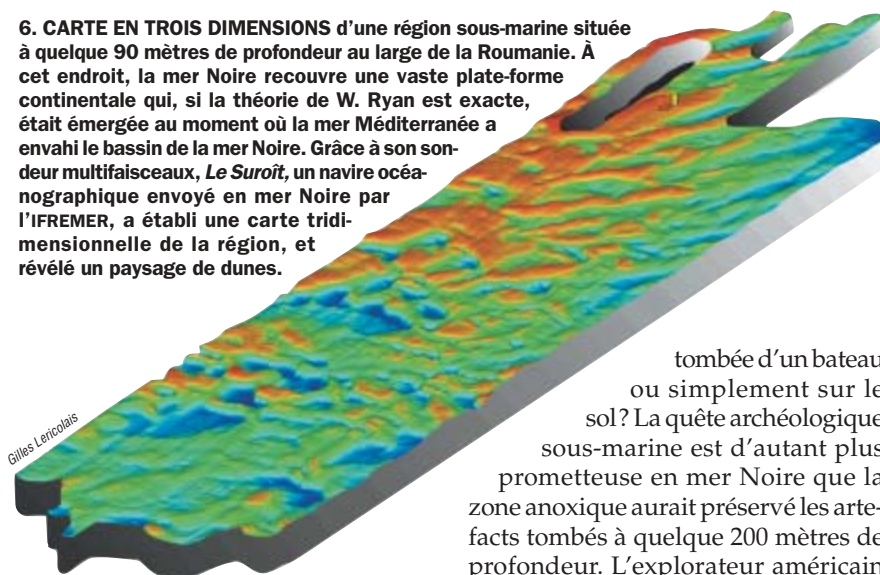


6. CARTE EN TROIS DIMENSIONS d'une région sous-marine située à quelque 90 mètres de profondeur au large de la Roumanie. À cet endroit, la mer Noire recouvre une vaste plate-forme continentale qui, si la théorie de W. Ryan est exacte, était émergée au moment où la mer Méditerranée a envahi le bassin de la mer Noire. Grâce à son sondeur multifaisceaux, *Le Suroît*, un navire océanographique envoyé en mer Noire par l'IFREMER, a établi une carte tridimensionnelle de la région, et révélé un paysage de dunes.



tombée d'un bateau ou simplement sur le sol? La quête archéologique sous-marine est d'autant plus prometteuse en mer Noire que la zone anoxique aurait préservé les artefacts tombés à quelque 200 mètres de profondeur. L'explorateur américain Robert Ballard s'est lancé dans cette quête. À l'aide d'une caméra-robot, il a notamment trouvé un navire romain dans un état exceptionnel de conservation, déposé par quelque 300 mètres de fond au large des côtes turques. La forme du fond juste après le détroit du Bosphore pourrait aussi livrer une preuve irréfutable de l'existence du Déluge. Si le Bosphore a brusquement laissé s'écouler un flot si puissant, alors les traces d'une intense érosion se trouvent à cet endroit. Une campagne d'étude du relief sous-marin devant le Bosphore devrait les révéler. Elle ne se fera qu'avec l'aval du gouvernement turc, car la forme du fond sous-marin à cet endroit est un secret militaire. Les sous-marinières russes, américains et turcs ont sûrement déjà mené une telle étude. Comment auraient-ils pu se faufiler dans leurs sous-marins à travers le Bosphore pendant toute la guerre froide s'ils n'avaient eu une connaissance précise du relief sous-marin? Ces précieuses données scientifiques risquent malheureusement de rester secrètes jusqu'au prochain Déluge.

sur la plate-forme continentale de Roumanie, d'Ukraine et de Bulgarie, car on devrait y trouver de nouvelles preuves de l'existence d'un ancien rivage submergé. Les recherches archéologiques ne sont pas non plus à négliger. Ainsi, les traces des populations qui vivaient à proximité de la mer Noire ont été trouvées en Bulgarie. Les archéologues bulgares et français ont notamment retrouvé sur le rivage bulgare les sépultures laissées par une civilisation avancée d'origine mystérieuse. Datées de quelque 6 500 ans, ces tombes témoignent d'un haut degré de maîtrise de la métallurgie. Cette civilisation qui semble venir de nulle part pourrait avoir laissé plus de traces sous les eaux de la mer Noire. Les archéologues de l'Académie des sciences bulgare ont retrouvé sous la mer, des traces de bois coupés et probablement de feu... En outre, il y a 30 ans, un géologue bulgare, Petko Dimitrov, a mis au jour par hasard une assiette néolithique enfouie dans des sédiments sous 100 mètres d'eau, au Nord-Ouest de la mer Noire. Est-elle

Gilles LERICOLAIS, géologue au Département des géosciences marines, à Brest.

