

Les conditions propices à la séquestration de phosphore par les bactéries : un savant mélange de facteurs biologiques et environnementaux

Le phosphore (P) est un constituant essentiel du vivant. Son caractère limitant pour la croissance des organismes est pallié dans le cadre agricole par l'usage d'engrais phosphatés. Néanmoins, le phosphore constitue une source de pollution lorsqu'il est rejeté en excès dans l'environnement par les activités humaines. La séquestration de P par les micro-organismes constitue une stratégie prometteuse pour la gestion des ressources.

Trois équipes de l'IMPIC, en collaboration avec l'Institut de Physique du Globe de Paris et le CEA Cadarache, ont exploré la diversité des populations de bactéries capables de séquestrer d'abondantes quantités de P sous forme de polyphosphates intracellulaires dans la colonne d'eau du lac Pavin (Massif Central, France), et leur structuration verticale en lien avec les paramètres géochimiques de leur environnement. Les chercheurs mettent ainsi en évidence l'importance du soufre en solution pour le métabolisme du P de ces bactéries, et suggèrent une dynamique cyclique de stockage / déstockage de P en lien avec leur mobilité verticale le long des gradients chimiques de ce lac.

Récemment, un consortium scientifique a identifié un groupe de bactéries ayant la capacité de séquestrer d'abondantes quantités de phosphore dans la zone anoxique de la colonne d'eau du lac Pavin. Ce lac de cratère présente la particularité unique en France d'être méromictique, c'est-à-dire qu'il est stratifié de façon permanente, ses eaux de surface étant oxygénées alors que ses eaux profondes sont privées d'oxygène mais riches en vie microbienne et traversées par de forts gradients chimiques. Parmi les bactéries localisées dans les eaux profondes de ce lac, certaines présentent des capacités étonnantes en termes de séquestration d'éléments et pourraient à ce titre impacter la géochimie de leur milieu : alors que certaines cellules forment des inclusions de polyphosphates intracellulaires d'une taille pouvant atteindre 90% de leur volume cellulaire, d'autres, d'un groupe phylogénétique et morphologique distinct, précipitent dans leur cytoplasme des carbonates de calcium amorphes. Ces bactéries sont magnétotactiques, c'est-à-dire qu'elles sont capables de nager en suivant les lignes du champ magnétique terrestre, et peuvent donc être collectées dans l'environnement à l'aide d'un aimant. Les habitats respectifs de ces deux groupes bactériens et leur éventuelle spécificité n'ont pas encore été décrits.

En utilisant une procédure développée récemment par le consortium qui permet de coupler un échantillonnage précis avec une mesure des paramètres physico-chimiques du milieu, nous avons collecté des échantillons d'eau pour 9 profondeurs s'étendant sur 3 mètres dans la couche anoxique de la colonne d'eau du lac. Nous avons analysé la chimie de la fraction dissoute et particulaire de chaque échantillon. En parallèle, nous avons observé les échantillons en microscopie optique afin de décrire l'abondance relative de nos deux groupes bactériens d'intérêt, respectivement riches en polyphosphates ou en carbonates de calcium, parmi l'ensemble des bactéries magnétotactiques. Ces bactéries sont facilement identifiables grâce à leurs mouvements sous aimant. Le groupe bactérien capable de séquestrer des polyphosphates (dont la forme des cellules est ronde, de type cocci) s'est révélé être majoritaire parmi les bactéries magnétotactiques. Chaque groupe atteint son maximum d'abondance à une profondeur différente, traduisant une structu-

ration en niches. Les paramètres environnementaux spécifiques à chaque niche ont été déterminés par une approche de statistiques multivariées, permettant de coupler l'abondance des groupes bactériens et la composition de leur milieu. Seules les populations de cocci magnétotactiques présentant la capacité de séquestrer des polyphosphates se sont révélées appartenir à une niche biogéochimique spécifique. Parmi les paramètres environnementaux de cette niche, son enrichissement en sulfate dissous suggère un métabolisme de sulfoxydation.

