

Proposition de stage

Parcours Master 2 « Microbiologie, Environnement, Santé »

1. Laboratoire / Entreprise d'accueil :

Intitulé : Institut de Mineralogie, Physique des Matériaux et Cosmochimie (IMPMC), CNRS, MNHN et UPMC. Equipes : Bioinformatique et Biophysique ; Géobiologie

Adresse : 4 Place Jussieu 75005 Paris

Responsable du Laboratoire / Entreprise : Guillaume Fiquet

Responsable de l'encadrement : Elodie Duprat (MCU UPMC, Equipe Bioinformatique et Biophysique)

Téléphone : 01.44.27.50.79

Fax :

E-mail : elodie.duprat@impmc.upmc.fr ; karim.benzerara@impmc.upmc.fr

Co-encadrant éventuel : Karim Benzerara (DR CNRS, Equipe Géobiologie)

Perspectives de poursuite de thèse :

oui

non

avec une bourse spécifique

oui

non

2. Titre, description du sujet, approches utilisées, références (2 pages maximum) :

Contribution des bactéries magnétotactiques à la formation de phases minérales phosphatées et influence des paramètres environnementaux

La compréhension du rôle des microorganismes dans le cycle du phosphore (P), en particulier dans la formation de phases minérales phosphatées, est un problème environnemental majeur. En particulier, les processus d'incorporation, de stockage, de sorption et de reminéralisation du P par les cellules microbiennes, résultant de mécanismes d'adaptation pour faire face au caractère limitant de ce nutriment essentiel, ont suscité un grand intérêt dans des contextes de dépollution et de la formation de gisements sédimentaires. Pourtant, la mesure dans laquelle ils contrôlent le cycle géochimique de P sur les processus abiotiques reste à déterminer.

Le lac Pavin (Massif Central), ferrugineux et stratifié de façon permanente, constitue un modèle d'étude des processus de phosphatogenèse. En effet, la transition oxic-anoxie dans la colonne d'eau délimite une zone de précipitation de phosphates de fer. L'observation récurrente de nombreuses cellules encroûtées par ces phases minérales, en microscopie électronique au laboratoire, laisse supposer leur contribution aux processus de phosphatogenèse à l'œuvre dans ce lac (Cosmidis et al. 2014 ; Miot et al. 2016).

En utilisant une approche corrélative couplant différentes microscopies, nous avons récemment identifié des bactéries magnétotactiques à l'interface redox dans la colonne d'eau,

accumulant abondamment des inclusions de phosphore (polyphosphates intracellulaires) et également de soufre. Cette zone est caractérisée par de forts gradients chimiques (en particulier oxygène et phosphore dissous). Ces bactéries magnétotactiques, que nous avons identifiées par des analyses moléculaires comme appartenant à la famille des Magnetococcaceae, sont des porteurs majeurs de P dans la fraction particulaire à cette profondeur (Rivas-Lamelo et al., soumis à *Geochemical Perspectives Letters*). Cette accumulation élevée de phosphore pourrait être caractéristique de cette famille ou plus généralement partagée par d'autres espèces de bactéries magnétotactiques (en particulier celles oxydant les sulfures, ou du fait de leur milieu de vie aux interfaces redox), et dépendre étroitement des conditions chimiques qui prévalent dans cette zone du lac.

Les bactéries magnétotactiques sont un groupe de bactéries phylogénétiquement et métaboliquement diversifiées, dont les caractéristiques communes sont la biominéralisation de magnétites et/ou de greigites intracellulaires et le déplacement le long des lignes de champ magnétique (Lefèvre & Bazylinski 2013). Les bactéries magnétotactiques du lac Pavin peuvent être considérés comme de nouveaux modèles jouant un rôle potentiellement important dans le cycle géochimique du P, de manière similaire aux bactéries oxydant les sulfures telles que *Thiomargarita* et *Beggiatoa*, mais ici dans un environnement ferrugineux et pauvre en formes réduites de soufre.

Nous proposons que l'hydrolyse en conditions anoxiques de ces polyphosphates est une source importante de phosphore à l'origine des phosphates de fer du lac Pavin. Un tel modèle a en effet été proposé pour la formation des phosphorites des marges continentales namibiennes (Schulz et al. 2005 ; Goldhammer et al. 2012) et péruviennes (Diaz et al. 2010), où l'interface eau-sédiment constitue la transition oxe-anoxie. Dans ce contexte, l'objectif de ce stage sera de caractériser la capacité de stockage et reminéralisation du P des bactéries magnétotactiques, en fonction de la chimie du milieu. Deux types d'approche seront menés au cours du stage.