William RYAN et Walter PITMAN, *Noah's Flood : The New Scientific Discoveries of the Event that Changed History*, Simon & Schuster, 1999.

Egon DEGENS et David ROSS, *Chronology of the Black Sea over the last 25 000 years*, in *Chem. Geol.*, vol. 10, pp. 1-16, 1972

W. RYAN et al., *An abrupt drowning of the Black Sea shelf*, *Marine Geology*, vol. 138, p. 119-126, 1997

Ali AKSU, Rick HISCOTT, et Durmaz YASAR, *Oscillating Quaternary water levels of the Marmara Sea and vigorous outflow into the Aegean Sea from the Marmara Sea Black Sea drainage corridor*, in *Marine Geology*, vol. 153, pp. 275-302, 1999.

D. ROSS, E. DEGENS et J. MACILVAINE, *Black Sea : recent sedimentary history*, in *Science*, vol. 170, pp. 163-165, 1970.

J. MILLIMAN, et K. EMERY, *Sea levels during the past 35 000 years*, in *Science*, vol. 162, pp. 1121-1123, 1968.

Les minéraux et la naissance de la vie

ROBERT HAZEN

Il y a quatre milliards d'années, la vie est née sur une Terre recouverte d'air, d'eau et de roches. Quel fut le rôle de chacun de ces éléments dans l'apparition des premières molécules biologiques ? La présence des minéraux aurait été déterminante.

La Terre s'est formée il y a 4,5 milliards d'années, mais la vie ne s'y est pas immédiatement développée. En l'absence d'atmosphère, elle était régulièrement stérilisée par de fréquentes collisions avec des astéroïdes. Près de 500 millions d'années s'écouleront encore avant que n'apparaisse, en l'espace de quelques centaines de millions d'années, une vie microscopique vite foisonnante. Nul ne sait précisément comment la vie est apparue, mais le premier organisme vivant est né des seules ressources disponibles sur la Terre primitive : l'air, l'eau et les roches.

Parmi ces trois éléments, l'air et l'eau ont longtemps été considérés comme les vedettes de l'apparition de la vie, les roches ne faisant office que de figurants ou de seconds rôles : cette distribution des rôles était une erreur. Un nombre important d'expériences récentes révèlent que les minéraux ont joué un rôle décisif dans les réactions chimiques élémentaires qui ont présidé à l'apparition de la vie.

Dans le scénario de l'apparition de la vie, le premier acte a sans doute été la formation de molécules à base de carbone capables de s'assembler. Les éléments constitutifs essentiels des organismes vivants (des sucres riches en énergie, des lipides qui sont les constituants des membranes et des acides aminés) contiennent parfois plus d'une douzaine d'atomes de carbone par molécule. Un grand nombre de ces molécules se lient à leur tour pour former des chaînes de polymères et divers

arrangements moléculaires. Or, les composés carbonés les plus abondants disponibles sur la planète primitive étaient des gaz à un seul atome de carbone par molécule, notamment du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone et du méthane. Or, l'assemblage de petites molécules en grandes structures moléculaires a sans doute été très difficile en raison de l'intense rayonnement ultraviolet solaire qui pénétrait dans l'atmosphère de la Terre primitive et rompait instantanément toute liaison moléculaire. Pour que les molécules s'assemblent, elles ont dû être protégées.

