



© V. Hilaire - Tara Expéditions

© Latrelle-Tara Expéditions

L'EXPÉDITION TARA OCEANS, qui a démarré en septembre 2009 et s'est achevée en décembre 2013, a couvert presque tous les océans (à gauche). La goélette Tara (ci-contre) a effectué un parcours de quelque 140 000 kilomètres. Son équipage comprenait six scientifiques, qui s'assuraient notamment du bon déroulement des prélèvements (ci-dessus, des filets à plancton de type « Bongo ») et de la préservation des échantillons.



Oceans: une telle approche écosystémique n'avait jamais été adoptée auparavant.

PLS

Comment les échantillons sont-ils analysés ?

É. K. : 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, etc., 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 1 000 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.

PLS

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

É. K. : Pour les protistes, les données des séquençages effectués jusqu'ici indiquent qu'ils regroupent de l'ordre de 150 000 genres, alors qu'on en connaissait une dizaine de milliers 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 proviennent 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.

PLS

Une publication récente livre des résultats surprenants concernant des protistes nommés rhizaires. De quoi s'agit-il ?

É. K. : 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*.

PLS

Et quels ont été les résultats ?

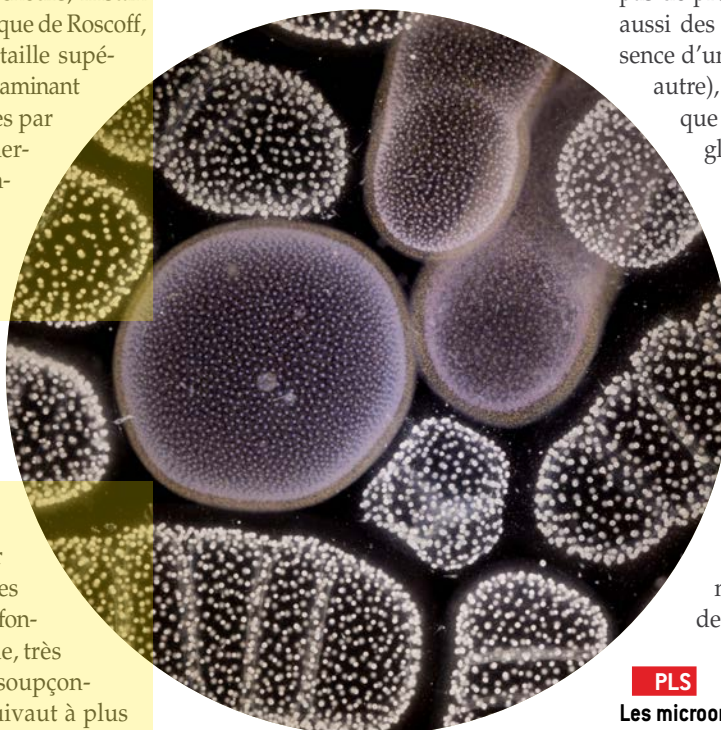
É. K. : Cette étude a notamment permis d'estimer la biomasse constituée par les rhizaires vivant dans les 200 premiers mètres de profondeur. Elle se révèle énorme, très supérieure à ce que l'on soupçonnait : en carbone, elle équivaut à plus de 5 % de celle de tous les organismes marins. De plus, les 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.

PLS

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

É. K. : 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...



VUE AU MICROSCOPE DE RHIZAIRES

formant des colonies, qui peuvent atteindre plusieurs centimètres. Chaque point blanc représente un individu (unicellulaire) de la colonie. *Tara Oceans* a révélé l'importance de leur biomasse.

PLS

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

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

PLS

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

É. K. : *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 où qu'il y a plus d'abondance dans les mers froides. Mais 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 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