

- **Les débuts**

Quelques pages tout d'abord destinées à nous installer dans un contexte global. Je parlerai plus loin de fouilles paléontologiques et de dinosaures, dans des roches datant de 100 ou 150 millions d'années, ce qui peut paraître très loin de nous. En fait, c'était hier au regard de la grande ancienneté de notre petite planète.

D'où vient la Vie ? Question fondamentale aux multiples réponses.

Toute histoire a un début et une fin, et l'histoire de la vie n'échappe pas à la règle. Débarrassons-nous tout de suite du problème de la fin, puisque l'astrophysique nous apprend que notre planète et la vie qu'elle abrite suivront le destin du Soleil, voué à s'éteindre dans près de 5 milliards d'années. Nous avons donc le temps de voir venir les choses. Toutefois, le début de l'histoire est plus complexe. La planète Terre s'est formée voici 4 566 000 000 années, soit 4,57 milliards d'années (giga années, ou Ga). Petite planète en fusion, formée par accréation de matière, bombardée d'astéroïdes, sa surface refroidit assez rapidement, donnant naissance à des terres émergées continentales vers -3,8 Ga.

La vie serait apparue sur Terre voici 3,5 à 3,8 milliards d'années. C'est du moins ce que nous disent les rarissimes indices d'origine biologique trouvés dans de très vieilles roches en Australie, Afrique australe, Canada ou au Groenland. Sphérules microscopiques, filaments, bâtonnets, tubules aux contenus chimiques compatibles avec la vie, résultant par exemple de l'activité biologique de communautés bactériennes. Au-delà de 3,8 milliards d'années, les roches

paraissent désespérément silencieuses et ne nous en disent pas plus pour l'instant. Mais, comme l'a démontré Louis Pasteur en 1865, la génération spontanée n'existe pas et ces bactéries ne sont pas apparues spontanément. Une histoire les précède, sorte de jeu de construction chimique fait d'associations d'éléments organiques plus simples.

### *La soupe primordiale*

L'histoire des sciences retient qu'en 1953 le biochimiste américain Stanley Miller était doctorant à l'université de Chicago quand il imagina une expérience inédite destinée à tester l'hypothèse du biochimiste russe Alexandre Oparine et du généticien anglais John B. S. Haldane, qui postulaient que toutes les molécules simples étaient présentes sur la Terre primitive et que les conditions de pression et de température étaient réunies pour favoriser de multiples réactions chimiques aboutissant à des composés plus complexes, bases de la vie. Dans un ballon, il réunit de l'ammoniac, de l'hydrogène, du méthane et de l'eau, gaz supposés présents dans l'atmosphère primitive, qu'il soumit à des décharges électriques pendant une semaine. L'analyse du bouillon résultant mit en évidence des molécules organiques déjà complexes comme du formaldéhyde, de l'acide cyanhydrique, de l'urée et surtout des acides aminés, briques de construction des protéines, ainsi que des sucres et des lipides<sup>2</sup>. L'expérience fut bien évidemment reproduite par la suite, par plusieurs équipes dans le monde, avec les mêmes résultats. La théorie de la « soupe primordiale » prenait donc du sens, la vie pouvant être une production purement terrestre, voici près de 4 milliards d'années, fruit d'une longue évolution chimique.

2 Stanley L. Miller, 1953. *À production of amino acids under possible primitive Earth conditions*. Science, 117, 3046, p. 528-529.

Mais la vie est notamment caractérisée par sa capacité d'autoréplication, de conservation et de transmission de l'information. Le passage des molécules primordiales de Miller et autres expérimentateurs à des molécules plus complexes occupe l'esprit des chercheurs d'aujourd'hui. D'expériences en expériences, on sait maintenant « fabriquer » des polypeptides, courtes chaînes protéiques ; des chaînes de nucléotides évoquant l'ARN ; du glycérol, précurseur des lipides, constituants nécessaires aux membranes cellulaires ; des glucides, stockant et libérant l'énergie. Et cette chimie prébiotique est basée sur le très polyvalent atome de carbone. Tous les éléments de base sont là. Un jour on saura tout reconstruire.

