



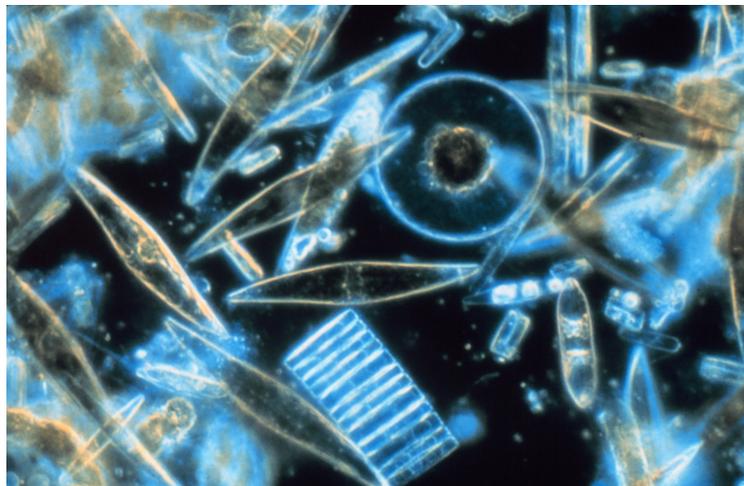
Institut  
océanographique  
Fondation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco

## Les diatomées marines

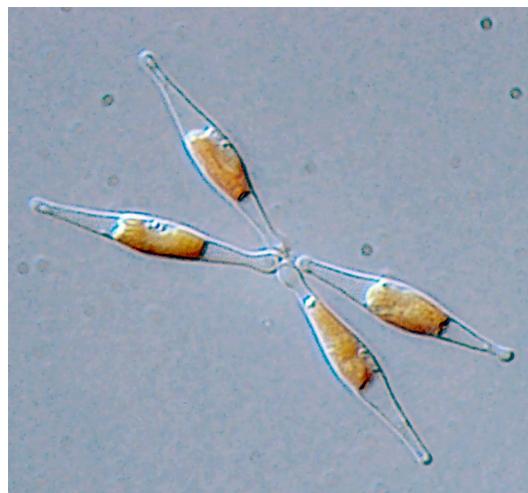
Auteur : Chris BOWLER

Chef du Laboratoire Plant & Diatom Genomics  
Institut de Biologie de l'École normale supérieure  
Université de recherche Paris-Sciences-et-Lettres PSL  
Paris

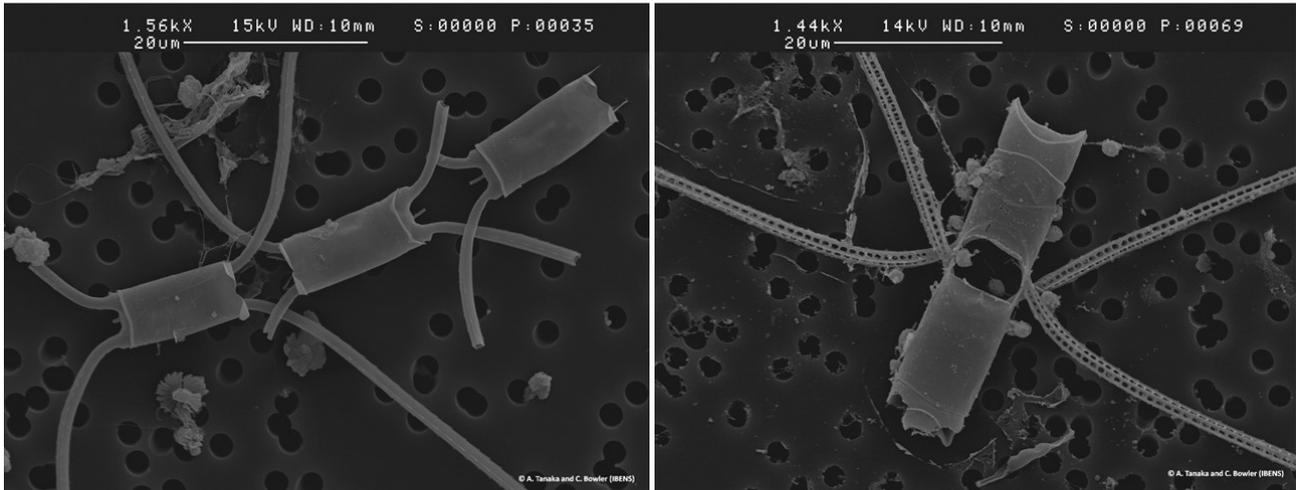
Les diatomées sont des eucaryotes photosynthétiques unicellulaires et sont considérées comme le groupe d'algues le plus riche en espèces, avec des estimations allant jusqu'à 100 000 espèces. (Photos 1-3).



