

FRANCES WESTALL

est exobiologiste au Centre de biophysique moléculaire, à Orléans, et membre de l'équipe scientifique de la mission européenne ExoMars 2020.



Mars, un autre laboratoire pour explorer les origines de la vie

OÙ ET QUAND LA VIE EST-ELLE APPARUE SUR TERRE? DIFFÉRENTES HYPOTHÈSES SONT ENVISAGÉES. COMMENT INFLUENT-ELLES SUR LA PRÉPARATION DES DEUX MISSIONS QUI PARTIRONT EN 2020 À LA RECHERCHE DE TRACES DE VIE SUR MARS, L'EUROPÉENNE EXOMARS 2020 ET L'AMÉRICAINNE MARS 2020? LE POINT AVEC FRANCES WESTALL.

Pensez-vous que la vie a pu apparaître dans des sources chaudes terrestres, comme le suggèrent David Deamer et ses collègues (voir l'article page 28)?

Le travail en laboratoire de David Deamer et ses collègues est intéressant: dans les années 1990, ils ont fait subir à un mélange de nucléotides et de lipides des cycles de sécheresse et d'humidité, dans des conditions d'acidité et de température qui imitaient celles observées dans les sources terrestres actuelles, et ils ont obtenu des sortes de précurseurs de cellules: des molécules ressemblant à de l'ARN encapsulées dans des vésicules lipidiques.

Leurs protocoles sont assez plausibles. L'hypothèse de l'apparition de la vie dans des sources chaudes terrestres présente cependant plusieurs problèmes. D'une part, l'eau d'une source arrive à la surface de la Terre sous pression. Lorsqu'elle sort de terre, la pression chute, ce qui entraîne des recombinaisons moléculaires. Ainsi, en sortant de sa source sur la Terre primitive et en arrivant dans une atmosphère constituée essentiellement de CO_2 , l'eau chaude a dû se dissocier pour produire de l'eau oxygénée (H_2O_2), laquelle a sans doute oxydé toute matière organique.

D'autre part, les sources chaudes terrestres étaient très probablement des environnements instables et peu fréquents. Enfin, si jamais des protocellules sont apparues à la surface du peu de terres émergées qui existaient alors, comment ont-elles survécu, notamment, au rayonnement ultraviolet intense et aux impacts causés par le volcanisme proche, ou par des

météorites? Et comment sont-elles arrivées jusqu'à l'océan? Sans compter le flux rapide de l'eau à la sortie du geyser, qui risquait de les détruire... Ainsi, il se peut tout à fait qu'il y ait eu des processus prébiotiques dans ces environnements, mais la survie des molécules prébiotiques produites, voire des protocellules, y est peu probable.

Quelles sont les autres thèses envisagées?

Selon l'un des scénarios proposés, des radeaux de pierre ponce – une roche volcanique très poreuse – flottant à la surface de l'océan ont pu offrir des conditions propices à l'apparition de la vie: les pores auraient joué le rôle de miniréacteurs, favorisant la concentration de composants prébiotiques dans un environnement protégé de l'extérieur, à une température inférieure à 70 °C. Puis les protocellules éventuellement produites auraient aussi été protégées, tout en recevant continuellement des nutriments. Toutefois, des expériences en laboratoire ont montré que cette géométrie ne favorise pas la formation de ribose, un sucre clé dans la fabrication de l'ARN. De plus, la pierre ponce ne contient pas de carbone. Comment celui-ci, nécessaire à la vie, y est-il arrivé?

