



**HAL**  
open science

## La vie sur Terre

Jean-Pierre Feral

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Feral. La vie sur Terre. C. Jeandel & R. Mosseri. Le climat à découvert, Outils et méthodes en recherche climatique, CNRS Editions, pp.37-39, 2011, 978-2-271-07198-9. hal-01790646

**HAL Id: hal-01790646**

**<https://hal.science/hal-01790646>**

Submitted on 13 May 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 9. La vie sur Terre

Jean-Pierre Féral

## Qu'est-ce que la vie ?

La vie est la condition qui distingue les organismes actifs de la matière minérale. Ces organismes transforment des éléments chimiques et de l'énergie en constituants cellulaires et décomposent la matière organique. Ils se maintiennent en résistant aux variations et aux agressions de l'environnement (homéostasie), grandissent, répondent aux stimuli, se reproduisent et, par la sélection naturelle, s'adaptent à leur environnement au cours de générations successives (évolution). Les organismes de la biosphère\* terrestre (animaux, plantes, champignons, protistes, archéobactéries et eubactéries) partagent des propriétés communes : une forme cellulaire à base de carbone et d'eau ayant une organisation complexe et une information génétique héritable.

Certains éléments de cette définition du vivant ne sont cependant pas toujours satisfaits. Ainsi, un cristal en phase de croissance peut paraître vivant car il grandit et est capable de choisir des éléments de sa nature afin de ne pas créer d'impureté. Pourtant, il n'est pas vivant. Un hybride stérile est vivant mais ne se reproduit pas. Les virus et les prions qui n'ont pas de métabolisme et ne grandissent pas ne sont pas considérés comme vivants, bien qu'ils partagent la capacité d'autoréplication. Enfin, la découverte en 2003 des virus géants, mimivirus, qui peuvent eux-mêmes être infectés par des virophages\*, a ouvert un débat

quant au classement ou non des virus dans les organismes vivants (figure 1).

En se basant sur les propriétés physico-chimiques, on peut également définir un organisme vivant comme un système thermodynamique ouvert en équilibre instable dont le maintien nécessite un apport d'énergie et entraîne une décroissance de l'entropie du système liée à la synthèse de matière vivante à partir des produits de dégradation des aliments. Par ailleurs, la complexité est une autre caractéristique des systèmes vivants. En effet, les ingrédients essentiels du système de réplication sont des molécules porteuses d'information (enzymes et acides nucléiques). Les cristaux sont très ordonnés spatialement, mais ils ne portent que très peu d'information. Contrairement au nylon, qui ne supporte pas d'information, les protéines et les acides nucléiques sont des polymères apériodiques. Cette absence de périodicité leur permet justement d'être le support d'une importante quantité d'information.

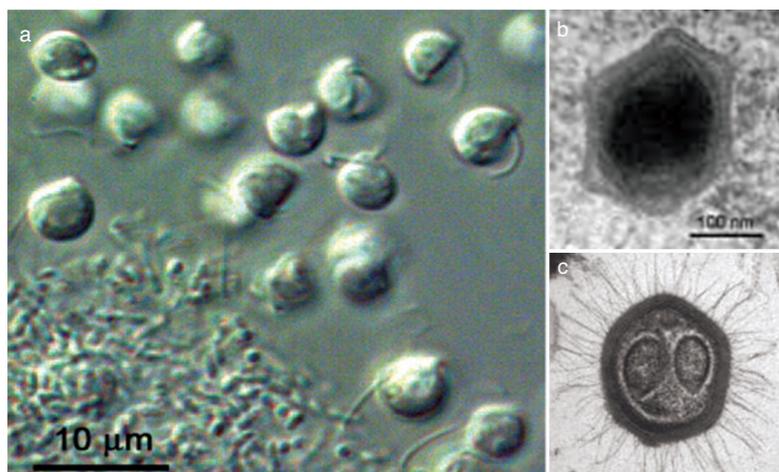
Même si la vie est potentiellement présente ailleurs dans l'Univers, elle n'est connue de l'Homme que dans la biosphère terrestre. Elle est principalement concentrée dans la partie superficielle des sols, et surtout au-dessus de la surface terrestre. On la trouve également jusqu'à environ 10 km d'altitude dans l'air, ainsi que dans les eaux douces et marines, y compris dans les plus grands fonds. Des formes de vies endolithiques\*,

dans la roche ou dans le pétrole, sont également connues ainsi que d'autres, extrémophiles, qui sont capables de résister à un vide poussé ou à des pressions énormes, à la radioactivité, à des pH ou à des températures extrêmes, chaudes (sources hydrothermales profondes) ou froides (Antarctique).

## Origine de la vie

L'évolution darwinienne est aujourd'hui la pierre angulaire de la biologie. Accepter cette évolution nécessite de postuler une évolution chimique antérieure. La survenue de la vie sur Terre apparaît comme le résultat d'une chimie très particulière qui s'est développée dans l'eau liquide aboutissant à des molécules prébiotiques, les conditions physiques favorisant les interactions de composés carbonés et azotés.