**Photo 1.** Assemblage de diatomées, vues au microscope. Ces organismes vivaient entre des cristaux de glace de mer annuelle à McMurdo Sound, en Antarctique. Source : Gordon T. Taylor, Université Stony Brook (corp2365, Collection NOAA Corps).



**Photo 2.** Micrographie de *Phaeodactylum tricoratum*. Cette algue est le « rat de laboratoire » des diatomées, et sa séquence génomique est en cours de détermination. (Image reproduite avec l'aimable autorisation de Alessandra de Martino et Chris Bowler, Stazione Zoologica et École normale supérieure.)



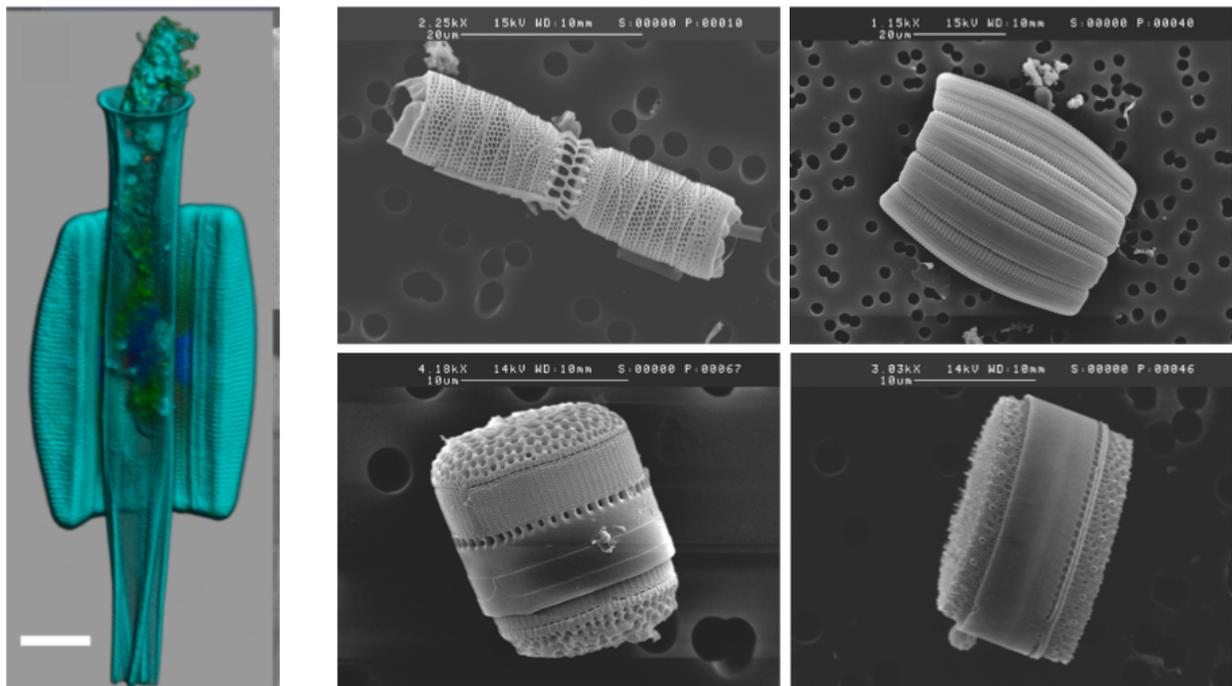
**Photo 3.** Images en microscopie électronique des chaînes de la diatomée *Chatoceros*. Les espèces, dans ce genre, sont caractérisées par des épines, et, typiquement, les cellules issues de la multiplication végétative restent associées entre elles. Les colonies qui en résultent peuvent prendre de multiples formes : ruban, étoile, chaînette, éventail, etc.  
Source des images : Atsuko Tanaka & Chris Bowler, École normale supérieure.

