



Les plus petits squelettes du monde marin observés en 3D à la lumière synchrotron

Les coccolithophores sont des algues marines microscopiques qui absorbent le dioxyde de carbone pour leur croissance et le libèrent lors de la création de leurs coquilles calcaires, sorte de mini-boucliers. Ces nanoplanctons très abondants dans les océans sont susceptibles d'être affectés par les émissions croissantes de dioxyde de carbone. Des scientifiques du CNRS, de Le Mans Université, de Sorbonne Université, d'Aix-Marseille Université¹ et de l'ESRF, le Synchrotron Européen, ont révélé la structure 3D des coquilles calcaires ou « coccolithes » de ces micro-organismes, au niveau nanométrique. Dans l'étude, publiée dans *Nature Communications*, les scientifiques mettent en évidence de nouvelles corrélations entre leur masse et la taille du noyau de la cellule sur lequel la nucléation et la croissance des coccolithes se produisent.

Les coccolithophores ? Leur nom vous est peut-être inconnu, mais vous avez peut-être vu, sans le savoir, ce minuscule phytoplancton unicellulaire sur les images satellite des océans, lorsque les coccolithophores se multiplient par millions et se répandent en gigantesques traînées blanches donnant à l'océan un aspect laiteux.

Environ un tiers du dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère par les activités humaines est absorbé par les océans, où il réagit chimiquement et rend l'eau plus acide. Cette acidification des océans empêche certains organismes marins calcifiants, tels que les étoiles de mer, les oursins, les coraux et les coccolithophores, de construire leurs coquilles ou leurs squelettes calcaires.

Quand de minuscules organismes marins ont un impact sur le cycle global du carbone

Les coccolithophores, organismes unicellulaires beaucoup plus petits que les pixels d'un écran d'ordinateur, vivent au fond des océans. Ils jouent un rôle actif dans le cycle du carbone. En effet, ils fixent le gaz carbonique par photosynthèse, entraînant une diminution du CO₂ dissous dans l'océan. Contrairement aux autres phytoplanctons photosynthétiques, les coccolithophores produisent de la calcite (CaCO₃) sous forme de minuscules plaques calcaires, sorte de mini-boucliers, appelées « coccolithes ». La calcification par les coccolithophores utilise le bicarbonate (HCO₃⁻) de l'eau de mer et libère du CO₂. Lorsque les cellules de coccolithophores meurent, les coccolithes et la matière organique associée sédimentent lentement au fond de la mer, contribuant ainsi au stockage du carbone. Bien qu'ils soient minuscules, les coccolithophores jouent un rôle clé dans le cycle global du carbone en raison de leur très grande abondance dans les océans.

Plusieurs études récentes, en laboratoire et sur le terrain, indiquent que l'acidification des océans pourrait probablement entraver, à terme, la calcification des coccolithophores. Cependant, certaines études ont aussi montré une augmentation de la calcification des coccolithophores dans des conditions plus acides.

¹ Ont participé à ces travaux : l'Institut des molécules et matériaux du Mans (Université du Mans/CNRS), la Station biologique de Roscoff (CNRS/Sorbonne Université) et le Centre européen de recherche et d'enseignement de géosciences de l'environnement (INRA/CNRS/IRD/Aix-Marseille Université/Collège de France)

La masse des coccolithes révélée

Comprendre comment les facteurs environnementaux impactent le niveau de calcification des coccolithes présente un intérêt considérable. La question majeure était donc de pouvoir estimer avec précision la masse de l'enveloppe de calcite de ces micro-organismes.

« *Nous avons mis au point une méthode d'estimation de la masse des coccolithes à l'aide de la microscopie optique automatisée* », explique Luc Beaufort, scientifique au CNRS. « *Bien que cette technique soit très utile pour mesurer très rapidement la masse d'une grande quantité de coccolithes, il était important d'évaluer l'exactitude de ces mesures en les comparant avec une autre méthode très précise.* »

C'est là que le Synchrotron Européen de Grenoble entre en jeu. Les scientifiques Alain Gibaud et Thomas Beuvier, utilisateurs réguliers de l'ESRF, ont mis en relation Yuriy Chushkin et Federico Zontone, scientifiques de l'ESRF, avec les paléontologues Luc Beaufort, Baptiste Suchéras-Marx et avec le biologiste marin Ian Probert. La technique d'imagerie par diffraction cohérente des rayons X sur la ligne de lumière ID10 de l'ESRF a été utilisée pour obtenir des informations extrêmement détaillées sur la structure 3D (et donc la masse) des coques et des coccolithes de plusieurs espèces de coccolithophores.

