



Paul Mathis

BIOCÈNE

Comment le vivant
a coconstruit la Terre

Le Pommier

Biocène

Paul Mathis

Biocène

Comment le vivant
a coconstruit la Terre

Le Pommier

ISBN 978-2-7465-2351-7

Dépôt légal – 1^{re} édition : 2021, septembre

© Le Pommier / Humensis, 2021

170 *bis*, boulevard du Montparnasse, 75014 Paris

INTRODUCTION

Depuis quelques années, et encore plus depuis la pandémie de Covid-19, notre vocabulaire s'est enrichi d'un mot nouveau : « Anthropocène ». Les humains prennent en effet conscience que leurs activités ont un impact considérable sur la planète, et en particulier sur ses propriétés physiques, au point d'étayer la thèse selon laquelle nous serions entrés, depuis quelques centaines d'années au plus, dans une nouvelle ère géologique appelée « Anthropocène », du grec *anthropos*, « l'Homme », avec la terminaison *-cène* utilisée pour les autres subdivisions de l'ère quaternaire.

Cette thèse est intéressante et mérite une grande attention, tant les humains exercent en effet une forte influence sur la Terre. Paul J. Crutzen, l'inventeur du concept, a d'abord proposé que l'Anthropocène ait débuté en 1784, date de l'invention de la

machine à vapeur. Il s'intégrerait ainsi dans l'Holocène, qui a commencé il y a environ 12 000 ans, faisant suite au Pléistocène, qui a débuté il y a 2,6 Ma¹. Mais les scientifiques ne sont pas tous en accord sur cette date et certains proposent des dates soit plus récentes, soit plus anciennes. On pourrait ainsi le faire débiter il y a 10 000 ans, au moment de la révolution néolithique*² qui a vu les premiers développements de l'agriculture. En réalité, cette controverse qui agite les géologues a peu d'importance pour le sujet que j'aborde ici.

Le plus important à mes yeux est que l'espèce à laquelle nous appartenons, *Homo sapiens*, n'est qu'une espèce parmi des millions d'autres espèces vivantes. C'est celle à laquelle nous appartenons, et c'est donc celle qui nous intéresse le plus, très légitimement. Mais dans le cadre de l'évolution*, *Homo sapiens* n'est qu'une espèce. Or, quel est l'impact des êtres vivants, de tous les êtres vivants (et pas seulement des humains), sur les propriétés physiques de la planète ? N'installons pas de suspense inutile : cet impact est énorme, bien supérieur à celui des humains. Et puisqu'on parle d'Anthropocène, ne pourrait-on pas parler également de

1. « Ma » pour « million d'années », « Ga » pour « milliard d'années ».

2. Les mots dont la première occurrence est suivie d'un astérisque sont définis dans le glossaire, p. 195.

« Biocène » – de *bios*, la « vie » –, une notion qui intégrerait l'Anthropocène ? La Terre étant âgée de 4,6 Ga¹ et le vivant étant apparu il y a environ 4 Ga, le Biocène couvrirait donc presque toute l'histoire de la Terre !

Pour bien comprendre ces questions, il est utile de retracer toute cette histoire, même à grands traits. À titre d'exemple, chacun sait que l'atmosphère* terrestre est surmontée, dans la stratosphère*, par la fameuse « couche d'ozone* » qui empêche une partie du rayonnement solaire, les ultraviolets* (UV) dits « de type C », d'atteindre le niveau du sol et d'être un danger pour tous les organismes* vivants en endommageant leur ADN. Quand les premiers êtres vivants sont apparus, il n'y avait pas d'ozone, ni dans l'atmosphère ni dans la stratosphère. Pourquoi ? Car ce gaz se forme par l'action des UV solaires sur l'oxygène. Or, l'oxygène était totalement absent de l'atmosphère : il ne pouvait donc pas y avoir de formation d'ozone. C'est seulement bien plus tard que de l'oxygène a été émis par des bactéries*, les cyanobactéries* ; il s'est progressivement, mais lentement, accumulé dans l'atmosphère, et ce n'est qu'il y a environ 2 Ga que la quantité d'oxygène a été suffisante pour que puisse se former une couche d'ozone

1. Voir note 1, p. 8.

stratosphérique. À l'époque, les cyanobactéries étaient déjà le fruit de plus de 1 Ga d'évolution, partant des premiers organismes vivants, qui nous sont encore inconnus. On a ici, avec la couche d'ozone, l'exemple d'une modification physique du globe, résultant de l'action d'organismes vivants, et qui a aujourd'hui un impact décisif sur la vie des humains, comme on le verra plus loin.