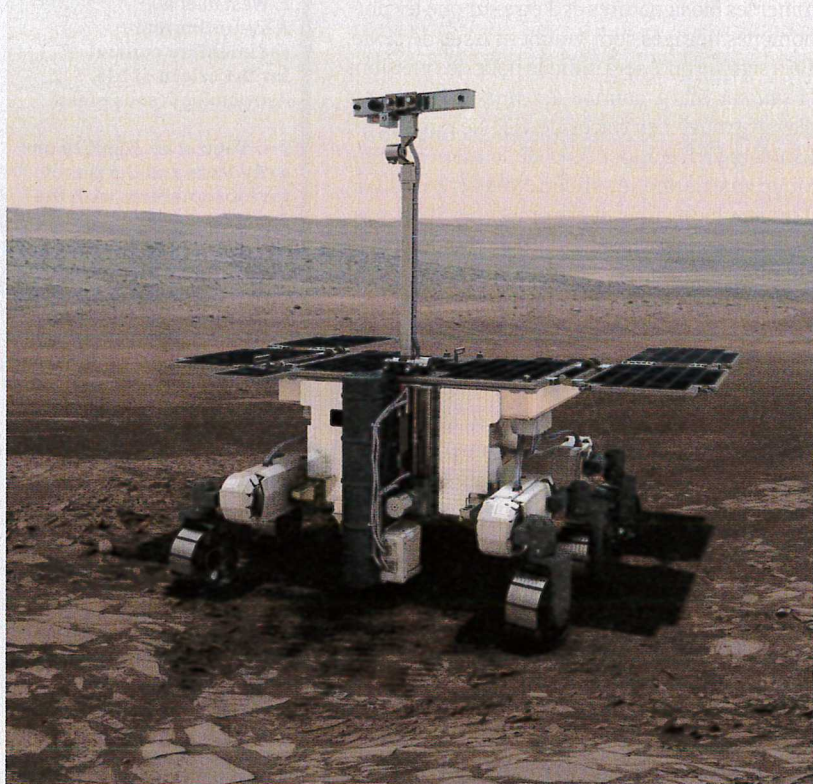
D'après un autre scénario, la vie serait née dans des bassins d'eau marine sur les flancs des volcans, semblables à ceux qui bordent des îles volcaniques comme La Réunion. Mais comme les sources terrestres, ces bassins n'offrent pas de protection contre les rayons ultraviolets ni contre les impacts liés aux éruptions volcaniques. De plus, l'acidité n'y favorise pas non plus la formation de ribose.

Les scénarios qui me paraissent les plus probables sont ceux qui font apparaître la vie dans des systèmes hydrothermaux sous-marins, qu'il s'agisse de minéraux poreux dans des sources hydrothermales sous-marines ou de sédiments marins poreux à proximité de flux hydrothermaux. La température, comprise entre 50 et 150 °C, et l'acidité y facilitent les interactions moléculaires. Leurs surfaces favorisent les interactions des molécules réactives qui les constituent avec la matière organique. L'environnement est protégé des ultraviolets et des impacts, et le flux des fluides hydrothermaux, assez important, diffuse les nutriments. Ce sont, enfin, des environnements très répandus...

Où en est-on de la compréhension des traces potentielles de vie vieilles de plus de 3,7 milliards d'années découvertes au Groenland en 1999?

Il existe peu de roches de la Terre primitive préservées à cause de la destruction de la croûte par la tectonique des plaques. Les roches de plus de 3,5 milliards d'années sont très métamorphosées >

Après un voyage de neuf mois, la mission *ExoMars 2020* déposera un rover (ci-dessous) sur un site martien où des traces de vie ont pu être préservées. Ce dernier effectuera des prélèvements en profondeur et les analysera à la recherche de telles traces.



> - elles ont subi beaucoup de transformations. Aussi, même s'il y a eu de la vie sur ces roches, ses traces sont très altérées.

C'est pourquoi Minik Rosing, du Muséum géologique de Copenhague, et ses collègues ont recherché, en 1999, des indices indirects de la présence de vie, tels qu'une signature isotopique particulière du carbone, dans des roches de plus de 3,7 milliards d'années. Ils ont ainsi repéré, dans des roches sédimentaires et minérales de la formation d'Isua, dans l'Ouest du Groenland, une abondance de l'isotope carbone 13 compatible avec un métabolisme biologique. L'analyse des isotopes de plomb de ces roches leur a alors indiqué que l'uranium avait été plus abondant que le thorium dans ces roches, avant que l'un et l'autre ne se désintègrent en un isotope (différent) de plomb.

Pour Minik Rosing et ses collègues, l'abondance de l'uranium suggère que cet élément a été séparé chimiquement du thorium via une réaction d'oxydation, c'est-à-dire en présence d'oxygène. L'oxygène aurait été apporté par une forme de photosynthèse produisant de l'oxygène à partir de la lumière. C'est possible, mais peu probable. De plus, il reste un doute dû au fait que l'on ne sait pas quel effet l'altération métamorphique a eu sur les molécules étudiées, notamment sur la signature isotopique...