Une molécule prébiotiques était un système chimique capable de reproduire l'information moléculaire qu'il portait et que quelques erreurs de copie ont fait évoluer. La chimie actuelle ne pourra jamais reproduire strictement à l'identique les conditions de la chimie prébiotiques. L'érosion par l'eau et la vie elle-même (production d'O<sub>2</sub>) ont effacé les traces des premiers systèmes. Il faut imaginer la nature des molécules impliquées et les mécanismes de transmission de l'information moléculaire pour ensuite essayer de reproduire ces phénomènes en laboratoire.



**L'arbre de vie à nouveau en question ?** *Cafeteria roenbergensis virus* (CroV), parasite de *Cafeteria roenbergensis*, est le plus grand virus marin jamais observé. La taille de son génome est plus grande que celui de certaines bactéries. Il possède des gènes qui ne sont pas ou peu rencontrés chez les virus. CroV est proche des mimivirus (1/3 de gènes homologues). a : © PNAS ; b : © MG Fisher ; c : © D. Raoult et N. Aldrovandi, CNRS photothèque ■

L'assemblage de petites molécules (acides aminés = AA) en macromolécules (protéines) nécessite l'élimination de molécules d'eau. Or, d'après les lois de la thermodynamique, réaliser une telle condensation dans l'eau est défavorable. En revanche, l'adsorption de petites molécules sur des surfaces minérales constituées d'un empilement de couches fines (micas, argiles) les concentre et les modifie chimiquement, ce qui peut favoriser la formation de macromolécules. L'argile est aussi un catalyseur efficace de réactions organiques et aurait donc pu permettre la polymérisation des AA et/ou des acides nucléiques.

En 1923, Alexandre Oparin émet l'hypothèse que l'atmosphère terrestre primitive a pu constituer ce réacteur chimique propice à la synthèse des molécules organiques nécessaires à l'émergence de la vie. En 1953, Stanley Miller apporte un début de réponse. Il remplit un ballon d'un mélange réducteur de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , qu'il soumet à l'action d'un arc électrique censé reproduire l'atmosphère terrestre primitive.  $\text{CH}_2\text{O}$ , HCN, de la glycine

et trois autres AA entrant dans la composition des protéines sont formés lors de la réaction. Depuis, 17 des 20 AA constituant les protéines ont été isolés ainsi que certains éléments constitutifs des acides nucléiques. Cependant, l'atmosphère terrestre primitive semble avoir été majoritairement constituée de  $\text{CO}_2$  qui, mélangé à  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , puis soumis à un arc électrique, ne produit que très peu d'AA. D'où la recherche d'autres milieux réactionnels, riches en  $\text{CH}_4$  ou en  $\text{H}_2$ , susceptibles de produire les AA en grand nombre. En 2009, John Sutherland et son équipe sont parvenus à synthétiser des nucléotides à base pyrimidique, les acides uridylique et cytidylique.

Les sources sous-marines hydrothermales profondes riches en  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$  et  $\text{H}_2\text{S}$ , alimentées en énergie thermique par le magma terrestre, pourraient avoir constitué un milieu favorable à la synthèse des molécules prébiotiques et à l'émergence des toutes premières formes de vie. Des traces d'AA ont effectivement été obtenues en laboratoire en soumettant un mélange de

$\text{CH}_4$  et  $\text{N}_2$  aux conditions physico-chimiques régnant dans les cheminées hydrothermales situées à proximité des dorsales océaniques\*. Les organismes actuels tirent l'énergie de l'oxydation de  $\text{H}_2\text{S}$  pour transformer le carbone minéral en matière organique.

Enfin, les observations effectuées depuis la Terre et grâce à des sondes spatiales ont montré que les comètes étaient également riches en molécules d'intérêt prébiotiques comme HCN,  $\text{CH}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ,  $\text{C}_3\text{HN}$ , HNC et HNCO. Elles auraient aussi pu fournir une grande fraction de l'eau terrestre. Les futures missions spatiales pourraient permettre de confirmer ce résultat.

Bien que l'on trouve des traces d'AA dextrogyres sous forme libre, dans des peptides ou même des protéines, on sait notamment grâce aux travaux de Pasteur (1847) que les AA naturels n'existent pratiquement que sous une de leurs deux formes énantiomères (homochiralité), la forme lévogyre. Les molécules obtenues dans l'expérience de Miller sont un mélange racémique. Les théories biotiques postulent que la vie serait apparue à partir d'un mélange d'énantiomères, et que l'homochiralité ne serait apparue que progressivement au cours de l'évolution. Cependant, on a découvert que les protéines ne peuvent se replier correctement si les AA qui les composent ne sont pas chiraux. On estimerait donc que l'homochiralité serait antérieure à l'apparition de la vie.

## Quand la vie est-elle apparue sur Terre ?

L'univers s'est formé il y a environ 15 milliards d'années (Ga) avec le Big Bang. La matière est ensuite apparue, édifiant étoiles, galaxies et planètes.