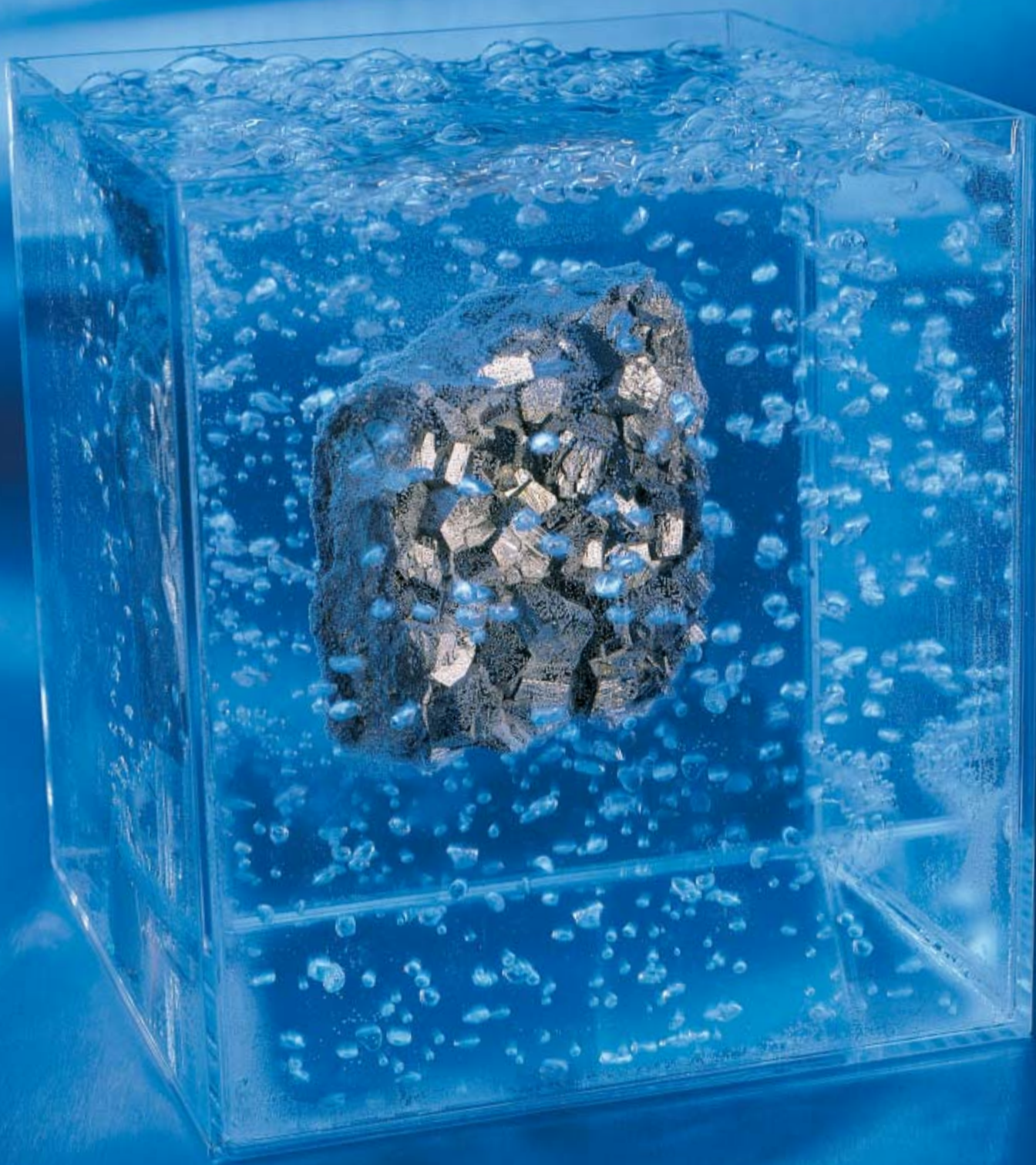
Aujourd'hui, on suppose que ce sont les minéraux qui ont fourni protection et assistance aux molécules carbonées. Les minéraux ont eu au moins cinq fonctions importantes. Ils ont procuré de minuscules havres où des molécules simples se sont accumulées ; ces compartiments ont servi de support pour que les molécules s'assemblent et croissent ; les surfaces cristallines de certains minéraux ont « sélectionné » des molécules qui allaient revêtir une importance biologique toute particulière ; les ions métalliques d'autres minéraux ont permis des réactions essentielles, notamment la transformation de molécules banales en entités capables d'autoréplication ; enfin, on a récemment découvert que les minéraux dissous ont sans doute été incorporés aux molécules biologiques. Ainsi, les minéraux n'auraient pas simplement été des figurants dans la naissance de la vie, mais des acteurs à part entière.

Les minéraux, havres protecteurs

La question de l'origine de la vie a donné lieu à de nombreux scénarios, certains accordant aux minéraux un rôle particulier. Toutefois, les preuves manquaient.