Depuis sa formation, il y a 4,6 Ga, la Terre a subi bien des métamorphoses. La vie est seulement apparue environ 600 Ma plus tard, d'abord bien discrètement, puis sa multiplication a entraîné de nombreuses transformations dans les propriétés physiques de la planète, associées pour une bonne part à l'apparition de l'oxygène atmosphérique : formation des minerais de fer, formation des roches calcaires, formation de la couche d'ozone stratosphérique, formation des réserves de charbon, de pétrole et de gaz, etc.

Après 4 Ga d'évolution conjointe de la planète et du monde vivant, les humains sont arrivés, et bientôt ce sera l'Anthropocène, une nouvelle ère où ils seront les moteurs essentiels d'une évolution de la planète, à un rythme accéléré, à leurs risques et périls.

La Terre à ses débuts

La planète Terre est âgée d'environ 4,6 Ga et ses propriétés (température, gaz de l'atmosphère, nature des roches, etc.) ont varié énormément depuis cette époque. La vie est apparue il y a environ 4 Ga. Où et comment ? On l'ignore. L'histoire de la Terre est loin d'avoir été un long fleuve tranquille. Sa première partie, la « première ère géologique », est appelée l'Hadéen, par référence à l'Hadès, l'enfer des Grecs anciens, car elle était caractérisée par des températures extrêmement élevées. À l'exception de petits zircons, un minéral très résistant constitué de silicates* de zirconium, il ne subsiste aucune trace matérielle de cette période, pas de roche ni de fossiles. Presque tout ce qu'on peut dire sur les débuts de l'histoire de la Terre est de l'ordre de l'hypothèse, les astrophysiciens s'appuyant sur les propriétés observées

actuellement dans d'autres étoiles et leurs planètes. Ils prennent aussi en compte la composition chimique des chondrites*, des météorites qui datent de la formation du système solaire. Elles sont parfois très grosses, mais la plupart pèsent environ 1 kilogramme, et elles sont constituées en majorité de silicates et de métaux. Il y a des chondrites actuelles, que l'on appelle des météorites, mais aussi beaucoup de chondrites fossiles qui datent de 4 Ga et plus. Les incertitudes restent nombreuses, mais faisons confiance aux paléogéochimistes* et prenons leurs hypothèses pour la réalité.

Il y a 4,6 Ga, fraîchement formée à partir du Soleil, lui-même dans sa prime jeunesse, moins chaud et moins lumineux qu'aujourd'hui, la Terre est constituée d'un agglomérat de chondrites (météorites) de nature très variée – on parle alors d'« accréation ». Elle contient donc de très nombreuses sortes d'atomes, et en particulier du fer, du silicium, du calcium, etc. Son atmosphère est d'abord constituée d'hydrogène et d'hélium, mais ces gaz sont évacués, balayés vers l'espace par le vent solaire avant que la Terre n'en soit protégée par son propre champ magnétique. Quand on chauffe des chondrites provenant du Soleil, on obtient plusieurs gaz, essentiellement de l'eau, du dioxyde de carbone (CO₂) et de l'azote. Cela

explique la composition de base de l'atmosphère terrestre au cours de l'Hadéen. Avec de la vapeur d'eau et du CO_2 , sous une forte pression, cette atmosphère engendre un très fort effet de serre. De ce fait, et tenant compte de l'apport d'énergie dû à l'impact de grosses météorites, la température s'élève à plusieurs milliers de degrés au niveau du sol. Une bonne partie du fer, alors sous forme liquide, migre rapidement vers le centre du globe dont il va constituer le noyau central, associé à un peu de nickel. Migrent aussi vers le centre de la Terre des éléments comme l'uranium, le thorium et le potassium qui comportent une forte proportion d'atomes radioactifs dont la désintégration dégage une énorme quantité de chaleur. C'est grâce à cette désintégration, qui se poursuit encore aujourd'hui, que l'on peut avoir recours à la géothermie, c'est-à-dire utiliser de la chaleur provenant des profondeurs de la Terre. Une partie plus externe du globe terrestre, le manteau, est constituée surtout de silicates, plus légers que les métaux du noyau. Plus externe encore, la croûte terrestre s'est formée vers -4,4 Ga. Elle contient les atomes qui se révéleront essentiels pour le fonctionnement des organismes vivants (carbone, azote, oxygène, phosphore, métaux, etc.) et est le siège d'un volcanisme actif qui envoie dans l'atmosphère de l'eau et du CO_2 , associés à une faible quantité d'azote. En revanche,

dans ces rejets, nulle trace de O_2 (dioxygène, qu'on appellera par la suite oxygène). Les roches silicatées du manteau* terrestre seront ensuite altérées par l'eau, avec formation d'hydrogène, conduisant à un dégagement de méthane* et d'ammoniac qui partiront dans l'atmosphère, où ils seront rejoints par les gaz provenant des émissions volcaniques.

