

Des producteurs primaires hétérotrophes dans la subsurface ?

Par une approche pluridisciplinaire couplant micro-imagerie et écologie microbienne, des chercheuses de l'équipe de Géomicrobiologie de l'IPGP apportent un éclairage nouveau sur le fonctionnement des écosystèmes de subsurface en contexte de serpentinisation. Ces systèmes sont considérés dans la théorie hydrothermale sur l'origine de la vie comme des analogues pertinents des écosystèmes primitifs. En étudiant les stades précoces de formation des cheminées carbonatées du site hydrothermal de la baie de Prony (Nouvelle-Calédonie), ces chercheuses mettent en évidence l'importance d'une bactérie appartenant au phylum des *Firmicutes* dans cet écosystème soutenu en profondeur par la réaction de serpentinisation. Elles montrent que ces bactéries sont amenées en surface par les fluides hydrothermaux et font partie des premiers colonisateurs de ces environnements superficiels, participant à l'édification et à la consolidation des cheminées. Elles proposent que cette bactérie ait un métabolisme organohétérotrophe, basé notamment sur l'utilisation des molécules organiques produites abiotiquement (par pure voie chimique) lors de la serpentinisation. Ces résultats reflètent ainsi l'importance de l'hétérotrophie comme stratégie métabolique dans les environnements de subsurface en contexte de serpentinisation et amènent à repenser la structure et le fonctionnement des écosystèmes primitifs sur notre planète.

Les preuves de plus en plus nombreuses de l'existence d'une vie intraterrestre abondante et active dans la subsurface amènent à considérer la croûte terrestre comme le plus grand habitat potentiel sur Terre. Dans ces environnements que n'atteint pas la lumière du soleil, les écosystèmes tirent profit des forts gradients redox existant au contact entre des fluides oxydants circulant dans la croûte fracturée, riches en accepteurs d'électrons (O_2 , SO_4^{2-} , NO_3^- , ...) et un environnement réduit potentiellement riche en donneurs d'électrons (H_2 , CH_4 , NH_3/NH_4^+ , Fe^{2+} , ...). C'est typiquement le cas des roches mafiques et ultramafiques qui se serpentinisent. Lors de ce processus, l'hydratation de minéraux silicatés riches en Fe^{2+} s'accompagne d'une forte production d'hydrogène moléculaire relargué dans les fluides hydrothermaux. Ce flux de H_2 peut par la suite réduire les espèces inorganiques du carbone comme le CO_2 dissous pour former des molécules organiques plus ou moins complexes (e.g. CH_4), fournissant ainsi une source d'énergie et de carbone aux écosystèmes microbiens chimolithotrophes nichés au sein de ces roches et dont les métabolismes seraient alors totalement indépendants de la photosynthèse.

Ces écosystèmes appelés SLIMES pour « Subsurface Lithoautotrophic Microbial Ecosystems » sont ainsi considérés comme de bons analogues des écosystèmes primitifs, apparus sur Terre bien avant le développement de la photosynthèse. Cependant, leur étude est limitée par la difficulté d'accès à des échantillons représentatifs. Dans ce contexte, les systèmes hydrothermaux sont particulièrement intéressants car ils sont considérés comme des fenêtres ouvertes sur la biosphère profonde. En particulier, le site hydrothermal actif de la baie de Prony (Nouvelle-Calédonie) se développe sur un substratum de roches ultramafiques serpentinisées. C'est le seul analogue actuel connu du site de Lost City, dont la découverte le long de la dorsale médio-atlantique a changé notre vision de comment et où la vie aurait pu apparaître sur Terre il y a plus de 3,8 milliards d'années. Dans ce système hydrothermal d'un genre nouveau, des archées méthanogènes appartenant au phylum des *Methanosarcinales* semblent jouer le rôle de producteur primaire, se nourrissant d' H_2 et de CO_2 pour produire du méthane. Comme à Lost City, des fluides hydrothermaux hyperalcalins (pH ~10-11), riches en H_2 et CH_4 sont émis au niveau des cheminées carbonatées du champ hydrothermal de Prony qui présente en outre des températures modérées (~40°C) compatibles avec la vie.

