

Projet doctoral - MAGIC

Bactéries géantes des mangroves : moteurs microbiens des cycles biogéochimiques et sentinelles de la santé des écosystèmes côtiers

Contexte scientifique et enjeux océaniques

Les mangroves figurent parmi les écosystèmes côtiers les plus efficaces pour la séquestration du carbone. Situées à l'interface entre milieux terrestres et marins, elles jouent un rôle majeur dans la dynamique des cycles biogéochimiques du carbone (C), de l'azote (N), du soufre (S) et du fer (Fe). Ces écosystèmes comptent également parmi les plus vulnérables. L'élévation du niveau de la mer, l'artificialisation des côtes, les apports continentaux et l'impact des activités humaines altèrent les équilibres redox des sédiments de mangrove [1, 2]. Comprendre les mécanismes qui structurent ces cycles est aujourd'hui un enjeu majeur pour évaluer l'état de santé des écosystèmes côtiers tropicaux et anticiper leur trajectoire face aux changements globaux.

Les sédiments de mangrove comme « points chauds » microbiens de diversité et de productivité

Les mangroves de Guadeloupe abritent des bactéries géantes du genre *Thiomargarita* et des bactéries filamenteuses de la famille des Beggiatoaceae [1, 4], qui se développent dans des sédiments marins constituant des « points chauds » de transformations biogéochimiques [3, 4]. Les sédiments sont caractérisés par des conditions anoxiques, une salinité élevée et de fortes concentrations en fer et en sulfures, résultant de la dégradation et de l'importante quantité de matière organique, favorisant la dénitrification, l'annamox, la chimiodénitrification, la réduction des sulfates et la méthanogénèse. L'interconnexion de ces processus régule le devenir des nutriments essentiels (C, N, S, P) [3]. Toutefois, le rôle structurant des microorganismes à l'interface oxygène-anoxique dans l'articulation de ces cycles demeure encore partiellement élucidé dans les mangroves caribéennes [5], alors même que ces milieux constituent l'un des rares écosystèmes où coexistent photosynthèse et chimiosynthèse.

Un modèle biologique exceptionnel : les bactéries géantes *Thiomargarita*

En 2022, la description de *Candidatus Thiomargarita magnifica* a profondément renouvelé la microbiologie marine [1, 2]. Cette bactérie chimiosynthétique oxydant le soufre, associée aux sédiments de mangrove, se distingue par une taille exceptionnelle pour un procaryote, pouvant atteindre jusqu'à 2 cm, un génome de grande taille et une polyploidie extrême (jusqu'à 700 000 copies de génome par cellule [1, 2]). Son ADN est organisé au sein de compartiments intracellulaires délimités par des membranes [1].

Des travaux récents ont montré que ces filaments peuvent être maintenus en laboratoire pendant plusieurs semaines (résultats non publiés). L'élongation des filaments s'accompagne de la libération de nouvelles générations cellulaires par bourgeonnement à l'extrémité apicale [1]. Malgré ces avancées, la physiologie, le métabolisme et le cycle complet de cette bactérie géante restent largement inconnus. L'accès permanent au terrain, combiné aux premiers succès de culture *in vitro*, fait toutefois de *C. Thiomargarita magnifica* un modèle biologique unique pour explorer les limites de la complexité cellulaire bactérienne et l'adaptation aux environnements côtiers riches en sulfures.

Hypothèses et objectifs scientifiques

Le projet MAGIC repose sur l'hypothèse que le développement, la reproduction et la structuration cellulaire de *Thiomargarita magnifica* sont étroitement contrôlés par les gradients biogéochimiques des sédiments de mangrove [3]. Il fait également l'hypothèse que ces bactéries géantes jouent un rôle fonctionnel majeur dans les cycles du soufre, de l'azote, du fer et du carbone, contribuant ainsi à la stabilité et à la résilience des écosystèmes côtiers tropicaux [1]. Le projet vise, d'une part, à maîtriser complètement la culture de cette bactérie géante afin de caractériser sa physiologie, son métabolisme et son cycle en conditions contrôlées. D'autre part, il vise à comprendre comment les interactions entre les cycles biogéochimiques dans les sédiments influencent sa distribution et son activité *in situ* ainsi

qu'en culture *in vitro*.

