



Origines de la vie : quoi de neuf dans la « soupe » primordiale ?



ANDRÉ BRACK
Chimiste,
directeur
de recherche
honoraire
au CNRS

EN 1924, le biochimiste russe Alexandre Oparin émit l'hypothèse qu'une première cellule vivante était née dans une « soupe » primordiale riche en composés carbonés synthétisés dans l'atmosphère à partir du méthane. Ce n'est qu'en 1953 que le chimiste américain Stanley Miller, décédé en 2007, mit l'idée en pratique.

En soumettant un mélange de méthane, d'hydrogène, d'ammoniac et d'eau à des décharges électriques, il obtint quatre acides aminés. En démontrant qu'il était possible de synthétiser ces véritables briques du vivant à partir d'un dérivé carboné comme le méthane, Miller généra un immense espoir : les chimistes allaient pouvoir reconstituer une vie primitive en tube à essais. En 2013, soixante ans après l'expérience

de Miller, que reste-t-il de cet espoir ? Sans conteste, l'eau de la « soupe » reste le berceau de la vie. Son état liquide résulte du réseau dense de « liaisons hydrogène » qui relie les atomes d'oxygène d'une molécule d'eau aux atomes d'hydrogène d'une molécule voisine. Ces liaisons ont joué un rôle déterminant dans la chimie de l'origine de la vie. À ses débuts, cette dernière utilisait très probablement des dérivés carbonés. Première difficulté : selon les géochimistes, l'atmosphère primitive de la Terre était dominée par du dioxyde de carbone (CO₂) et ne contenait que peu de méthane. En remplaçant ce dernier par le CO₂, Miller n'obtint que de très faibles rendements en acides aminés.

« Le rêve de recréer la vie en tube à essais »

Fort heureusement, deux nouvelles « filières » sont apparues depuis la célèbre expérience. Les scientifiques ont notamment découvert que les gaz qui s'échappent des sources hydrothermales sous-marines comme celle de Rainbow, située à plusieurs milliers de mètres de profondeur au large des Açores,

Tous les mois dans Le Figaro, des membres de l'Académie des sciences répondent aux grandes questions de l'actualité scientifique.

renferment de l'hydrogène et du CO₂ et génèrent de longues chaînes de carbone et d'hydrogène, premiers pas vers la synthèse des membranes.

Seconde piste : ces ingrédients nous arrivent aussi tout droit de l'espace. C'est ainsi que la météorite de Murchison, tombée en Australie en 1969, renferme plus de soixante-dix acides aminés différents, dont huit entrent dans la composition des protéines. À plus petite échelle, les collectes de micrométéorites réalisées dans les glaces de l'Antarctique permettent d'affirmer que d'énormes quantités de matière carbonée complexe furent livrées à la jeune Terre, il y a un peu plus de 4 milliards d'années.

Le mode de fonctionnement cellulaire commun à tous les systèmes vivants suggère que la vie terrestre est apparue sous les traits d'une minicellule. Les chimistes se sont donc efforcés de reconstituer en laboratoire des modèles réduits de membranes, de protéines et d'acide ribonucléique (ARN), une biomolécule très proche de l'ADN. Le bilan est satisfaisant pour les minimembranes et les miniprotéines reconstituées *in vitro*. Par contre, la formation spontanée de longs brins d'ARN est plus problématique, à cause notamment de l'un de ses composants, le sucre ribose. Quelques avancées ont néanmoins été réalisées grâce à l'acide borique, qui stabilise le ribose. La synthèse de nucléotides (les maillons des molécules d'ARN et d'ADN) peut également être obtenue en partant des précurseurs des sucres et des bases (les fameuses « lettres » de l'alphabet génétique). Enfin, les nucléotides peuvent être polymérisés en présence d'argile. Il se peut même que la vie soit apparue sous les traits de vésicules au sein d'ARN, animant un monde vivant fait d'ARN (au lieu d'ADN, comme c'est le cas aujourd'hui)

et qui aurait précédé le monde cellulaire.

À l'idée d'une vie primitive hétérotrophe utilisant des molécules carbonées déjà formées, née dans une soupe primordiale contenant tous les éléments nécessaires, certains lui préfèrent une vie autotrophe utilisant directement le CO₂ comme source de carbone. Dans cette approche métabolique, les organismes vivants primitifs sont décrits comme des molécules carbonées favorisant leur propre formation (autocatalytiques) et se développant sur des surfaces minérales.