Elles sont apparues à la fin du Jurassique, mais sont restées clairsemées jusqu'à ce que d'importants évènements de diversification se produisent il y a environ 40 millions d'années, augmentant ainsi considérablement leur abondance et leur permettant de conquérir la plupart des habitats aquatiques [4, 19]. En tant qu'organismes photosynthétiques, les diatomées se trouvent à la base de la plupart des réseaux trophiques aquatiques et jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des cycles biogéochimiques globaux [7, 18]. On estime qu'elles sont les organismes plus importants au sein des océans en termes de photosynthèse, puisqu'elles contribuent autant que les forêts tropicales à la production primaire nette globale (environ 20%). Grâce à leurs lourdes parois siliceuses, elles sont également vues comme les principaux acteurs de la pompe biologique, car les diatomées en senescence génèrent un flux net vertical de carbone, pouvant être stocké dans le fond des océans sur des périodes géologiques [6, 16, 17]. Les diatomées prolifèrent dans la glace, dans les régions polaires, dominent généralement les systèmes de remontées d'eau profonde (par exemple au large de l'Afrique et de l'Amérique du Sud) et sont également considérées comme le groupe de phytoplancton le mieux adapté aux environnements turbulents [13]. À titre d'exemple, les floraisons printanières de phytoplancton dans l'Atlantique Nord sont typiquement dominées par des diatomées. Dans ce cas, la propagation des algues est visible depuis l'espace, par mesure satellite de la concentration en chlorophylle en surface. Cependant, beaucoup de diatomées océaniques s'accumulent en profondeur pour former une couche que l'on appelle le « maximum de chlorophylle en profondeur ». Ce dernier se trouve aux alentours de 50 mètres, profondeur à laquelle les cellules trouvent un bon compromis entre disponibilité en lumière et en nutriments pour assurer leur croissance. Tandis que certaines espèces vivent isolées, d'autres se rassemblent en chaînes ou colonies, et certaines d'entre elles, en plus d'être planctoniques, ont un mode de vie benthique. En outre, certaines espèces font des associations avec des autres organismes [20] (planche 1, gauche). D'autres, encore, sont connues pour leur toxicité, comme les espèces du genre *Pseudo-nitzschia* spp., produisant une neurotoxine (acide domoïque), responsable de troubles neurologiques plus communément appelés « intoxication amnésique par les mollusques ».

Les diatomées ont une histoire évolutive complexe qui commence à être décortiqué grâce au séquençage de leurs génomes (photo 2). Comme d'autres Chromalvéolés, l'on pense qu'elles dérivent d'une endosymbiose secondaire, impliquant des algues vertes et rouges combinées avec une cellule hôte



eucaryote hétérotrophe [14, 23, 24]. Ces divers épisodes leur ont permis d'hériter de nombreuses capacités métaboliques, comprenant entre autres un cycle de l'urée fonctionnel (Cette dernière découverte est particulièrement étonnante car il était jusqu'à présent admis que le cycle de l'urée a émergé avec les métazoaires et ceci est un élément de plus pour suggérer que l'évolution des diatomées a suivi une voie fondamentalement différente de celle des plantes, des algues vertes et des autres organismes étroitement apparentés. [1, 21]), et un mécanisme de couplage énergétique entre les chloroplastes et les mitochondries, qui ne ressemble guère aux métabolismes des autres organismes photosynthétiques [1, 2]. En outre, leur paroi cellulaire rigide les contraint à un mode de division cellulaire inhabituel. Celui-ci comprend une régression de la taille des cellules-filles dérivées de la mitose jusqu'à ce qu'elles atteignent un seuil critique. Pour la restauration de leur taille, elles doivent procéder à la reproduction sexuée [2, 12].



