

Dans la roche, la vie

Elle a colonisé les moindres recoins à la surface de la planète, dans les airs et sous les mers. Mais de plus en plus d'indices indiquent que la vie se serait aussi infiltrée à des kilomètres sous nos pieds, au cœur des roches. De quoi reconsidérer la géologie.

Dans le **détale** des couloirs du campus universitaire de Jussieu, en pleins travaux de désamiantage, se cache une machine à nulle autre pareille. Peu spectaculaire, elle est cependant la seule en Europe à servir exclusivement une toute nouvelle discipline scientifique, la géomicrobiologie, qui étudie les liens entre le minéral et le vivant. Un lien intime, longtemps ignoré, mais qui apparaît aujourd'hui comme une des clés de la compréhension de la planète. Au cœur de cette science, des questions aussi variées que l'origine de la vie sur Terre ou encore le stockage géologique du gaz carbonique...

L'instrument, inauguré en avril 2007 et financé en partie par le conseil régional d'Île-de-France, a pour nom savant « microscope confocal Raman et fluorescence », « confocal » abrège les chercheurs. « *Dans une roche, il est capable d'identifier non seulement les minéraux qui la compo-*

sent, mais aussi les éventuels micro-organismes qui l'habitent, avec un pas d'un micromètre de résolution, explique Bénédicte Menez, de la toute jeune équipe de géomicrobiologie de l'Institut de physique du globe de Paris. *Quant à la population logée en surface, le pouvoir d'analyse est encore meilleur : tous les 0,5 micromètres.* » Autrement dit, il traque la vie jusque dans les pores des roches.

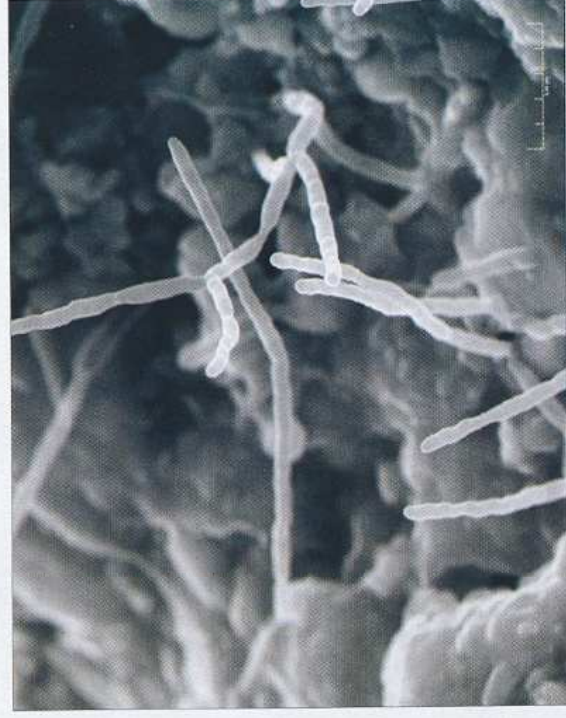
Outil indispensable, car désormais les scientifiques en sont persuadés : non seulement la vie a colonisé la surface de la Terre, non seulement la probabilité qu'elle soit apparue ailleurs dans l'Univers est sérieusement envisagée, mais elle s'est aussi installée en profondeur, jusqu'à au moins quelques kilomètres sous nos pieds. Pas un pli, interstice, orifice, pore ou fracture des roches qui ne soit colonisé par les micro-organismes. Partout où circule l'eau, même à des doses infimes, la vie s'est





La découverte d'extrémophiles près de sources hydrothermales sur une dorsale océanique (à gauche) a permis d'envisager la vie à plusieurs kilomètres de profondeur : ci-dessous, des filaments microbiens vivant dans les roches calcaires. Le microscope « confocal Raman et fluorescence » (ci-contre) permet d'analyser en même temps la roche et ses hôtes.

©Ddi



©Ddi

développée. Or, depuis quelques années, les géophysiciens ont pris conscience de la quantité d'eau qui existait dans la croûte et le manteau terrestres. Pas étonnant, donc, que la vie y connaisse aussi une inflation. Mais il fallait encore imaginer des organismes vivant dans la fournaise des profondeurs, sous la pression exercée par des centaines de mètres de terre.