L'équipe a pu calibrer la méthode de microscopie optique et a découvert que chaque coccolithe de la coquille présente des caractéristiques différentes, même si tous ont été créés dans les mêmes conditions environnementales. Pour expliquer les variations de taille et de masse des coccolithes au sein d'un même coccolithophore, ils ont découvert que la masse de coccolithes est proportionnelle à la taille du noyau organique autour duquel la nucléation de la calcite a lieu tous les 110-120nm.

« *L'expérience menée à l'ESRF a été un challenge, car les échantillons, de 5 à 7 microns, étaient presque trop gros pour être étudiés à la lumière synchrotron. Cependant, grâce à la technique d'imagerie par diffraction cohérente, nous avons réussi à obtenir des informations en 3D et à reconstruire individuellement les cristaux de calcite des coccolithes* », explique Yuriy Chushkin, scientifique à l'ESRF. « *En fait la technique a été si efficace qu'en une heure, nous avons obtenu le jeu de données 3D complet dont nous avons besoin* », conclut-il.

La prochaine étape pour l'équipe consiste à utiliser les images 3D de ces coccolithes pour mieux comprendre la maîtrise du phénomène de calcification de ces phytoplanctons extraordinaires et mieux comprendre les propriétés mécaniques de ces squelettes calcaires microscopiques et très complexes.

Référence scientifique

X-ray nanotomography of coccolithophores reveals that coccolith mass and segment number correlate with grid size, T.Beuvier, I.Probert, L.Beaufort, B.Suchéras-Marx, Y. Chushkin, F.Zontone and A.Gibaud. *Nature Communications*, 14 février 2019. DOI : 10.1038/s41467-019-08635-x

Contacts

Contacts scientifiques : Thomas Beuvier (tbeuvier@yahoo.fr, +33 (0)6 37 81 82 62), Alain Gibaud (alain.gibaud@univ-lemans.fr, +33 (0)6 41 67 15 00)

Contact presse : Delphine CHENEVIER,
Directrice de la communication, ESRF, delphine.chenevier@esrf.fr, +33 (0)6 07 16 18 79

Lien pour télécharger les images : <https://we.tl/t-8NIHL4dQzo>

Image 1: Structures des coccosphères obtenues par imagerie par diffraction cohérente des rayons X à l'ESRF, le Synchrotron Européen de Grenoble. (A) SEM image de *G. oceanica*RCC1314. (B) 3D-CXDI vue de *G. oceanica*RCC1314. (C) 3D-CXDI vues de six autres coccosphères. Echelle = 1µm. Crédits : Thomas Beuvier, ESRF, IMMM, CNRS UMR 6283, Le Mans Université