**Planche 1.** Sélection de micrographies de diatomées.

*Gauche* : Image de microscopie confocale d'une chaîne de diatomées *Fragilariopsis doliolus* attachée à un tintinnide (protiste cilié). (Voir [20]).

*Droite* : Sélection de micrographies électronique de diatomées, en chaîne et en cellules simples, montrant leurs parois silicifiées très élaborées.

Images fournies par Flora Vincent (École normale supérieure), Sébastien Colin (Station biologique de Roscoff) et Atsuko Tanaka (Ryukyu University, Japon).

Barres d'échelle : 10 µm.

La caractéristique la plus spectaculaire des diatomées est leur paroi cellulaire à base de silice finement structurée, connue sous le nom frustule (planche 1, droite). Ces parois cellulaires sont essentiellement constituées de verre et sont transparentes, ce qui facilite évidemment la photosynthèse.

Les parois des diatomées sont également extrêmement résistantes, ce qui limite leur broutage par les copépodes [10]. Les diatomées construisent ces structures siliceuses à température et pression ambiantes, ce que nous ne sommes pas en mesure de faire actuellement, et elles présentent une étonnante variété de formes et de motifs propres à chaque espèce. En plus de faire des diatomées une composante biologique cruciale pour le cycle biogéochimique de la silice [18, 22], ces parois cellulaires présentent une étonnante



variété de formes et de motifs spécifiques à chaque espèce. La silice des diatomées présente des propriétés physiques très intéressantes et peut être utilisée comme matériau de nano-motifs 3D, faisant ainsi envier les nanotechnologues intéressés à développer de nouveaux matériaux pour des applications en industrie, biomédecine, et informatique [11]. La biomasse de diatomées anciennes a généré d'énormes dépôts de roche et de terre de diatomées, très exploités et utilisés comme abrasifs doux ou comme adjuvants de filtration dans une variété de produits ménagers et industriels, ainsi qu'une composante stabilisante de la dynamite. La biomasse de diatomées est également l'un des principaux contributeurs aux combustibles fossiles [3]. Les diatomées d'aujourd'hui sont appréciées pour leur rôle dans le verdissement naturel des huîtres cultivées et comme indicateurs de la qualité de l'eau. De plus, les diatomées actuelles sont étudiées en tant que source de carburants renouvelables, neutres en carbone pour l'avenir, ainsi que pour d'autres applications en biotechnologies, nanotechnologies et technologies environnementales [8, 9, 15].

La reconnaissance de l'importance des diatomées pour le cycle du carbone de la Terre a conduit à l'idée de stimuler leurs activités de piégeage actuelles dans les océans. Le fer est un élément nutritif limitant dans de grandes parties des océans, et la fertilisation en fer pourrait conduire à la prolifération des diatomées. Des expériences à grande échelle visant à évaluer le projet indiquent que cela pourrait fonctionner. Cependant, davantage de recherches sont nécessaires sur le sujet, et l'approche reste controversée en raison des potentiels effets indésirables sur les écosystèmes marins.

