

ou dans un étang à fond boueux et découvert à marée basse.

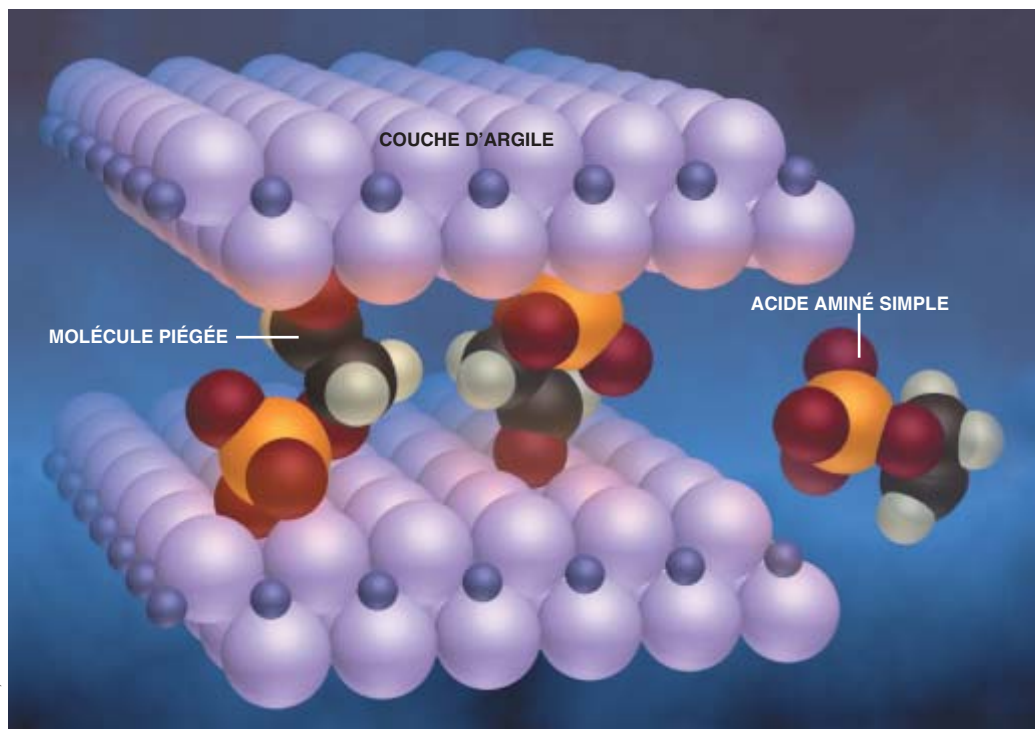
Plus récemment, les équipes de James Ferris de l'Institut polytechnique Rensselaer et de Gustaf Arrhenius, de l'Institut océanographique Scripps, ont démontré que les argiles et d'autres minéraux stratifiés favorisent l'assemblage de toute une variété de molécules organiques qu'ils attirent. L'équipe de J. Ferry a notamment découvert que les argiles offrent un support aux éléments constitutifs de l'ARN, la molécule qui, dans les organismes vivants, traduit les informations génétiques en protéines.

Une fois les molécules organiques fixées sur une armature minérale, diverses molécules complexes ont pu apparaître, mais seules quelques-unes furent incorporées dans les cellules vivantes. Ainsi, les molécules primitives qui allaient devenir importantes pour la vie ont été sélectionnées par leur support. De récentes expériences montrent, une nouvelle fois, que les minéraux ont sans doute joué un rôle central dans cette sélection.

Les minéraux, sélectionneurs de molécules

L'épisode le plus mystérieux de la sélection est peut-être celui qui a doté tous les organismes vivants d'une étrange prédominance d'un certain type d'acides aminés. Comme de nombreuses molécules organiques, les acides aminés se présentent sous deux formes possibles : la gauche et la droite. Elles contiennent les mêmes atomes, mais une des deux molécules est l'image de l'autre dans un miroir : on dit que les molécules sont chirales (la forme gauche est dite L, la droite D). Les expériences de synthèse organique produisent invariablement des mélanges à parts égales d'acides aminés L et D, alors que la proportion des acides aminés L dans les organismes vivants est proche de 100 pour cent.

