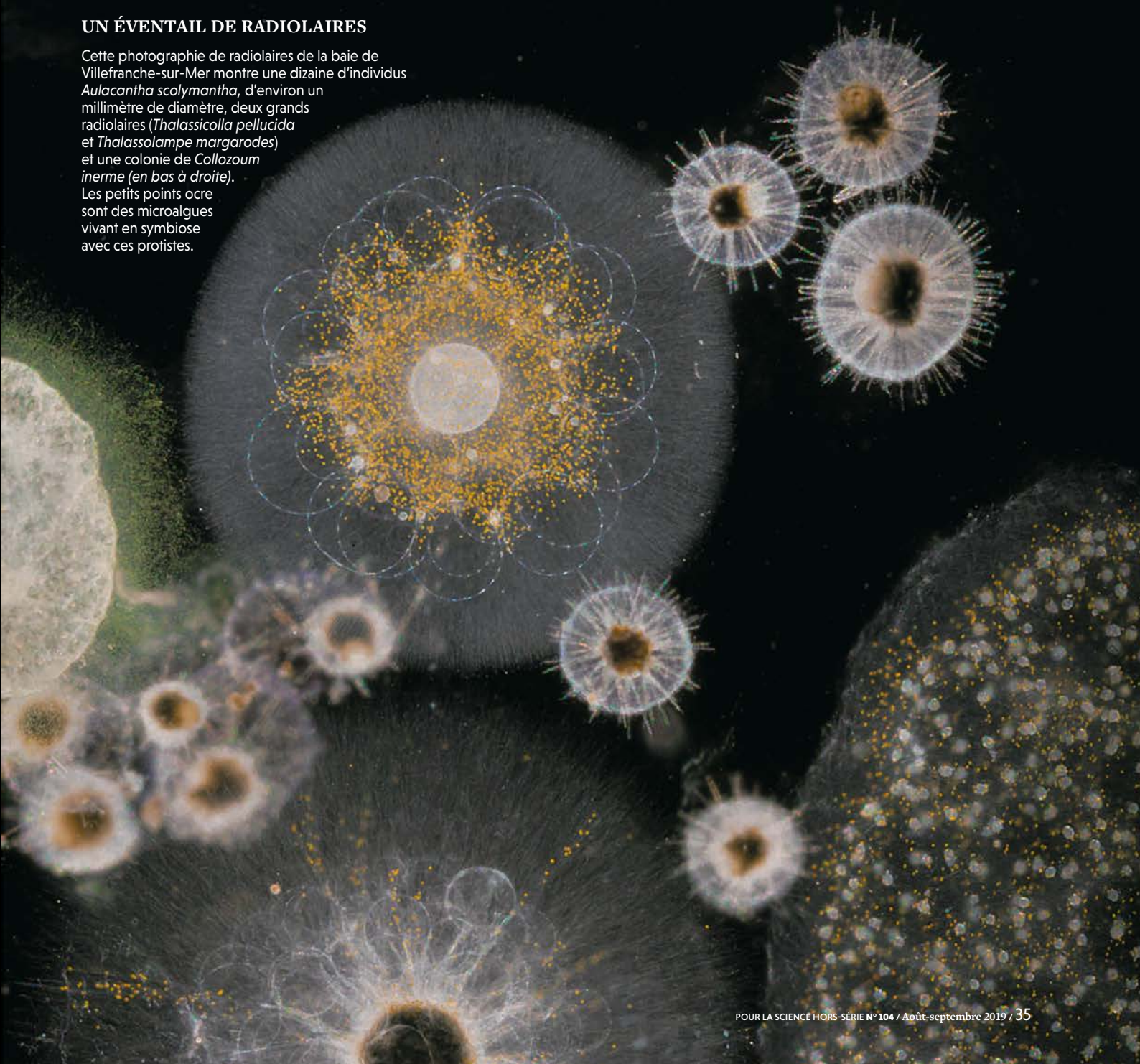
POISSON AU MENU

Cette méduse
Liriope a attrapé
un jeune poisson et
l'a mangé en partie.



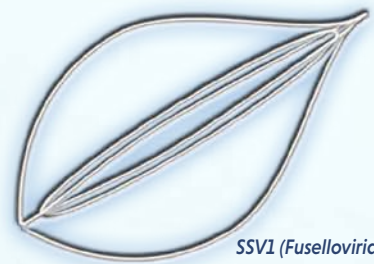
UN ÉVENTAIL DE RADIOLAIRES

Cette photographie de radiolaires de la baie de Villefranche-sur-Mer montre une dizaine d'individus *Aulacantha scolymantha*, d'environ un millimètre de diamètre, deux grands radiolaires (*Thalassicolla pellucida* et *Thalassolampe margarodes*) et une colonie de *Collozoum inerme* (en bas à droite). Les petits points ocre sont des microalgues vivant en symbiose avec ces protistes.