Puis, en 1953, Stanley Miller, à l'Université de Chicago, tenta de reproduire les conditions atmosphériques et océaniques de la Terre primitive dans une bouteille. Il enferma, dans une bouteille en partie remplie d'eau, du méthane, de l'ammoniac et d'autres gaz censés composer l'atmosphère primitive. Lorsqu'il soumit le gaz à des décharges électriques pour imiter la foudre d'une tempête préhistorique, l'eau claire devint rose, puis brune, à mesure qu'elle s'enrichissait d'acides aminés et de diverses molécules organiques. Grâce à cette méthode simple, mais élégante, Miller fit passer la recherche sur les origines de la vie du stade de la réflexion philosophique à celui de science expérimentale. Cette découverte fit sensation, et l'on se prit à penser que l'on verrait bientôt des insectes de synthèse sortir des tubes à essais. La communauté scientifique fut plus réservée, mais de nombreux chercheurs crurent que l'on savait désormais créer la vie en laboratoire.

Toutefois, l'enthousiasme retomba rapidement. Miller avait certes découvert un moyen de produire de nombreux éléments constitutifs du vivant à partir d'eau et des gaz existant sur la Terre primitive, mais il n'avait trouvé ni comment, ni où ces unités simples



s'étaient assemblées en structures moléculaires complexes comme les protéines ou l'ADN.

On imagina alors que les molécules organiques, celles qui contiennent du carbone, flottant dans l'eau de mer, se seraient échouées dans des étangs découverts à marée basse, situés le long de côtes ; elles se seraient peu à peu concentrées au fil des cycles successifs d'évaporation, comme une soupe qui s'épaissit dans une casserole qui reste longtemps sur le feu.

Pour tenter d'élucider ce mystère, on a récemment émis l'hypothèse que les ingrédients de la vie se seraient accumulés dans des réservoirs très petits, à l'intérieur de certaines roches qui, telle la pierre ponce volcanique, sont criblées de trous créés par les gaz qui se sont dilatés dans la roche en fusion. D'autres minéraux, tel le feldspath, contiennent des cavités microscopiques créées sous l'action des intempéries. Dans chaque minuscule cavité de chacune des roches de la Terre primitive une réaction particulière d'auto-organisation moléculaire aurait eu lieu. Au terme d'une multitude de telles réactions chimiques, les molécules de la vie seraient apparues, par hasard.

Jusqu'en 1977, on pensait que la vie s'était développée près de la surface de l'océan, produit des réactions chimiques

qui tiraient leur énergie du Soleil. C'est alors que l'on découvrit, dans l'océan profond divers écosystèmes luxuriants à proximité des cheminées volcaniques, qui se dressent sur le plancher océanique. La lumière ne parvient pas à ces profondeurs et pourtant la vie foisonne. L'énergie nécessaire aux organismes provient de la chaleur dégagée par les sources chaudes ; la source d'énergie n'est pas le Soleil, mais la chaleur interne de la Terre. Quelques biologistes se demandèrent alors si les réactions organiques à l'origine de la vie avaient pu se produire dans la chaleur intense et à la pression élevée des sources hydrothermales.

Miller et ses collègues refusèrent l'hypothèse de l'origine hydrothermale de la vie, car les acides aminés se décomposent quand ils sont chauffés. Puis germa l'idée que les minéraux avaient peut-être abrité les ingrédients de la vie, empêchant leur dégradation. Jay Brandes, à l'Institut des sciences marines à Port Aransas, au Texas, proposa alors que certains minéraux maintiennent l'intégrité des acides aminés. En 1998, nous avons fait ensemble une expérience qui montra qu'un acide aminé, la leucine, placé dans de l'eau sous pression à 200 °C, se dégrade en quelques minutes. Quand nous ajou-

tions au mélange du sulfure de fer, présent aux abords des sources hydrothermales, la leucine restait intacte pendant des jours, suffisamment longtemps pour avoir le temps de réagir avec d'autres molécules.