Cependant, comment passer de ces molécules à des êtres vivants organisés et complexes ? Il a fallu de l'eau liquide, solvant universel, et de l'énergie. Des flaques d'eau, des lacs, la mer, voire des sources hydrothermales hostiles. Dans cette eau, ces premières molécules ont pu se rencontrer, interagir, s'associer. Donner naissance à des molécules encore plus complexes. Certaines, de type ARN acquièrent la capacité de se répliquer à l'identique.

Une étape importante et nécessaire fut l'apparition de la membrane cellulaire, association organisée de phospholipides entourant, enfermant, emprisonnant, encapsulant d'autres molécules complexes. C'est ainsi que sont apparues des vésicules, premières protocellules, à l'intérieur desquelles nombre de molécules captives interagissaient. Parmi celles-ci, l'architecture des molécules de type ARN, tel un code-barres, orientait la fabrication de protéines, contrôlant ainsi l'activité chimique dans ce petit milieu clos. Son métabolisme basal en quelque sorte. Combien de milliards de ces petites protocellules ont dû se détruire faute d'une composition chimique cohérente et d'un métabolisme stabilisé, mais combien d'autres ont pu persister, dupliquer leurs molécules

codantes et finir par se scinder en deux protocellules filles identiques. Puis quatre, puis huit...

La vie était née, les possibilités de complexification et de sophistication des cellules vivantes étaient infinies, la compétition démarrait. La petite planète Terre n'était alors âgée que de 600 à 800 millions d'années.

### *LUCA*

La vie est donc apparue sur notre planète voici 3,5 à 3,8 milliards d'années, peut-être plus. Avec elle, la compétition, la survie, l'évolution. Au temps des premières cellules, la disparité a nécessairement été très élevée, en d'autres termes de très nombreux modèles de fonctionnement différents devaient cohabiter. Une sélection a conservé l'un de ces modèles qui fonctionnaient, une cellule parmi les autres, qui s'est retrouvée à l'origine de toute la diversité du vivant qui suivra. Il est toutefois impossible de reconstruire un arbre de la vie depuis ces temps lointains, car on ne connaît pas ces « cellules ancestrales » à l'état fossile. On ne peut donc ni les observer, ni les étudier, ni établir les liens de parenté qui les unissent. On ne connaîtra donc jamais notre ancêtre d'il y a 3,5 milliards d'années. Sauf si l'on prend le problème par l'autre bout, si l'on reconstruit cet ancêtre universel au laboratoire, à partir des êtres vivants actuels. Cet ancêtre s'appelle LUCA, pour *Last Universal Common Ancestor* et est l'objet de toutes les attentions des scientifiques du monde entier. Une partie du génome de LUCA a été léguée à ses descendants, caractères partagés par tous les êtres vivants actuels. Par exemple, certaines molécules d'ARN et certaines protéines sont communes à tous les êtres vivants, de LUCA aux bactéries, animaux et plantes actuels. Cette cellule ancestrale aurait existé vers 3,5 à 3,8 milliards d'années et serait

à l'origine des trois grands domaines du vivant actuellement identifiés, trois grands plans de fonctionnement et d'organisation des êtres vivants : les Bactéries, les Archées et les Eucaryotes. Car notre vision du vivant a bien changé ces dernières décennies. Plus de règne animal simplement opposé au règne végétal, ne tenant que peu compte de la diversité des micro-organismes, mais trois grands types d'organisation du vivant appelés domaines, beaucoup plus représentatifs de l'extraordinaire biodiversité terrestre, dont la plus grande partie reste invisible à nos yeux.

Les Bactéries sont des organismes unicellulaires simples, microscopiques, procaryotes, c'est-à-dire sans noyau ni organites. De taille micrométrique ou moins, elles peuvent être sphériques ou en bâtonnets et sont présentes dans tous les milieux, souvent en communautés. Elles ne possèdent qu'un chromosome, la plupart du temps circulaire. Leur diversité est telle qu'on évalue à plus de 10 millions le nombre d'espèces de bactéries et leur biomasse est sans doute l'une des plus importantes du vivant avec environ  $5 \cdot 10^{30}$  individus sur la planète. Nous hébergeons des milliards de bactéries dans notre corps et on a l'habitude de dire qu'il y a beaucoup plus de bactéries dans le corps humain que de cellules humaines. La machine biochimique terrestre tourne grâce aux bactéries, d'une diversité encore insoupçonnée voici quelques décennies.