A la vie terrestre, et à son événementiel pendant extraterrestre, il faut donc maintenant ajouter la vie intraterrestre. Certains scientifiques estiment que la quantité de carbone contenue sous terre est équivalente à celle qui existe en surface ! Tout commence, dans les années 1960, lorsque le microbiologiste Thomas Brock analyse les eaux d'une des sources chaudes qui jaillissent dans le parc de Yellowstone, dans le Wyoming (Etats-Unis). Contrairement à toute attente – depuis Pasteur, les biologistes étaient persuadés que les microbes rendaient l'âme

au-dessus de 80 °C –, il y découvre deux espèces de micro-organismes, *Thermus aquaticus* et *Sulfolobus acidocaldarius*, capables de supporter des eaux très chaudes – plus de 90 °C – et très acides (pH = 1). Dès lors, la chasse aux extrémophiles – ces micro-organismes qui bravent les conditions physico-chimiques extrêmes – est lancée.

On s'est d'abord souvenu qu'en 1956, en essayant de stériliser les boîtes de corned-beef à l'aide de rayonnements ionisants, les chercheurs américains avaient découvert un microbe, le bien nommé *Deinococcus radiodurans*, résistant aux doses massives de rayonnement. Celui qui resurgira des années plus tard dans les eaux de refroidissement des centrales nucléaires et à Tchernobyl ne cesse toute activité de reproduction que lorsqu'il reçoit mille fois la dose létale pour l'homme. Puis tous les extrémophiles identifiés vivaient au grand jour, sur le plancher des vaches. ●●●

© NANCY LORRÄNE/KRAFFT/HOIA QUI

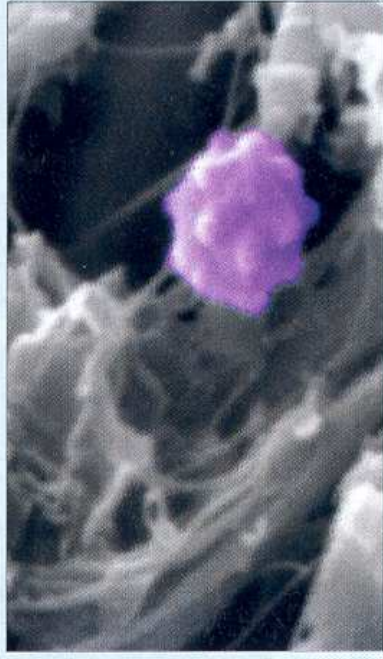
●●● Dans les années 1980, ils pointent enfin le bout de leur nez là où on les attend le moins : à 4 000 m sous les mers. Là, tout le long des dorsales océaniques, au point où deux plaques tectoniques s'écartent, surgissent les sources hydrothermales qui crachent une eau provenant des profondeurs, riche en éléments chimiques et frôlant les 400 °C. A proximité grouillent poissons, crustacés et vers. Mais les scientifiques ne sont pas au bout de leurs surprises. Dans les parois de ces « fumeurs noirs », à 113 °C et par 300 fois la pression atmosphérique, ils découvrent *Pyrolobus fumarii*... Température et pression extrêmes : c'est un poly-extrémophile. Or, quand on s'enfonce sous terre, ces deux paramètres augmentent. D'où l'idée de rechercher des extrémophiles loin, très loin sous nos pieds. Mais jusqu'où aller ?

« On pense aujourd'hui que le matériel génétique, l'ADN, se détériore irrémédiablement au-dessus de 150 °C. Or, on sait qu'à mesure que l'on s'enfonce dans la croûte terrestre, la température augmente graduellement. C'est le gradient géothermique, qui est d'environ 1 °C tous les 30 m », explique Emmanuel Gérard, une microbiologiste récemment intégrée à l'équipe de géologues pour sceller la naissance de la nouvelle discipline. Un simple calcul permet de placer les 150 °C aux alentours de 4500 m de profondeur, ce qui laisse augurer un potentiel de vie extraordinaire ! « Nous nous demandons dans quelle mesure toute cette vie intervient dans les grands cycles élémentaires qui déterminent la chimie de la Terre », renchérit Bénédicte Menez. Cette idée, qui aurait fait sourire les géologues il y a peu, fait son chemin. Aujourd'hui, les professionnels du sous-sol sont obligés d'en tenir compte. L'équilibre de tout ce qui se trouve enfoui repose en partie sur l'activité de ces organismes. Premier exemple, objet d'un programme en partenariat avec les sociétés Total et Schlumberger : le stockage géologique du CO₂ (voir S. et A. n° 716, octobre 2006).

