

Un piège bactérien à strontium et baryum

Les cyanobactéries sont des bactéries ubiquistes, capables d'utiliser la lumière pour synthétiser des molécules organiques à partir de dioxyde de carbone et d'eau tout en libérant du dioxygène. Apparues à la surface de la Terre il y a plus de 2,5 milliards d'années, elles ont irrémédiablement transformé la surface de notre planète, la rendant habitable pour de nombreuses formes de vie. Récemment, des membres de l'équipe « Biominéralogie : histoire, mécanismes et applications » de l'IMPMC ont découvert que certaines espèces de cyanobactéries pouvaient stocker massivement des éléments chimiques de la famille des alcalino-terreux, comme le calcium, le strontium (Sr) et le baryum (Ba) avec une étonnante préférence pour les éléments les plus lourds. En recréant expérimentalement des conditions proches de celles du milieu naturel, cette équipe a montré qu'une espèce accumule Sr et Ba même quand ces éléments sont présents à des concentrations infinitésimales, ouvrant des pistes pour la mise au point de procédés de remédiation de pollutions en ces éléments.

Nous avons cultivé au laboratoire la cyanobactérie *Gloeomargarita lithophora*, qui a la particularité de former dans ses cellules des grains amorphes de carbonate de calcium, strontium et baryum (Couradeau et al., 2012). Nous avons précédemment démontré que lorsque l'on ajoute des quantités égales de Ca, Sr et Ba à une culture de *G. lithophora*, les cellules prélèvent d'abord le Ba, puis le Sr et enfin le Ca jusqu'à épuisement de la solution (Cam et al., 2016). Les précipités intracellulaires de carbonates montrent alors une véritable structure de type « cœur-coquille » avec différentes couches successives de carbonate de Ba, puis de Sr et enfin de Ca (Figure 1). Cette propriété, unique à cet organisme, apparaît particulièrement intéressante pour dépolluer les environnements contaminés par le strontium radioactif (^{90}Sr). Ce radio-isotope est en effet un polluant majeur libéré notamment par des accidents de centrales nucléaires comme celles de Tchernobyl ou de Fukushima. En se fixant efficacement dans les tissus osseux, il provoque même à faible concentration des cancers de la peau, du sang ou des os. Cependant, les conditions d'incubation que nous avons utilisées jusqu'à présent restaient éloignées de celles généralement rencontrées dans le milieu naturel : les concentrations en Sr et Ba étaient de plusieurs ordres de grandeur supérieures à celles mesurées dans les lacs, rivières ou océans. De plus, dans nos expériences, ces concentrations étaient égales à celle du Ca alors qu'il y a généralement plusieurs ordres de grandeur de différence (jusqu'à 5) entre elles dans la nature, le Ca étant beaucoup plus concentré, même dans les milieux pollués. Nous avons donc récemment pu évaluer la capacité de *G. lithophora* à piéger le Sr et le Ba sélectivement dans des conditions plus représentatives où le Ca était abondant et le Sr et le Ba à faibles concentrations.

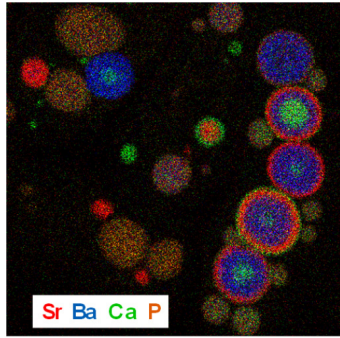


Figure 1

Cartographie élémentaire obtenue par microscopie électronique en transmission à balayage couplée à la spectrométrie des rayons X en dispersion d'énergie (STEM-XEDS) montrant les couches de carbonates de Ca, Sr et Ba dans les inclusions de carbonates amorphes à l'intérieur des cellules de *G. lithophora*.

Pour cela, nous avons incubé cette bactérie dans de l'eau stérile dans laquelle nous avons préalablement plongé des morceaux de roches carbonatées prélevées sur le lieu d'origine de cette cyanobactérie. Dans l'eau, ces roches se sont partiellement dissoutes et ont libéré du calcium, du strontium et du baryum jusqu'à un équilibre où les concentrations en Ca, Sr et Ba s'élevaient à environ 50 μM , 0,15 μM et 0,12 μM , respectivement. Nous avons ensuite inoculé *G. lithophora* dans cette eau avec ou sans les morceaux de roches carbonatées.

Dans l'eau sans roches, *G. lithophora* incorpore intégralement le Sr et le Ba même lorsque ces éléments sont présents à des très faibles concentrations et en présence de concentrations importantes de calcium (plusieurs dizaines de micromoles par litre). Les quantités totales de Sr et de Ba incorporées dans ce cas étaient cependant trop faibles pour être détectées en microscopie électronique. Dans cette même eau mais en l'absence de *G. lithophora* en revanche, il ne se passe rien.

Lorsque nous avons incubé *G. lithophora* dans l'eau avec les morceaux de roches, les cellules ont activement incorporé le Ca, le Sr et le Ba, ce prélèvement par les cellules étant compensé continûment dans la solution par la dissolution des roches. L'observation des cellules en STEM-XEDS a montré cette fois-ci des carbonates intracellulaires riches en Sr et Ba. Au final, on constate que les cellules « pompent » le Sr et le Ba depuis les roches vers leur milieu intracellulaire. De plus, la comparaison avec le cas où ces cellules sont absentes, montre que ces dernières ont un impact fort sur la disponibilité en solution du Sr et du Ba : de 0,12-0,15 μM en l'absence des cellules, leurs concentrations baissent à 1 nM en présence de la bactérie.

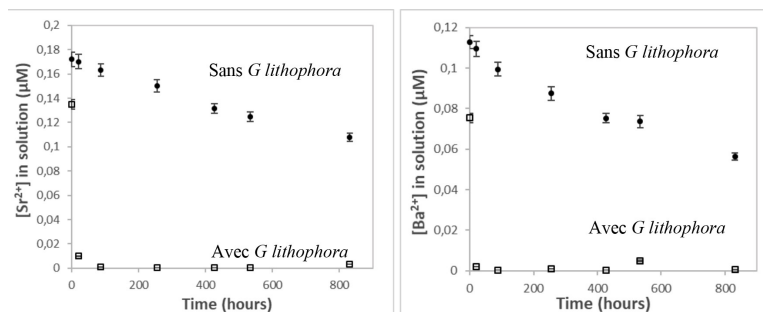


Figure 2

Suivi temporel des concentrations en Sr (à gauche) et Ba (à droite) dissous dans l'eau avec les morceaux de roches carbonatées et avec (carrés vides) et sans (ronds pleins) *G. lithophora*.

Si la capacité de cette espèce à prélever en continu le Sr et le Ba même à de très faibles concentrations est ainsi désormais bien démontrée, il reste à évaluer si la présence de strontium radioactif plutôt que de l'isotope stable altère ou non cette capacité avant d'envisager le développement d'un nouveau procédé de bioremédiation. De plus, il restera à étudier comment cette bactérie pourrait modifier localement les cycles géochimiques du Sr et du Ba dans le milieu naturel.

Référence

"Impact of the cyanobacterium *Gloeomargarita lithophora* on the geochemical cycles of Sr and Ba" Marine Blondeau, Karim Benzerara, Céline Ferard, Jean-Michel Guigner, Mélanie Poinso, Margot Coutaud, Mickaël Tharaud, Laure Cordier, Fériel Skouri-Panet *Chemical Geology*, 483, 88-97 (2018) <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.02.029>

Contact

Karim Benzerara : Karim.benzerara@upmc.fr