Des chercheuses de l'équipe de Géomicrobiologie de l'IPGP se sont ainsi intéressées aux premiers stades de formation des cheminées carbonatées du système hydrothermal de la baie de Prony (Fig. 1) pour tenter d'accéder à ces fameux SLIMES, avant qu'ils ne se mêlent aux communautés de l'eau de mer ou du plancher océanique. Ces stades juvéniles sont dominés par l'émission active de fluides hydrothermaux sur le plancher océanique, dont les caractéristiques géochimiques mais également microbiologiques sont directement influencées et reflètent les processus de serpentinisation en profondeur dans la roche sous-jacente. Elles se sont attachées à décrire, à échelle micrométrique, la minéralogie ainsi que

les populations microbiennes se développant au sein des conduits internes de ces cheminées naissantes. Ainsi, en combinant imagerie par Microscopie Electronique à Balayage, Diffraction des Rayons X, Microscopie Confocale à Balayage Laser, Hybridations in situ fluorescentes et analyses phylogénétiques, elles ont montré le rôle clef joué par une bactérie incultivée, appartenant aux *Firmicutes*, dans les premiers stades d'édification et de consolidation de ces cheminées hydrothermales au travers de processus d'organominéralisation (Fig. 2). Elles ont ainsi mis en évidence que les gaines de ces bactéries filamenteuses servaient de points de nucléation pour la précipitation d'hydroxydes de magnésium et notamment de brucite, constituant majeur de ces cheminées. La localisation de ces bactéries au cœur des conduits actifs et leur rôle dans les premiers stades de l'édification de ces cheminées a ainsi permis de leur attribuer une origine profonde. Ces *Firmicutes* sont ainsi supposées être amenées au niveau du plancher océanique par les fluides hydrothermaux et pourraient donc être le reflet d'un SLIME se développant en subsurface à la faveur de la réaction de serpentinsation.

Ces bactéries, ainsi que des représentants des phyla *Acetothermia* et *Omnitrophica*, semblent être dès lors les premiers micro-organismes colonisant ces environnements, bien avant les archées *Methanosarcinales* observées uniquement dans les cheminées hydrothermales plus anciennes. En se basant sur la phylogénie de ces bactéries ainsi que sur la faible teneur en CO₂ de ces fluides hydrothermaux, les auteurs proposent que ces bactéries aient un métabolisme organohétérotrophe basé sur l'utilisation de composés organiques produits lors de la réaction de serpentinsation. La versatilité de leur métabolisme, c'est-à-dire leur capacité à utiliser une grande diversité de molécules organiques, leur conférerait un avantage écologique sur des organismes autotrophes telles que les *Methanosarcinales* et leur permettrait de pallier la très faible teneur en carbone inorganique dissous qui caractérise ces environnements. Ces résultats amènent à repenser la structure des écosystèmes de subsurface en contexte de serpentinsation, mettant en lumière l'importance de l'hétérotrophie, jusqu'alors sous-estimée au profit de l'autotrophie, à la base de ces écosystèmes. Par voie de conséquence, ces environnements étant considérés comme analogues à ceux où seraient apparus les premiers micro-organismes sur Terre, cela pose également la question de la structure des écosystèmes primitifs et amène à replacer l'hétérotrophie comme stratégie métabolique de premier ordre au centre de l'échiquier.

Ce travail a été financé par le Deep Carbon Observatory (A.P. Sloan Foundation), l'Agence Nationale pour la Recherche (projet deepOASES) et la région Ile-de-France (projet SESAME pour le soutien financier à la plateforme analytique de haute résolution PARI).

Pisapia, C., Gérard, E., Gérard, M., Lecourt, L., Lang, S.Q., Pelletier, B., Payri, C.E., Monnin, C., Guentas, L., Postec, A., Quéméneur, M., Erauso, G., Ménez, B., (2017) Mineralizing Filamentous Bacteria from the Prony Bay Hydrothermal Field Give New Insights into the Functioning of Serpentinization-Based Subseafloor Ecosystems. **Front. Microbiol.** 8, 57. doi:10.3389/fmicb.2017.00057