Forcé est malgré tout de constater qu'après soixante années d'efforts, le rêve de recréer la vie en tube à essais n'a toujours pas été exaucé. Par contre, en plantant le décor et les personnages, les chimistes ont défini une véritable référence pour la recherche de vie extraterrestre qui permettra, peut-être, de sortir la vie terrestre de sa solitude cosmique. ■

L'Académie des sciences organise un colloque «Hypothèses sur les origines de la vie» les 16 et 17 septembre 2013 à l'Institut de France. Programme en ligne sur le site de l'Académie <http://www.academie-sciences.fr/active/conf/hfm>

Les chimistes tentent de faire « parler » les roches



SYLVIE DERENNE
Géochimiste,
université
Pierre-et-Marie-Curie/CNRS, Paris

QUAND la vie est-elle apparue sur Terre ? La réponse doit pouvoir se trouver dans les roches les plus anciennes de notre planète, comme les roches archéennes, vieilles de plus de 2,5 milliards d'années (Ma), et en particulier dans la matière organique qu'elles contiennent. Mais pour cela, il faut s'assurer que cette matière organique est bien d'origine biologique et qu'elle a le même âge que la formation géologique où elle se trouve.

Une première difficulté consiste à bien distinguer la matière organique « originelle » de celle plus récente qui aurait contaminé la roche en la pénétrant au cours de sa longue histoire. Une telle contamination peut se produire de multiples façons. Le cas le plus évident est la contamination anthropique au cours de la collecte d'échantillons, de leur stockage ou de leur analyse au laboratoire.

Seconde possibilité : des molécules organiques solubles « jeunes » ont pu s'infiltrer par la suite dans les pores de la roche. Leur distribution étant relativement hétérogène, il est facile de les identifier. De ce point de vue, les roches siliceuses de faible porosité et peu sujettes à l'infiltration, comme les cherts (sorte de silix), ont un profil intéressant. Un autre type de contamination peut provenir de bactéries ayant colonisé des fractures de la roche.

Marqueurs de biogénicité

Enfin, l'association intime entre matrice minérale et matière organique à l'échelle micro voire nanoscopique peut indiquer que ces deux types de constituants se sont formés au même moment, mais cela reste difficile à vérifier sur un échantillon dans sa globalité. D'où la nécessité de mettre au point une méthode permettant de dater précisément la matière organique, à l'instar de la radiochronologie (basée sur la radioactivité) pour la matrice minérale des roches. Une corrélation récemment établie entre la distribution spatiale de certains constituants (les radicaux libres) et l'âge constitue une approche prometteuse.

Plusieurs marqueurs de vie (ou de biogénicité) ont été proposés dans les roches primitives. Les plus anciens sont morphologiques (microfossiles ressemblant à des cyanobactéries), mais ils ont été invalidés après la découverte de structures identiques formées par voie non biologique, dite abiologique. Pour la même raison, la détermination de la

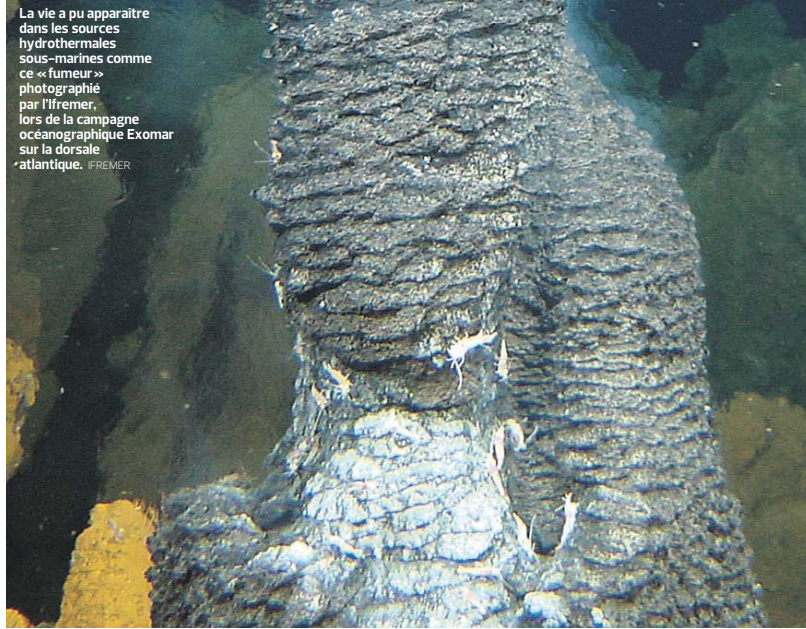
composition chimique globale de ces matériaux carbonés ne permet pas non plus de leur attribuer à coup sûr une origine biologique.