Après tri magnétique, l'analyse de l'ultrastructure des bactéries magnétotactiques de chaque échantillon par microscopie électronique à transmission, couplée à une analyse chimique par spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie, nous a permis de décrire l'hétérogénéité des cellules de type cocci en fonction de leur capacité à accumuler ou non des polyphosphates intracellulaires (Figure 1). Alors que les cocci sans polyphosphates (Fig. 1A) sont majoritaires aux profondeurs correspondant à une abondance élevée de cette population bactérienne (entre 51.3 m et 51.7 m dans la colonne d'eau), les cocci avec de larges polyphosphates intracellulaires (Fig. 1C) sont majoritaires lorsque cette population est moins abondante (à 52 m), correspondant à un environnement où la concentration en phosphates en solution (c'est-à-dire bio-disponible) est plus élevée. Les bactéries magnétotactiques se déplaçant verticalement selon les gradients chimiques et les lignes du champ magnétique terrestre, nous suggérons une oscillation entre lieu de séquestration de polyphosphates (enrichi en P dissous, appauvri en sulfates dissous et en biomasse) et lieu de croissance de la population, cette dernière étant couplée au déstockage partiel du contenu des cellules en P.

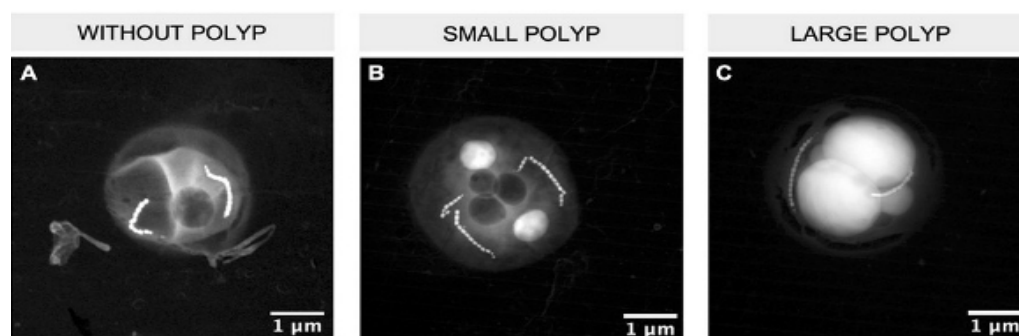


Figure 1

Image par microscopie électronique en transmission à balayage d'une population de cocci magnétotactiques présentant différentes capacités de séquestration de P sous forme de polyphosphates (inclusions rondes blanches) dans la colonne d'eau du lac Pavin. Les nano-cristaux de magnétite alignés en chaînes, caractéristiques des bactéries magnétotactiques, sont visibles en blanc au sein des cellules.

Cette étude est la première à décrire, dans un environnement naturel, le lien entre la capacité de différentes populations bactériennes à séquestrer du P et la géochimie du milieu. L'impact des bactéries magnétotactiques sur le cycle du P reste à quantifier. La possibilité de trier magnétiquement ces bactéries, combinée à la connaissance de leur localisation apportée par cette étude, ouvre la voie vers la mise en culture de ces micro-organismes et/ou vers des analyses moléculaires permettant de comprendre les processus impliqués dans la séquestration de P en l'absence d'oxygène.

Référence

« Biogeochemical Niche of Magnetotactic Cocci Capable of Sequestering Large Polyphosphate Inclusions in the Anoxic Layer of the Lake Pavin Water Column »

Cécile C. Bidaud, Caroline L. Monteil, Nicolas Menguy, Vincent Busigny, Didier Jézéquel, Éric Viollier, Cynthia Travert, Fériel Skouri-Panet, Karim Benzerara, Christopher T. Lefevre, Élodie Duprat
Frontiers in Microbiology, 12, 789134 (2022) <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.789134>

Contacts

elodie.duprat(at)sorbonne-universite.fr, nicolas.menguy(at)sorbonne-universite.fr