Jusqu'à la fin de l'Hadéen, il y a 4,03 Ga, soit 500 Ma, beaucoup de choses devaient se passer pour que la Terre accueille la vie, mais il fallait surtout que la température descende en dessous de $100\text{ }^\circ\text{C}$, température d'ébullition de l'eau. À partir de $-4,3\text{ Ga}$, la fréquence des impacts de chondrites diminue progressivement. Comme ces impacts apportaient beaucoup de chaleur, la température du manteau terrestre et de l'atmosphère s'abaisse. La température terrestre a alors été déterminée par le rayonnement solaire, environ 30 % plus faible qu'actuellement (la température du soleil s'élève lentement, et son rayonnement augmente de 7 % par Ga) et par l'ampleur de l'effet de serre. L'atmosphère terrestre était composée surtout d'azote (de l'ordre de la teneur actuelle), de CO_2 et de méthane (chacun mille fois plus qu'aujourd'hui) et de vapeur d'eau. Ces gaz engendraient un effet de serre qui compensait la faiblesse de l'émission solaire. Par réaction avec les silicates de la croûte terrestre, le CO_2 atmosphérique a été pompé pour

former du carbonate* de calcium qui a précipité. Cela a fait baisser la concentration de CO_2 dans l'atmosphère, l'effet de serre a diminué et la température de la surface terrestre s'est abaissée. Il est supposé qu'à la fin de l'Hadéen la température était inférieure à $100\text{ }^\circ\text{C}$ à la surface de la Terre, peut-être jusqu'à 20 ° tout à la fin de l'Hadéen. La vapeur d'eau s'est alors condensée pour former les océans. À la fin de l'Hadéen, la Terre comportait des continents et des océans, et son atmosphère, riche en azote, en CO_2 et en méthane, était toujours totalement dépourvue d'oxygène. Elle contenait sans doute des traces de molécules azotées, ammoniac, cyanamide et monoxyde d'azote.

Comment est apparu le vivant

Qu'est-ce que le vivant ?

C'est dans ces conditions que la vie est apparue. Où, quand, comment ? Nous ne pouvons faire que des hypothèses. Quand il est question de vivant, nous pensons spontanément aux animaux supérieurs et aux plantes, mais la notion renvoie à bien davantage. Avant de préciser comment la vie est apparue, il est nécessaire de savoir comment définir le vivant. On peut par exemple reprendre les mots de Stephen Mojzsis, un paléogéologue de l'université du Colorado, qui tente d'expliquer ce qu'est la vie pour un géochimiste :

En y réfléchissant, il y a une sorte de poésie subtile impliquée dans sa définition scien-

tifique. La vie peut être décrite comme un système chimique encapsulé et capable d'autoreproduction, qui est l'objet d'une évolution darwinienne. Ces organismes évoluent par sélection naturelle en réponse à des changements de leur environnement. Ce processus a toujours été en œuvre depuis que la vie a commencé, à partir de molécules organiques simples, dans l'eau, il y a plus de 4 Ga. [...] La vie est un système d'une complexité fantastique dont l'émergence reste le plus grand mystère de la science¹.

Précisons quelques-uns des termes de cette définition – qui me semble tout à fait appropriée. Par « système chimique encapsulé », Stephen Mojzsis évoque un ensemble de molécules rassemblées à l'intérieur d'une barrière qui délimite l'organisme et le sépare du milieu extérieur. « Capable d'autoreproduction » : un système vivant doit être capable de se reproduire par lui-même – ce critère pose un problème pour classer les virus au sein du monde vivant, car ils ne peuvent se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule hôte. Enfin, tout système vivant évolue en permanence, ce qui le met en mesure de répondre à la loi du plus apte à se multiplier dans son milieu de vie, lui-même susceptible de

1. S. J. MOJZSIS *et alii*, « Evidence for life on earth before 3,800 million years ago », *Nature*, vol. 384, 1996, p. 55-59.