En 2016, Allen Nutman, de l'université de Wollongong, en Australie, et ses collègues ont découvert dans la même formation des structures de 3,7 milliards d'années ressemblant aux stromatolithes de Pilbara, en Australie. Ils y voient, comme à Pilbara, des traces de vie ancienne, mais on ne peut exclure qu'il s'agisse de strates rocheuses plissées par la pression. Si leur hypothèse se confirme, elle renforcerait aussi celle de Minik Rosing.

Une équipe japonaise vient de publier la découverte d'une trace de vie remontant à 3,95 milliards d'années au Canada. Qu'apporte cette découverte au débat sur le lieu où la vie a pu émerger?

Takayuki Tashiro, de l'université de Tokyo, et ses collègues ont analysé la composition isotopique de graphite trouvé dans des roches métasédimentaires (des dépôts sédimentaires qui se sont solidifiés et ont subi des transformations métamorphiques) vieilles de 3,95 milliards d'années. Comme l'équipe de Minik Rosing, ils ont détecté une teneur en carbone 13 qui suggère que le matériau a été produit par des microorganismes. Avant toute interprétation ou conjecture, il faut déjà confirmer l'âge de ces roches. Par ailleurs, là aussi, on ignore quel a été l'effet de la transformation métamorphique sur la composition isotopique...

Un retour d'échantillons martiens est envisagé, mais ne sera pas possible avant 2030

Où cherche-t-on les plus anciennes traces de vie aujourd'hui?

Les plus anciennes traces de vie bien préservées se trouvent dans des roches de l'Archéen inférieur (il y a environ 3,5-3,3 milliards d'années), surtout en Afrique du Sud, où les mieux préservées sont à Barberton, et en Australie, dans le Pilbara. Ces roches sont étudiées par des méthodes diverses et de plus en plus pointues. Il s'agit aussi de chercher de nouveaux types de biosignatures qui permettraient de détecter des traces très subtiles, comme celles qu'auraient pu laisser des bactéries chimiotrophes.

Quelles sont les implications de ces recherches pour les missions d'exobiologie?

Tous les travaux montrent la difficulté de déterminer les biosignatures et d'être sûr que les phénomènes dégagés sont vraiment issus de la vie. Cela signifie qu'il sera difficile pour des missions *in situ* sur Mars, comme *ExoMars*, d'être sûres d'avoir trouvé des traces de vie. Néanmoins, si *ExoMars* arrive à identifier de la matière organique martienne, et si cette matière est bien d'origine biologique et est préservée, il est possible que l'on soit capable d'y détecter des traces chimiques de la vie, comme la structure des molécules et leur chiralité. La matière organique préservée dans le sous-sol de Mars devrait être mieux conservée que sur Terre, car la gravité de Mars est beaucoup moins importante, et donc les effets du métamorphisme aussi. Mars est de fait un autre laboratoire très prometteur pour explorer les origines de la vie. Mais si *ExoMars* trouve un indice, il faudra alors rapporter le matériel sur Terre pour des analyses plus approfondies.

Un retour d'échantillons sur Terre est-il réellement envisagé?

Oui, mais ce ne sera sans doute pas possible avant les années 2030...

Propos recueillis par Marie-Neige Cordonnier

BIBLIOGRAPHIE

F. Westall et al., **A hydrothermal-sedimentary context for the origin of life**, *Astrobiology*, sous presse.

J. L. Vago et al., **Hability on early Mars and the search for biosignatures with the ExoMars rover**, *Astrobiology*, vol. 17, pp. 471-510, 2017.

T. Tashiro et al., **Early trace of life from 3,95 Ga sedimentary rocks in Labrador, Canada**, *Nature*, vol. 549, pp. 516-518, 2017.

A. P. Nutman et al., **Rapid emergence of life shown by discovery of 3,7-million-year-old microbial structures**, *Nature*, vol. 537, pp. 535-538, 2016.

M. Rosing et R. Frei, **U-rich archaean sea-floor sediments from Greenland - indications of >3 700 Ma oxygenic photosynthesis**, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, vol. 217, pp. 237-244, 2004.