Le troisième groupe du vivant

Les archées règnent en maîtres parmi les extrémophiles. Pendant longtemps, les scientifiques les ont assimilées aux bactéries, d'où leur ancien nom d'archéobactéries. Difficile de classer sur l'arbre universel du vivant des organismes aussi minuscules. En 1965, le prix Nobel Linus Pauling émettait une idée qui révolutionnait la classification du vivant : les macromolécules biologiques (ADN, ARN) accumulent l'histoire de l'évolution de l'espèce. Résultat : en comparant

la même séquence d'une macromolécule chez des espèces différentes, on peut rendre compte de leurs relations de parenté. Ainsi, les archées, bien que semblables aux bactéries d'un point de vue morphologique puisque comme elles procaryotes (êtres unicellulaires sans noyau), se sont révélées génétiquement très éloignées de leurs cousines. Là où l'on distinguait deux groupes – bactéries et eucaryotes –, il faut compter aussi avec les archées, troisième groupe à part entière du vivant.



Archée grossie 100 000 fois, vue au microscope électronique.

A la vie terrestre, et à son éventuel pendant extraterrestre, il faut donc désormais ajouter la vie intraterrestre

Cette injection du CO₂ dans le sous-sol, déjà opérationnelle en mer du Nord, apparaît comme une des solutions les plus prometteuses pour limiter ses rejets dans l'atmosphère. Seulement, personne n'a songé aux populations de micro-organismes qui vont se trouver noyées par des kilomètres cubes de gaz carbonique, ou à leur éventuelle « revanche » ! Exemple : « Le réservoir qui reçoit le gaz carbonique doit être stable géologiquement et ses parois étanches. Or, l'activité des micro-organismes pourrait remettre en cause ces

ces organismes, qui, en "respirant" ce métal en solution dans les fluides terrestres, le transformeraient en or natif », explique Bénédicte Menez. Du coup, pour trouver de nouveaux gisements, il pourrait être intéressant de traquer les extrémophiles... Ceux-ci apparaissent également très prometteurs pour l'exploitation des gisements déjà connus, par exemple en sélectionnant l'or associé à d'autres éléments chimiques. La piste de ces micro-organismes mène aussi à une question très débattue, à laquelle s'intéresse Pascal Philippot, le responsable de l'équipe : celle des débuts de la vie, datée à environ -3,9 milliards d'années. Notre jeune planète était alors à peine âgée de 700 millions d'années et se trouvait soumise à une intense pluie de micro-météorites. Certes, les océans étaient déjà là, mais – selon une estimation récente – leur eau frisait les 70 °C... Les organismes qui auraient pu supporter de telles conditions ont-ils tous disparu ? Les scientifiques n'ont pas la réponse. Cependant, ces premiers « habitants » ont dû résister à de hautes températures et des radiations très énergétiques... caractéristiques qui rappellent étrangement les habitats des extrémophiles d'aujourd'hui ! « En outre, les "records" de l'extrémophile appartiennent au groupe des archées (lire l'encadré), nouveau venu dans l'arbre du vivant, et pourraient avoir un lien génétique avec notre premier ancêtre commun... », note Emmanuelle Gérard. Résultat : les archées seraient de bonnes candidates pour rendre compte des formes primitives de vie sur Terre. Pour s'attaquer à des questions aussi variées, l'équipe de Jussieu mise sur le confocal, car l'étape préalable à toute avancée est de caractériser les liens intimes entre les roches et leurs hôtes, liens qui, au cours des temps, ont fini par constituer une véritable galerie de biosignatures conservées dans les roches profondes. Un travail de titan.

Azar Khalatbari