Une partie du stage consistera à suivre le stockage du phosphore sous forme de polyphosphates par des bactéries magnétotactiques modèles, en fonction de différents paramètres environnementaux (en particulier, les concentrations en solution de phosphore inorganique, oxygène, sulfures). La croissance cellulaire, l'activité physiologique des cellules et les modifications chimiques de la solution environnante seront suivis (en particulier, la formation éventuelle de phases minérales phosphatées associées à l'hydrolyse des polyphosphates). Les polyphosphates intracellulaires seront quantifiés au cours du temps, et comparés au phosphore total de la fraction cellulaire. Ces différentes analyses seront complétées par des observations en microscopie (optique et électronique) permettant de relier l'observation des inclusions intracellulaires de polyphosphates et/ou de phases minérales aux mesures chimiques faites sur le milieu extracellulaire. Parmi les différentes espèces cultivables, notre intérêt se portera dans un premier temps sur la bactérie modèle *Magnetospirillum gryphiswaldense* (souche MSR-1) pour laquelle des inclusions de polyphosphates ont été décrites et dont le métabolisme d'oxydation des sulfures a été mis en évidence ; par ailleurs, son génome a été entièrement séquencé.

D'autre part, des échantillons de la colonne d'eau du lac Pavin seront collectés et analysés afin de mettre en relation la quantité de polyphosphates accumulés par les bactéries magnétotactiques avec les paramètres de chimie des eaux. Les bactéries magnétotactiques seront enrichies par tri magnétique. Pour chaque profondeur échantillonnée (ciblant la zone de forts gradients chimiques), la quantité de phosphore accumulé par ces bactéries sera comparée à la quantité de phosphore contenue dans la fraction particulaire totale, et à sa spéciation (organique vs inorganique).

Au final, le stage passera par un apprentissage des techniques de culture de ces bactéries, le suivi de leur croissance, de la spéciation du phosphore intracellulaire et de la chimie des solutions, ainsi que l'apprentissage de techniques de microscopie. Le/stagiaire participera également à la collecte d'échantillons naturels lors d'une mission de terrain au lac Pavin. Les encadrants ont déjà collaboré, co-encadré une thèse (S. Rivas-Lamelo, « Processus microbiens de formation des gisements sédimentaires de phosphate actuels », soutenue en juin 2017) et publié ensemble fournissant un cadre bien établi au sein duquel l'étudiant(e) effectuera son stage. De plus, l'étudiant(e) sera épaulé(e) par un groupe comprenant des microbiologistes et des géochimistes, ce qui lui permettra de se familiariser au travail de recherche sur un sujet interdisciplinaire. Le/la

stagiaire bénéficiera également des expertises complémentaires de Christopher Lefèvre (CR CNRS, CEA Cadarache, microbiologie/écologie microbienne) et de Nicolas Menguy (PR UPMC, IMPMC, physique des matériaux/minéralogie des magnétosomes), spécialistes des bactéries magnétotactiques.

Encadrants

Elodie Duprat, MCU UPMC, IMPMC

Karim Benzerara, DR CNRS, IMPMC

Bibliographie

Cosmidis J., Benzerara K., Morin G., Busigny V., Lebeau O., Jézéquel D., Noel V., Dublet G., and Othmane G. (2014) Biomineralization of iron-phosphates in the water column of Lake Pavin (Massif Central, France). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 126:78–96.

Cosmidis J., Benzerara K., Guyot F., Skouri-Panet F., Duprat E., Férard C., Guigner J-M, Babonneau F, Coelho C (2015) Calcium-phosphate biomineralization induced by alkaline phosphatase activity in *Escherichia coli*: localization, kinetics, and potential signatures in the fossil record. *Front Earth Sci* 3:84.

Miot J., Jézéquel D., Benzerara K., Cordier L., Rivas-Lamelo S., Skouri-Panet F., Férard C., Poinot M., and Duprat E. (2016) Mineralogical diversity in Lake Pavin: connections with water column chemistry and biomineralization processes. *Minerals* 6:24.

Rivas-Lamelo S., Benzerara K., Lefèvre C., Monteil C., Jézéquel D., Menguy N., Viollier E., Guyot F., Férard C., Poinot M., Skouri-Panet F., Trcera N., Miot J., and Duprat E. Magnetotactic bacteria are a significant P reservoir in the meromictic Lake Pavin. Submitted to *Geochemical Perspectives Letters*.