Approche méthodologique intégrée

Une approche expérimentale et environnementale intégrée sera mise en œuvre. *C. Thiomargarita magnifica* sera cultivée en systèmes à flux continu (chémotats), permettant un contrôle précis des accepteurs et donneurs d'électrons (O_2 , NO_3^- , H_2S) ainsi que des paramètres physico-chimiques (pH, salinité, température). La croissance des filaments et la formation de nouvelles générations cellulaires seront suivies par imagerie temporelle à long terme. Le matériel biologique obtenu fera l'objet d'analyses de biologie cellulaire, transcriptomiques et métabolomiques visant à caractériser la polyploïdie, la compartimentation de l'ADN et les variations métabolomiques au cours du développement. Le projet repose sur une collaboration complémentaire entre l'équipe « Biologie de la mangrove » de l'UMR 7205 (ISYEB, MNHN, Guadeloupe), sous la codirection de M. GROS Olivier, en charge des travaux de terrain et la mise en culture et l'équipe MCAM de l'UMR 7245 (MNHN), sous la direction de M. DUPERRON Sébastien, dédiée aux analyses transcriptomiques et métabolomiques, garantissant la faisabilité, la robustesse et l'intégration du projet de thèse. En parallèle, le fonctionnement des sédiments de mangrove sera étudié par des approches de biogéochimie isotopique [3] afin de modéliser les transferts de matière et d'établir des bilans des cycles du C, N, S et Fe avec un des co-directeur M. SEBILO de l'UMR 7619 (IEES).

Interdisciplinarité, impact sociétal et axes starfish

Ce projet interdisciplinaire associe microbiologie marine, biogéochimie isotopique et écologie côtière, en cohérence avec les axes du baromètre starfish. Il contribuera à l'évaluation de l'état de santé de l'océan en analysant les interactions entre les cycles du soufre, du carbone et de l'azote, essentielles au fonctionnement et à la résilience des écosystèmes de mangrove face aux pressions climatiques et anthropiques. Le doctorant ou la doctorante s'engagera activement dans la diffusion des savoirs via les actions de l'institut de l'Océan. La thèse s'inscrira dans un dispositif de science participative porté par M. GROS, en partenariat avec le rectorat et des écoles élémentaires de Guadeloupe participant à la sensibilisation, la transmission des connaissances et la valorisation des écosystèmes de mangrove.

Références

- 1- Volland J-M., Gonzalez-Rizzo S., Gros O. et al. (2022). A centimeter-long bacterium at the interface between simple and complex life. *Science*, 376 (6600) : 1453-1458.
- 2- Ionescu D., Volland J-M, Contarini P-E., and Gros O. (2023). Genomic mysteries of giant bacteria: Insights and implications. *Genome Biology and Evolution*, evad163
- 3- Crémière A., Strauss H., Sebilo M., Hong W-L., Gros O., Schmidt S., Tocny J., Henry F., Gontharet S., and Laverman A. (2017). Sulfur diagenesis under rapid accumulation of organic-rich sediments in a marine mangrove from Guadeloupe (French West Indies). *Chemical Geology* 454: 67-79.
- 4- Jean M.N.R., Gonzalez-Rizzo S., Gauffre-Autelin P., Lengger S.K., Schouten S., and Gros O. (2015). Two new *Beggiatoa* species inhabiting marine mangrove sediments in the Caribbean. *PLoS ONE* 10(2):e0117832.doi:10.1371/journal.pone.0117832
- 5- Gontharet S., Crémière A., Blanc-Valleron M.M., Sebilo M., Gros O., Laverman A., and Dessailly D. (2017). Relation between sediment characteristics and the presence of microbial mats in a marine mangrove from the Manche-à-Eau lagoon (Guadeloupe). *Journal of Soils and Sediments*, 17(7): 1999-2010.