Les chercheurs ont proposé plusieurs théories, des plus sensées aux plus exotiques, pour expliquer ce phénomène étrange. Certains astrophysiciens ont avancé que, lors de la formation de la Terre à partir de nuages de poussières et de gaz contenus dans le Système solaire, certains mécanismes auraient favorisé un excès d'acides aminés L. Toutefois, quels que soient les mécanismes envisagés, ils n'expliquent que des écarts de concentrations en molécules L ou D inférieurs à un pour cent.



2. LES MINÉRAUX ONT SERVI DE SUPPORT aux éléments constitutifs de ce qui allait devenir les molécules de la vie. Des minéraux stratifiés, tels que les argiles, peuvent piéger des molécules organiques errantes entre leurs feuillets rigides et bien ordonnés d'atomes. Maintenues en contact les unes avec les autres, des molécules simples peuvent ainsi réagir pour former des composés plus complexes.

On peut aussi imaginer que le mélange initial en acides aminés L et D était équilibré, mais que l'environnement physique a sélectionné l'une des deux formes au détriment de l'autre. Selon moi, les meilleurs environnements susceptibles de réaliser cette sélection sont les faces cristallines des minéraux, qui sont des images l'une de l'autre dans un miroir (voir la figure 3). Ainsi, j'ai étudié la calcite, un minéral présent dans le calcaire et le marbre, et dont certaines des faces sont des images l'une de l'autre dans un miroir. Or, dans de nombreux coquillages, la calcite que contient la coquille fixe les acides aminés. J'ai alors émis l'hypothèse que les surfaces de calcite présentent des sites bien adaptés à l'un ou à l'autre des deux types d'acides aminés. Avec mes collègues Timothy Filley et Glenn Goodfriend de l'Université George Washington, nous avons réalisé de nombreux essais pour tester cette hypothèse.

Dans une salle blanche qui nous permettait d'éviter toute contamination par des acides aminés omniprésents dans notre environnement, nous avons immergé un cristal de calcite d'une dizaine de centimètres de côté, dans une solution contenant à parts égales des deux formes (L et D) de l'acide aspartique, un acide aminé commun. Au bout

de 24 heures, nous avons retiré le cristal de la solution, nous l'avons lavé à l'eau et avons soigneusement récolté tous les acides aminés qui s'étaient fixés sur chacune des faces du cristal. Nous avons observé que les faces L de la calcite sélectionnaient préférentiellement les acides aminés L et vice versa (les différences atteignant parfois 40 pour cent).

Nous avons constaté que, plus les atomes des faces de la calcite étaient organisés en terrasses, mieux elles sélectionnaient une des deux formes. Nous en avons déduit que les acides aminés L et D s'alignent régulièrement sur leurs faces respectives. Dans des conditions environnementales appropriées, ces rangées organisées d'acides aminés auraient établi des liaisons chimiques et auraient formé des molécules constituées uniquement d'acides aminés gauches ou d'acides aminés droits ressemblant à des protéines. Les faces gauches et droites des cristaux sont aussi fréquentes les unes que les autres dans la nature, de sorte que la sélection chirale des acides aminés n'a probablement pas eu lieu partout au même moment, mais que le précurseur de toutes les variétés de formes de vie sur la Terre aurait imposé sa chiralité et serait apparu à un moment et en un endroit particuliers. Une protéine a pu se for-



mer sur l'une des faces d'un cristal de calcite, puis s'y répliquer (de récentes expériences indiquent que certaines protéines s'autorépliquent). Ainsi, la chiralité de la vie serait le fruit du hasard.