Les virus, piliers de la vie marine

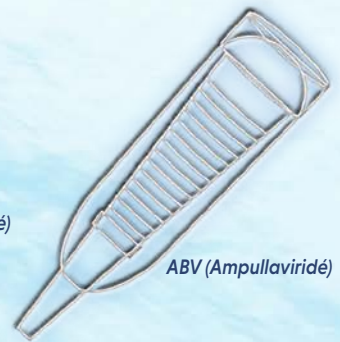
Abondants et variés – on n'en connaît sans doute qu'une infime partie –, les virus aquatiques sont des acteurs clés des écosystèmes marins.



SSV1 (Fuselloviridé)



SH1 (non classé)



ABV (Ampullaviridé)

E

n décembre 2013, après une odyssée de 938 jours, l'expédition scientifique *Tara Oceans* s'est achevée. Elle rapportait plusieurs milliers d'échantillons prélevés dans les océans du globe et dont l'analyse se poursuit encore. Pour preuve, en mai 2019, une étude dirigée par Matthew Sullivan, de l'université de l'État d'Ohio aux États-Unis, a porté de 16 000 à près de 200 000 le nombre de populations virales océaniques connues. Cette diversité va de pair avec une présence importante: les virus pullulent dans la mer. Souvenez-vous en quand vous boirez la tasse cet été!

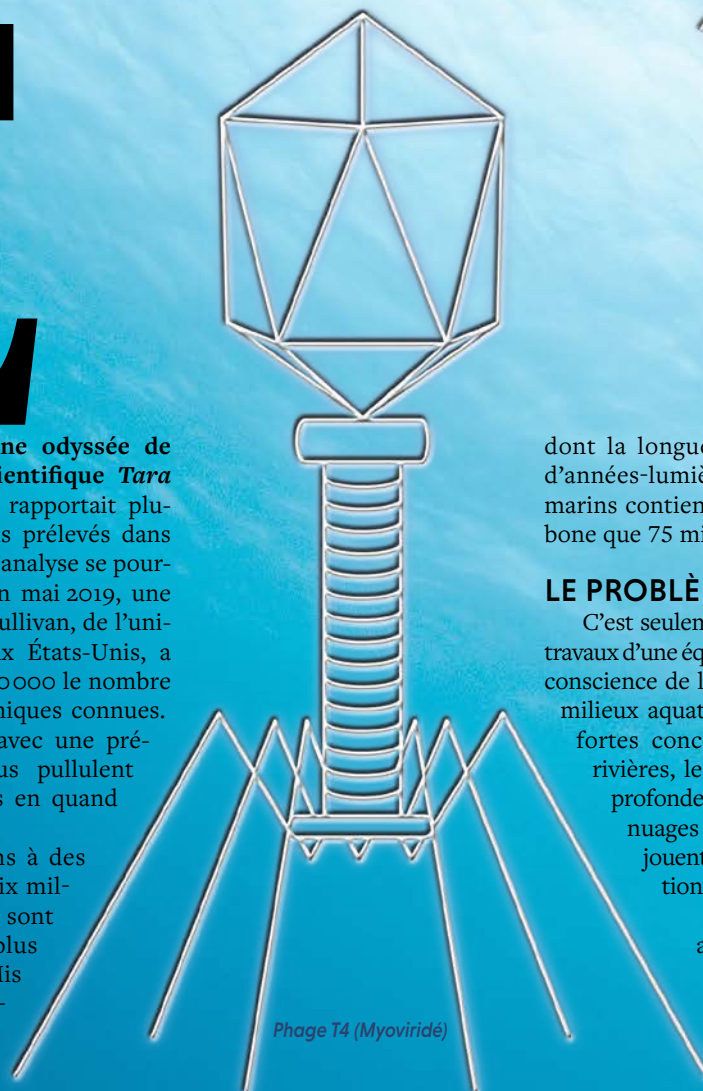
Présents dans les océans à des concentrations avoisinant dix millions par millilitre, les virus sont les entités biologiques les plus nombreuses sur la planète. Mis bout à bout, ils constitueraient un collier de perles

dont la longueur dépasserait dix millions d'années-lumière. Tous ensemble, les virus marins contiendraient plus d'atomes de carbone que 75 millions de baleines bleues.

LE PROBLÈME DE LA DIVERSITÉ

C'est seulement à partir de 1989, grâce aux travaux d'une équipe norvégienne, que l'on a pris conscience de l'abondance des virus dans des milieux aquatiques variés. On a mesuré de fortes concentrations dans les lacs, les rivières, les glaces ou les sédiments, des profondeurs océaniques jusque dans les nuages parfois, ce qui suggère qu'ils jouent un rôle important dans le fonctionnement de la biosphère.

S'intéressant de plus en plus aux virus aquatiques, les chercheurs sont confrontés aujourd'hui à une difficulté de taille: leur diversité, les



Phage T4 (Myoviridé)