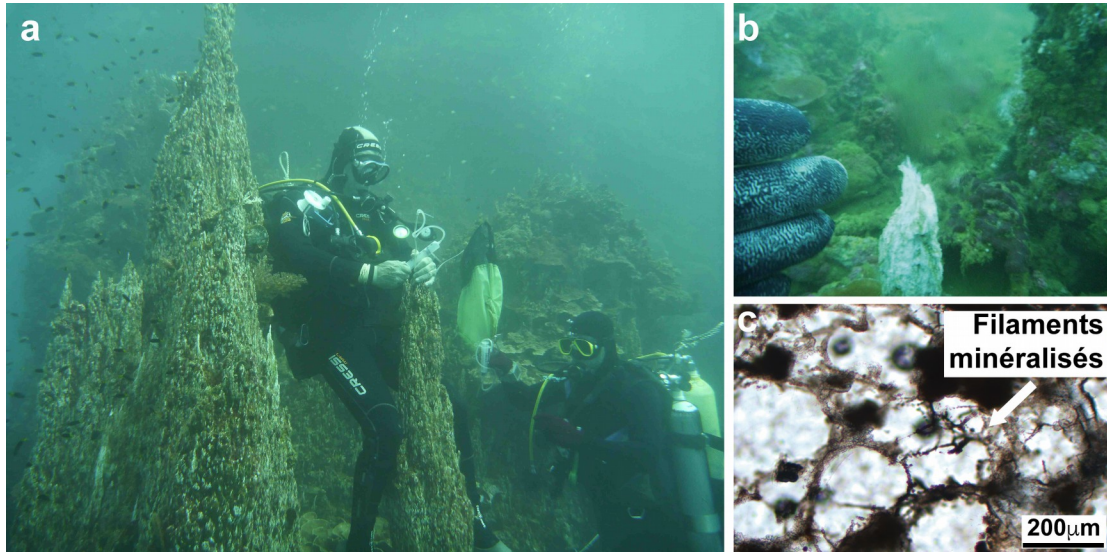


Figure 1: (a) Photographie d'une cheminée hydrothermale ancienne de la baie de Prony (Nouvelle-Calédonie) échantillonnée par des plongeurs de l'IRD et (b) d'une cheminée naissante caractérisée lors de cette étude et dont l'observation en lame mince par microscopie optique (c) révèle un entrelacement de filaments bactériens minéralisés.

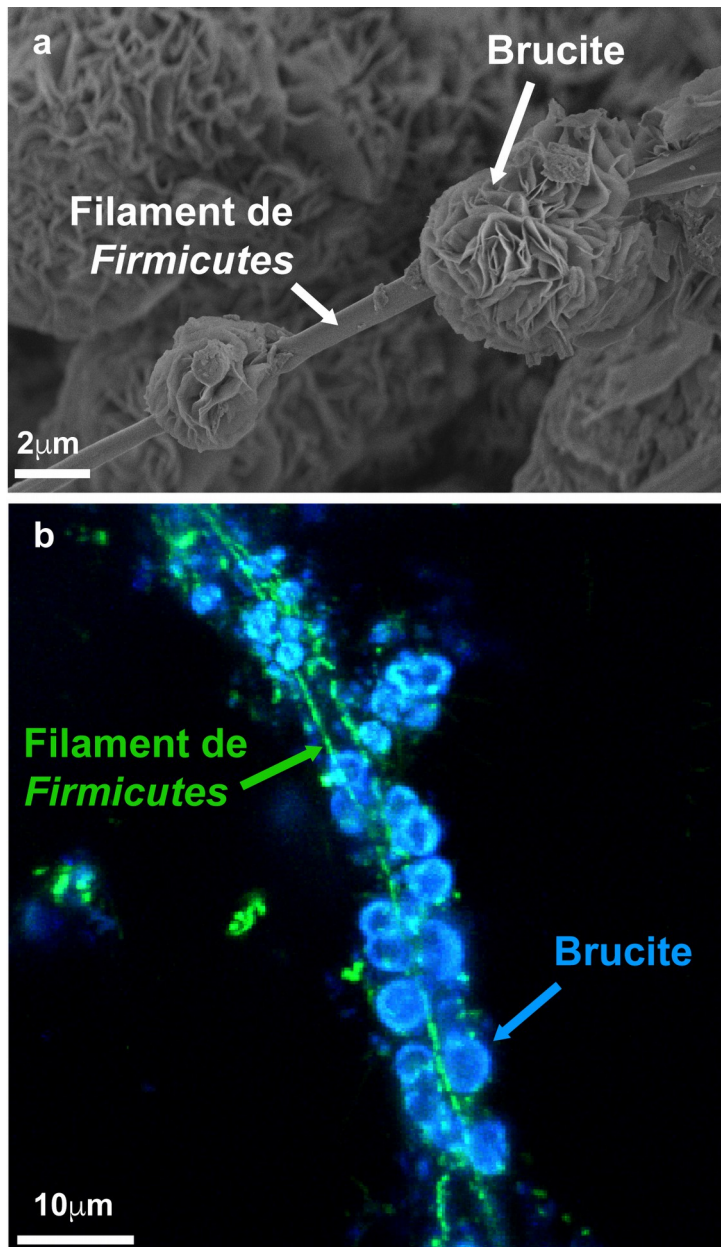


Figure 2: Filaments microbiens appartenant au phylum des *Firmicutes* et minéralisés par de la brucite, dans le conduit interne d'une cheminée juvénile du système hydrothermal de la baie de Prony. Ceux-ci ont été mis en évidence par (a) des observations en microscopie électronique à balayage et (b) des observations par Microscopie Confocale à Balayage Laser. Un marquage fluorescent vert permet de mettre en évidence la présence d'ADN et donc de cellules microbiennes au sein des gaines minéralisées.