L'abondance relative d'atomes plus ou moins lourds d'un même élément (composition isotopique) a également été proposée pour révéler des mécanismes biologiques. Ainsi les compositions isotopiques du soufre semblent spécifiques de l'activité de certaines bactéries, mais cela n'est pas vrai pour d'autres éléments « vitaux » comme le carbone.

Enfin, il est possible d'identifier certains marqueurs de biogénicité à l'échelle moléculaire en privilégiant la fraction insoluble potentiellement moins contaminée. En 2008, notre équipe a apporté la preuve que la matière organique insoluble d'une roche datant de 3,5 Ma a été synthétisée par un organisme vivant en déterminant sa composition moléculaire.

Malheureusement, les tentatives plus récentes pour étendre ce résultat à d'autres roches du même âge se sont révélées vaines, cette signature biologique ayant été effacée sous l'influence du métamorphisme (température et pression) qu'elles ont subi. Les efforts doivent donc maintenant se concentrer sur la fraction insoluble de cherts peu métamorphisés. ■

La vie a pu apparaître dans les sources hydrothermales sous-marines comme ce « fumeur » photographié par l'Ifremer, lors de la campagne océanographique Exomar sur la dorsale atlantique. IFREMER



Une étrange propriété optique de la matière « vivante »



HENRI KAGAN
Chimiste,
membre
de l'Académie
des sciences

LES ORGANISMES vivants comportent un grand nombre de molécules organiques dotées de l'étonnante capacité de dévier vers la droite ou vers la gauche le plan d'une lumière polarisée plane. Ce « pouvoir rotatoire » a été mis en évidence par Louis Pasteur dès 1848 lors de ses travaux sur l'acide tartrique, le composant du tartre qui se forme dans les cuves de vinification. Le célèbre savant français parlait alors de « dissymétrie moléculaire de l'acide tartrique ». Depuis, l'expression « dissymétrie » a fait place au terme moderne « chiralité » (de la racine grecque *kheir*, « main »).

En chimie, une molécule est dite « chirale » quand sa structure n'est pas superposable à son image dans un miroir, à l'image de notre main droite et de notre main gauche qui, même si elles nous paraissent semblables, sont en réalité différentes. Cette propriété

caractérise la plupart des biomolécules impliquant notamment des sucres ou des acides aminés et que l'on retrouve dans les cellules vivantes. Par exemple, la forme chirale prédominante du ribose est le D-ribose, autrement dit l'isomère « droit » de ce sucre constitutif de l'ARN (acide ribonucléique). À l'inverse, tous les acides aminés sont des isomères « gauche, L ». Les composants fondamentaux des organismes vivants diffèrent ainsi du couple D-ribose/L-aminoacides.

Pasteur avait observé que les molécules organiques extraites de milieux biologiques ou de micro-organismes étaient toujours optiquement actives, à l'inverse des composés synthétisés en laboratoire, qui s'avéraient racémiques (mélange en proportions égales, et donc optiquement inactif, de formes images l'une de l'autre). Il en avait conclu que le fait qu'un composé soit doté d'un pouvoir rotatoire suffisait à prouver son origine biologique. Cette proposition intéressante a donné lieu à des débats entre scientifiques.

Hétérogénéité

Les modèles de croissance de cellules primitives confirment que les systèmes biologiques constitués de briques élémentaires de même chiralité (« homochiralité ») sont plus efficaces pour « gagner » la bataille de la vie. Le bon fonctionnement de la cellule repose en effet sur de multiples réactions chimiques catalysées par des enzymes, en général des protéines.

Or, la forme et, par conséquent, l'activité précise d'une enzyme sont déterminées par l'enchaînement de ses « briques » constitutives, autrement dit de ses acides aminés. Dans ces conditions, il est clair qu'un mélange initial d'acides aminés « droit » et « gauche » serait source d'une grande confusion car les nombreuses combinaisons moléculaires possibles ne pourraient garantir la conformation spécifique de l'enzyme. Il ne semble pas que la vie soit compatible avec une telle hétérogénéité.

Reste à savoir comment les biomolécules chirales ont pu se construire à partir de précurseurs qui ne l'étaient pas au départ. On sait maintenant que de nombreuses transformations, essentiellement basées sur des réactions autocatalytiques, conduisent à un produit chiral. On invoque aussi la présence d'acides aminés optiquement actifs dans diverses météorites qui ont « ensemencé » notre planète à ses débuts. Toutefois, il est prématuré d'établir une corrélation avec la configuration droite ou gauche des molécules chirales trouvées sur Terre dans les systèmes vivants. L'origine de l'homochiralité des molécules biologiques reste à découvrir. ■