

> géothermales comme celle-ci comportent des centaines de mares, chacune avec une acidité et une température légèrement différentes, et des compositions et concentrations variées en ions et autres substances chimiques dissoutes. En outre, la complexité chimique est riche dans des terrains comme celui-ci parce qu'ils contiennent trois interfaces très réactives: entre l'eau et la roche, entre la roche et l'air, et entre l'eau et l'air.

Mélangez le tout: les cycles de mouillage-séchage se produisant plusieurs fois par jour, les conditions chimiques variées des bassins, les interfaces hautement réactives, la capacité des mares à échanger des composants par le biais des geysers, et un réseau de fractures souterraines, interconnectées et remplies de liquide. Faites le calcul, et vous verrez qu'un terrain géothermal contenant une centaine de sources chaudes peut produire un million ou plus de nouvelles combinaisons de conditions chaque année! Ce nombre suggère que la vie a pu apparaître et commencer à évoluer en seulement 10 millions d'années et ce, dès l'installation d'une croûte stable émaillée de masses volcaniques terrestres au milieu des océans, il y a plus de quatre milliards d'années.

SUR TERRE OU DANS L'OCÉAN ?

Tous les scientifiques ne partagent pas notre conviction. L'hypothèse des sources hydrothermales sous-marines a toujours le vent en poupe. Au laboratoire Jet Propulsion de la Nasa, le biochimiste Michael Russell a ainsi développé un modèle alternatif élégant (mais pas encore prouvé) à partir de la découverte du sous-marin *Alvin*. Dans son modèle, des membranes minérales qui constituent de minuscules pores à l'intérieur des roches des cheminées séparent l'eau alcaline de l'eau plus acide. Cela produit un gradient d'acidité qui constitue une forme d'énergie exploitable: les bactéries actuelles l'utilisent pour produire l'ATP dont elles ont besoin. L'autre source d'énergie de ces lieux provient du mélange de gaz dissous tels que l'hydrogène et le dioxyde de carbone. Michael Russell et ses collègues ont émis l'hypothèse que lorsque l'hydrogène sortait de la cheminée hydrothermale et se mélangeait avec le dioxyde de carbone présent dans l'eau de mer ancestrale, un transfert d'électrons s'opérait de l'hydrogène vers le dioxyde de carbone, offrant de l'énergie pour synthétiser plus de composés organiques complexes. Dans ce modèle, les compartiments minéraux ressemblent aux cellules, et l'énergie issue du gradient d'acidité et de l'hydrogène évoluerait en un métabolisme primitif nécessaire aux toutes premières formes de vie.

Les implications de ces deux scénarios s'étendent au-delà des recherches des plus anciennes traces de vie sur Terre: le choix du modèle influe aussi sur la stratégie à adopter dans la quête de vie sur d'autres planètes et

leurs lunes. Si la théorie des sources hydrothermales sous-marines est correcte, les océans glacés d'Encelade, lune de Saturne, et d'Europe, lune de Jupiter, sont des cibles pertinentes. En revanche, si notre modèle est juste, il est peu probable que ces lieux hébergent la vie.

Qu'en est-il de Mars? Des traces témoignent de la présence sur cette planète de mers peu profondes dans un passé lointain, mais pas de l'existence d'un vaste océan ni de zones tectoniques comme celles qui ont créé des cheminées hydrothermales sous-marines sur Terre. Si la vie

Seulement dix millions d'années auraient suffi pour que la vie émerge et commence à évoluer

est apparue dans de telles cheminées, il est peu probable qu'elle ait émergé sur Mars. Mais si elle a débuté sur Terre dans des sources chaudes volcaniques, alors un phénomène similaire a aussi pu se produire sur la planète rouge. En effet, en 2008, le robot explorateur Spirit a découvert sur Mars, dans les collines Columbia, des dépôts de sources chaudes vieux de 3,65 milliards d'années.

L'origine de la vie est comme un puzzle comportant beaucoup de pièces, dont nous ignorons encore trop de choses pour placer chaque morceau au bon endroit. Concernant le Dresser, par exemple, nous ne savons pas ce qui augmente la concentration de certains éléments dans différentes mares ni comment les zones géothermales évoluent, ni même comment leurs différents composants interagissent pour synthétiser ou dégrader des molécules organiques. Des expériences plus sophistiquées de chimie prébiotique dans une série de petites mares chaudes, où l'on étudie comment les molécules organiques complexes se forment, interagissent et se combinent lorsqu'elles sont encapsulées au sein de membranes, nous en diront certainement plus. La route est encore longue, mais, que ce soit sur terre ou dans la mer, les lois de la chimie et de la physique livrent peu à peu des indices pour compléter le puzzle. Et c'est particulièrement grisant de voir ainsi le chemin se dessiner vers la solution. ■

BIBLIOGRAPHIE

T. Djokic et al., **Earliest signs of life on land preserved in ca. 3.5 Ga hot spring deposits**, *Nature Communications*, vol. 8, article n° 15263, 2017.

B. Damer, **A field trip to the archaean in search of Darwin's warm little pond**, *Life*, vol. 6(2), article n° 21, 2016.

D. W. Deamer et al., **Hydrothermal conditions and the origin of cellular life**, *Astrobiology*, vol. 15(12), pp. 1091-1095, 2015.

D. Deamer, **First life : Discovering the connections between stars, cells, and how life began**, University of California Press, 2011.

**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 métamorphisées ➤

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.