Puis, il y a 4,6 Ga, se sont constitués le Soleil et les planètes. La plus ancienne trace de vie sur Terre date de 3,8 Ga (cellules d'organismes procaryotes). Il y a 3,5 Ga, les cyanobactéries\* apparaissent et constituent les stromatolithes. Ces procaryotes immobiles sont les premiers organismes à pratiquer la photosynthèse et à participer à la réduction de la concentration en  $\text{CO}_2$  atmosphérique et à l'augmentation de la proportion en  $\text{O}_2$ . On a découvert en 2010 que des formes de vie multicellulaires se seraient développées, il y a 2,1 Ga, dans des argiles du Gabon.

Des conditions prébiotiques plausibles ont donc favorisé la création de molécules organiques simples, briques de base du vivant. Puis sont apparues des molécules répliquantes : acides ribonucléiques (ARN) auto-catalytiques en mesure d'agir comme des ARN-enzymes capables, dans certaines conditions très particulières, de se dupliquer. C'est une première forme de génome, et nous sommes en présence de proto-cellules. Des phospholipides ont spontanément formé des doubles couches, structure de base des membranes cellulaires. Elles ont permis et provoqué le confinement de ces ARN dans un compartiment (argile, puis membrane) de la cellule. Les ARN-enzymes ont été ensuite progressivement remplacées par des protéines-enzymes, grâce à l'apparition des ribozymes, capables de réaliser la synthèse des protéines. Ces réplicateurs indépendants se sont regroupés en chromosomes. L'ADN (acide désoxyribonucléique) est apparu et a remplacé l'ARN. Dans le rôle de support du génome. Dans le même temps les ribozymes associés à des protéines ont formé les ribosomes. Les organismes vivants ont donc acquis leur organisation actuelle grâce au passage de l'ARN comme enzyme et gène (LUCA, Last Uni-

versal Common Ancestor) à l'ADN (code génétique) et aux protéines (enzymes). Le passage des procaryotes (bactéries) aux eucaryotes (cellules à noyau), aurait eu lieu il y a 2,7 Ga, et l'apparition de la reproduction sexuée, il y a 900 Ma. Les organismes pluricellulaires (plantes, animaux, champignons) seraient apparus vers -800 Ma, avec les premiers bilatériens vers -600 Ma.

## Le climat et la vie

Les changements climatiques, à toutes les échelles de temps, ont des conséquences profondes sur le vivant et sur les écosystèmes. La plupart des extinctions de masse ont été, en partie au moins, attribuées à des changements climatiques ou géologiques majeurs (impact de météorites, volcanisme basaltique massif, formation de la Pangée\*, anoxie des océans, dégagement de méthane dans l'atmosphère à partir des plateaux continentaux). Au-delà de ces extinctions, il semble que la diversité spécifique, les taux d'extinction et d'apparition des espèces soient reliés à la température moyenne régnant sur Terre depuis 520 Ma, même si les mécanismes sous-jacents à ces relations restent très mal connus. Il y a 11 500 ans, à la sortie du Pléistocène, l'extinction d'une grande partie

de la mégafaune est probablement due aussi à l'expansion des populations humaines. Au cours du dernier millénaire, le climat planétaire a été marqué par l'optimum climatique médiéval (XI<sup>e</sup> et XII<sup>e</sup> siècles) et par le petit âge glaciaire (du XIV<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècles). Ce réchauffement et ce refroidissement moyens des températures, de l'ordre de quelques dixièmes de degrés seulement ont suffi pour avoir des conséquences sociales, économiques et politiques.

Les espèces et les écosystèmes ont évolué dans un système climatique\* changeant à longue échelle temporelle. Il en a résulté des extinctions massives comme celle du Permian-Triassic\*, due à l'aridité et la sécheresse ou celle du Paléocène\*, chaud et humide, qui a vu l'hécatombe des grands reptiles et des ammonites, mais qui a été dominé par les forêts tropicales, y compris aux pôles, et a vu les mammifères se diversifier et se multiplier. Face à ces changements certains organismes ont été capables de développer des stratégies adaptatives, d'autres ont disparu. La question se pose, étant donné le caractère nouveau de la crise écologique actuelle (cf. III-9), (i) du niveau de risque que représentent les changements extrêmement rapides du climat et (ii) de ce que la société est prête à investir pour en pallier les effets.

## Références bibliographiques

- R. BARBAULT, A. FOUCAULT - *Changement climatique et biodiversité*, Vuibert, 2010.
- E. Bard - *Evolution du climat et de l'océan*, Fayard, 2003.
- A. BRACK - *Et la matière devint vivante*, Le Collège de la Cité, Le Pommier, 2004.
- M. GARGAUD, D. DESPOIS et J.-P. PARISOT - *L'environnement de la vie primitive*, Presse Universitaire de Bordeaux, 2005.
- M.-C. MAUREL - *La naissance de la vie*, Dunod, 2003.
- C. MALATERRE - *Expliquer les origines de la vie: structures et schèmes explicatifs*, Noesis, n° 14, 2009.