## Pour en savoir plus

- [1] Allen A., Dupont C., Obornik M., Horak A., Nunes-Nesi A., McCrow J., Zheng H., Johnson D., Hu H., Fernie A. & Bowler C., 2011. Evolution and metabolic significance of the urea cycle in photosynthetic diatoms. *Nature*, 473(7346) : 203-207, doi:10.1038/nature10074.
- [2] Bailleul B., Berne N., Murik O., Petroutsos D., Prihoda J., Tanaka A., Villanova V., Bligny R., Flori S., Falconet D., Krieger-Liszkay A., Santabarbara S., Rappaport F., Joliot P., Tirichine L., Falkowski P.G., Cardol P., Bowler C. & Finazzi G., 2015. Energetic coupling between plastids and mitochondria drives CO<sub>2</sub> assimilation in diatoms. *Nature*, 524(7565) : 366-369.
- [3] Benoiston A.S., Ibarbalz F.M., Bittner L., Guidi L., Jahn O., Dutkiewicz S. & Bowler C., 2017. The evolution of diatoms and their biogeochemical functions. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Lond., B Biological Sciences*, 372 : 1728.
- [4] Bowler C., Vardi A. & Allen A.E., 2010. Oceanographic and biogeochemical insights from diatom genomes. *Annual Review of Marine Science*, 2 : 333-365.
- [5] Chepurnov V.A., Mann D.G., Sabbe K. & Vyverman W., 2004. Experimental studies on sexual reproduction in diatoms. *International Review of Cytology*, 237 : 91-154.
- [6] Falkowski P.G., Katz M.E., Milligan A.J. *et al.*, 2005. The rise of oxygen over the past 205 million years and the evolution of large placental mammals. *Science*, 309 : 2202-2204.
- [7] Field C.B., Behrenfeld M.J., Randerson J.T. & Falkowski P., 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281 : 237-240.
- [8] Fields M.W., Hise A., Lohman E.J., Bell T., Gardner R.D., Corredor L., Moll K., Peyton B.M., Characklis G.W. & Gerlach R., 2014. Sources and resources: importance of nutrients, resource allocation, and ecology in microalgal cultivation for lipid accumulation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98 : 4805-4816.
- [9] Gordon R., Losic D., Tiffany M.A., Nagy S.S. & Sterrenbur F.A., 2009. The Glass Menagerie: diatoms for novel applications in nanotechnology. *Trends in Biotechnology*, 27 : 116-127.
- [10] Hamm C.E., Merkel R., Springer O., Jurkojc P., Maier C., Pechtel K. & Smetacek V., 2003. Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection. *Nature* : 421, 841-843.
- [11] Kröger N. & Poulsen N. 2008. Diatoms-from cell wall biogenesis to nanotechnology. *Annual Review of Genetics*, 42 : 83-107.



- [12] Lewis W.M. Jr., 1984. The diatom sex clock and its evolutionary significance. *The American Naturalist*, 123 : 73-80.
- [13] Margalef R, 1978. Life-Forms of Phytoplankton As Survival Alternatives in An Unstable Environment. *Oceanol. Acta*, 1(4) : 493-509.
- [14] Moustafa A., Beszteri B., Maier U.G., Bowler C., Valentin K. & Bhattacharya D., 2009. Genomic footprints of a cryptic plastid endosymbiosis in diatoms. *Science*, 324 : 1724-1726.
- [15] Nassif N. & Livage J., 2010. From diatoms to silica-based biohybrids. *Chemical Society Reviews*, 40 : 849-859.
- [16] Smetacek V., 1999. Diatoms and the ocean carbon cycle. *Protist*, 140 : 25-32.
- [17] Smetacek V., 2012. Making sense of ocean biota: how evolution and biodiversity of land organisms differ from that of the plankton. *Journal of Biosciences*, 37(4) : 589-607.
- [18] Tréguer P.J. & De La Rocha C.L., 2013. The world ocean silica cycle. *Annual Review of Marine Science*, 5 : 477-501.
- [19] Tréguer P., Bowler C., Moriceau B. *et al.*, 2018. Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. *Nature Geoscience*, 11 : 27-37.
- [20] Vincent F.J., Colin S., Romac S. *et al.*, 2018. The epibiotic life of the cosmopolitan diatom *Fragilariopsis doliolus* on heterotrophic ciliates in the open ocean. *The ISME Journal*, 12 : 1094-1108.
- [21] Les diatomées : au carrefour entre le végétal et l'animal  
<http://www.cnrs.fr/insb/recherche/parutions/articles2011/c-bowler.htm>

Fiches de l'Institut océanographique

- [22] Paul Tréguer, septembre 2013. *Pourrions-nous vivre sans silicium ?*  
<http://www.institut-ocean.org/rubriques.php?lang=fr&article=1378793978&pg=1&categ=1265713871&sscategorie=1324551762>
- [23] Bruno de Reviere, mars 2018. *L'union fait la force, histoire d'un succès évolutif.*  
<http://institut-ocean.org/rubriques.php?lang=fr&article=1522071297&pg=1&categ=1265713871&sscategorie=1324551762>
- [24] Bruno de Reviere, juin 2018. *Qu'est-ce qu'une algue ?*  
<http://www.institut-ocean.org/rubriques.php?lang=fr&article=1530088320&pg=1&categ=1265713871&sscategorie=1324551762>