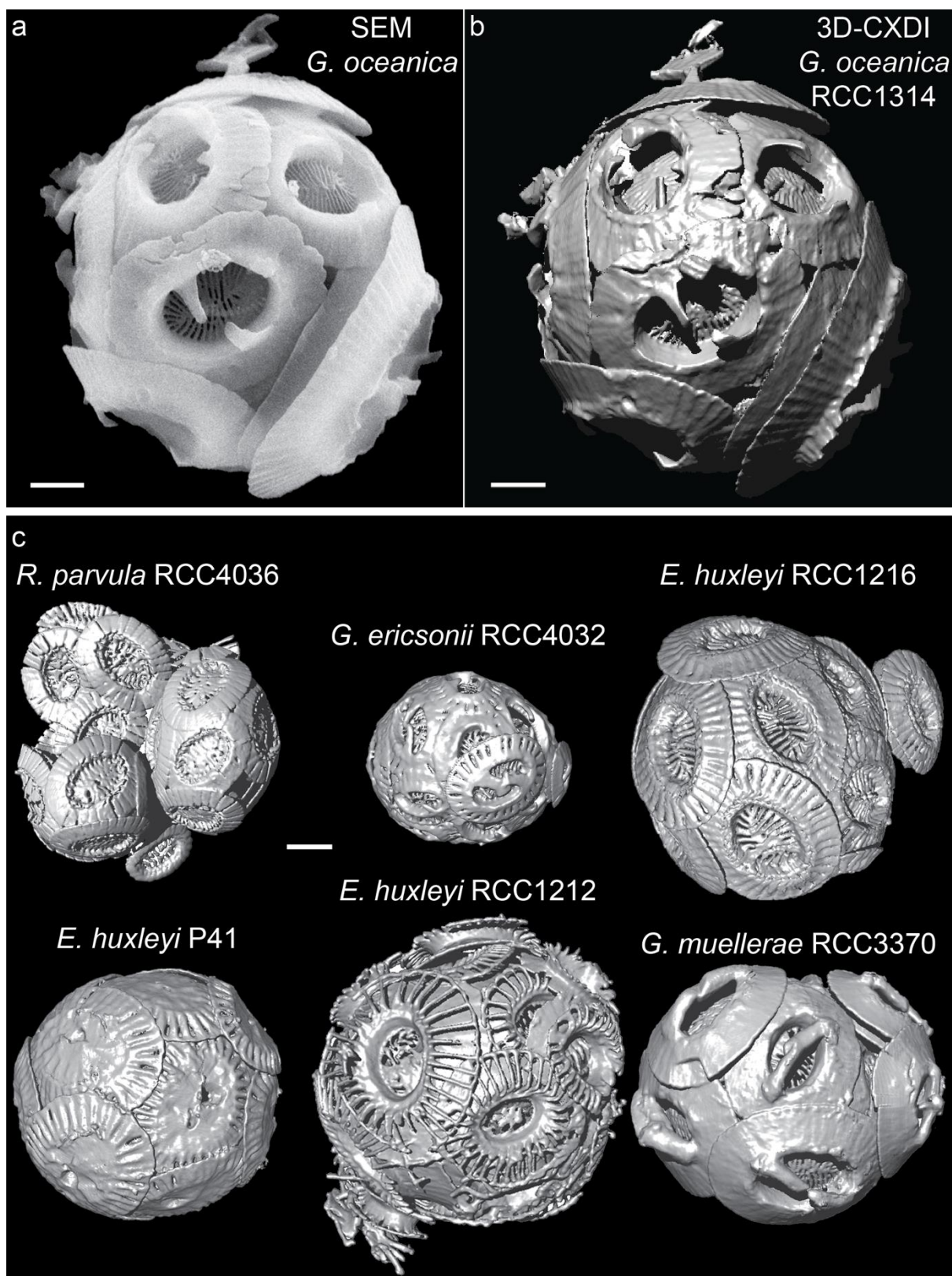


Image 2 : De la coccosphère (gauche) au coccolithe (droite). Les coccolithophores sont des algues marines microscopiques qui absorbent le dioxyde de carbone pour leur croissance et le libèrent lors de la création de leurs coquilles calcaires, sorte de mini-boucliers, appelées coccolithes. Crédits : Alain Gibaud, IMMM, CNRS UMR 6283, Le Mans Université

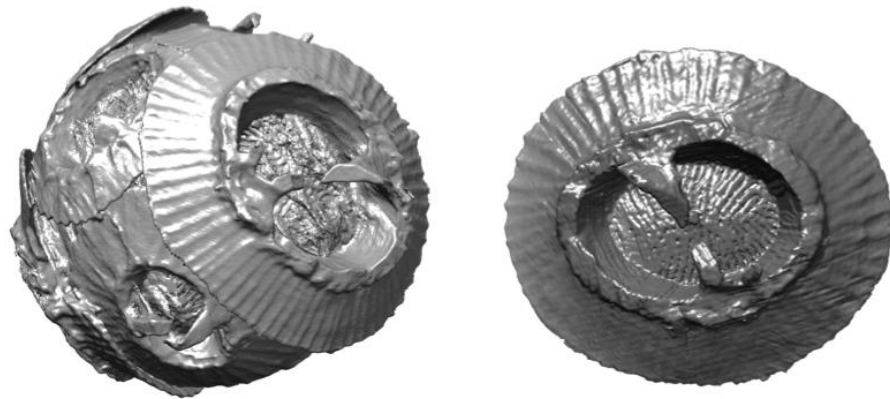


Image 3 : Les falaises blanches d'Etretat sont constituées en grande partie de restes de coccolithophores, dont les coquilles ont formé des dépôts de craie sur le fond marin pendant des millions d'années. Droits réservés.



Image 4: Efflorescence de coccolithophores vue de l'espace. Lors de l'efflorescence, les coccolithophores se multiplient par millions et se répandent en gigantesques traînées blanches donnant à l'océan un aspect laiteux. Crédits: NASA