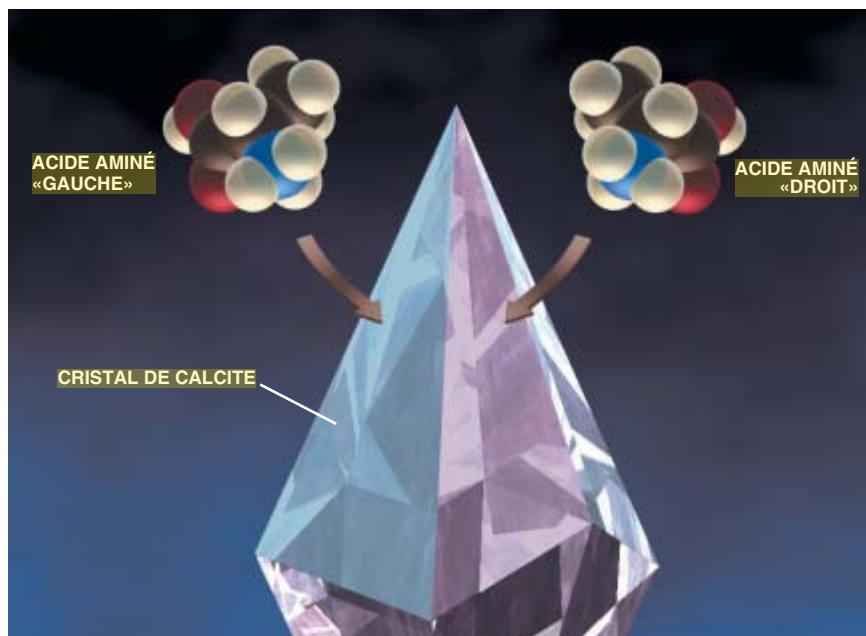
Les minéraux ont offert des niches protectrices aux ingrédients de la vie, leur ont fourni un support, ont sélectionné, concentré et organisé certains d'entre eux. Ils semblent aussi avoir favorisé les réactions biochimiques de la vie primitive, en catalysant des étapes clés de la synthèse des molécules biologiques complexes.

Les minéraux, catalyseurs de réactions

Passionné par les origines de la vie, le chimiste allemand Günter Wächtershäuser fut le premier à proposer que les minéraux avaient eu un rôle décisif dans les premières étapes de la vie. En 1988, il émit l'hypothèse que les sulfures de fer et de nickel, abondants près des sources hydrothermales, auraient servi de matrice, de catalyseur et de source d'énergie dans la formation de molécules biologiques. Selon lui, les premières entités vivantes étaient des revêtements moléculaires qui adhéraient aux surfaces chargées positivement de la pyrite, un minéral composé de fer et de soufre ; elles tiraient leur énergie des réactions chimiques produites par la pyrite. Cette hypothèse est étayée par le fait que certaines enzymes métaboliques (les molécules qui aident les cellules vivantes à transformer l'énergie) ont, en leur centre, des atomes de fer et de soufre.

Les réactions biologiques nécessitent de l'azote sous forme d'ammoniac, mais on pense que la seule forme d'azote présente sur la Terre primitive était combinée sous forme de diazote (l'azote présent dans l'atmosphère). Toutefois, on a réussi à synthétiser de l'ammoniac en mettant en présence de l'hydrogène, de l'azote et de la magnétite (de l'oxyde de fer), à des conditions de pression et de température caractéristiques de celles qui règnent près des bouches hydrothermales : la magnétite catalysa la synthèse d'ammoniac.

Dans notre laboratoire, nous avons fait des expériences s'inspirant de la théorie de G. Wächtershäuser. Nous avons postulé que le métabolisme, c'est-à-dire l'ensemble des transformations chimiques qui s'accomplissent dans un organisme vivant, pouvait avoir lieu sans les traditionnels catalyseurs, les enzymes, mais en présence de minéraux,



3. LES MINÉRAUX ONT SÉLECTIONNÉ UN TYPE DE MOLÉCULES. La calcite a tendance à attirer les acides aminés gauches et droits sur des faces différentes des cristaux qu'elle forme. Un tel mécanisme de sélection pourrait expliquer pourquoi la vie n'utilise que les acides aminés gauches.