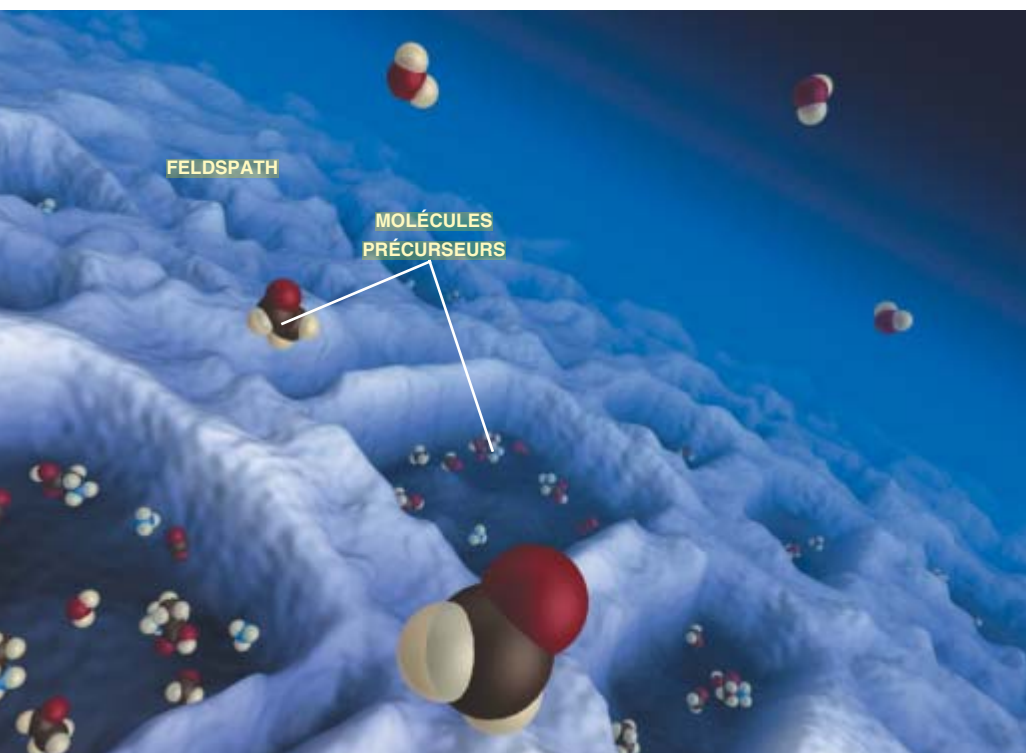
Même si les acides aminés étaient en sûreté en un lieu protégé, que ce soit une pièce d'eau, une petite cavité dans un minéral ou encore au cœur d'une source hydrothermale, quels sont les lieux clos où ils se sont concentrés et assemblés pour donner des molécules complexes ?

Les minéraux, supports de molécules

Que les matières premières de la vie se soient trouvées dans des étangs découverts à marée basse, dans des sources hydrothermales ou dans des cavités au sein de certains minéraux, elles étaient en suspension dans l'eau. Pour réagir les unes avec les autres, il leur fallait un support, sur lequel réagir.

On peut envisager que des molécules « errantes » se sont retrouvées à la surface calme d'un étang découvert à marée basse ou d'une « nappe de pétrole » primitive formée de composés piégés à la surface de l'eau, mais on s'interroge sur la façon dont elles se seraient assemblées. À cette époque, la foudre de violentes tempêtes et le rayonnement ultraviolet frappaient la jeune Terre, et détruisaient les liaisons chimiques de toute nouvelle molécule complexe.

L'idée selon laquelle les minéraux auraient eu un rôle de support des réactions chimiques a été émise il y a une cinquantaine d'années. On supposait alors que les argiles « attiraient » les molécules organiques. Les argiles sont lisses au toucher lorsqu'elles sont mouillées, car leurs atomes sont arrangés en couches régulières. Ces dernières portent souvent des charges électriques qui ont pu attirer les molécules organiques et les maintenir à la surface. Des expériences ont confirmé cette hypothèse. À la fin des années 1970, un groupe israélien a fait évaporer l'eau d'une solution aqueuse d'acides aminés dans un récipient contenant des argiles, et a constaté que les acides aminés se concentrent sur les surfaces argileuses, puis, qu'ils s'y assemblent en courtes chaînes qui ressemblent aux protéines. Les conditions de cette expérience ressemblent à celles qui ont pu régner dans une mare peu profonde



K. Eward, BioGrax

1. LES MINÉRAUX ONT SERVI D'ABRI aux premières molécules complexes. Des trous microscopiques sont présents sur les surfaces érodées du feldspath et de divers minéraux. Les précurseurs des molécules de la vie se sont accumulés dans ces minuscules cavités protectrices.