Les Archées, ou Archaea (qui signifie « primitif, originel »), mis en évidence dans les années 1970, sont elles aussi des microorganismes unicellulaires procaryotes, c'est-à-dire que, comme les bactéries, elles ne contiennent ni noyau ni organites. Elles ne possèdent qu'un chromosome circulaire et ont une reproduction asexuée, par scissiparité. La plupart d'entre nous n'en ont jamais vu, bien que nous soyons en contact permanent avec elles. Mystères des mondes invi-

sibles ! Pourtant, elles sont partout, dans la mer, dans le sol, les marécages et jusque dans nos flores intestinales. Elles participent aux cycles du carbone et de l'azote et sont capables d'utiliser plusieurs sources d'énergie comme les sucres, l'ammoniac ou l'hydrogène. On les retrouve même en milieux hostiles comme les sources hydrothermales océaniques et les lacs salés. Anciennement appelées Archéobactéries, elles ressemblent aux bactéries, mais fonctionnent différemment et ont une biologie semble-t-il plus élaborée, plus complexe, qui les rapproche du troisième domaine, les Eucaryotes.

Les Eucaryotes (« qui possèdent un vrai noyau ») constituent le troisième grand domaine du vivant, constitué d'unicellulaires et de pluricellulaires dont le matériel génétique (les chromosomes) est réuni et protégé dans un noyau. La cellule contient également des organites assurant de multiples fonctions. Le domaine des Eucaryotes regroupe, entre autres, les quatre règnes des Protistes (amibes, paramécies et autres unicellulaires), des Champignons, des Plantes et des Animaux. Les plus anciens eucaryotes fossiles datent de -2,1 milliards d'années, mais les plus anciennes traces chimiques les font remonter à -2,7 milliards d'années. Avec près de deux millions d'espèces nommées, les Eucaryotes sont bien moins diversifiés que les bactéries. Pourtant, mesurant de 10 micromètres à plus de 30 mètres (baleine bleue) et même plus de 100 mètres (séquoia) ils nous apparaissent plus évidents, mais animaux, plantes et champignons ne sont qu'un petit diverticule du vivant. La plupart de ces organismes sont unicellulaires, souvent réunis en colonies. Cependant, vers 2,1 milliards d'années, est apparue chez les eucaryotes la multicellularité, colonies de cellules dans lesquelles des groupes d'individus assurent des fonctions différentes. Dans les organisations les plus complexes, les cellules se différencient et forment des organes aux fonctions variées.

## • Table

AVANT-PROPOS	7
LES DÉBUTS	13
La soupe primordiale	16
LUCA	18
Phyla mineurs	22
Limites	25
Universalité	29
Découpages	31
BALLADES DINOSAURIENNES	35
Histoire d'œufs	40
Les lézards souverains	46
Fausse sortie	48
Détournement	54
Le premier	57
Un nom pour exister	65
Fouilles	67
Des dinosaures et des hommes	70
CONTEXTES	75
Un dinosaure dans la ville	79
La Plage aux Ptérosaures	80
La carrière aux mammifères de Champblanc	84
La carrière aux dinosaures de Loulle	90
Sur la piste du géant Odysseus	92
LOGISTIQUES	97
Financements	100
Recrutement	103
Acte manqué	105
Hébergement	108
Intendance	115
Lessive	120



Gala	122
Bilan logistique	123
LE TERRAIN	127
Fouiller	130
Collections	133
Protéger	136
Sous nos pieds, la plage	140
L'eau	143
Relations collatérales	144
2x800 watts	148
Journalistes	150
Amateurs ou pas ?	154
Pilleurs	158
Le partage	160
MICRO-RESTES	165
Prélèvement	169
Concassage	170
La tamiseuse	173
Minette	177
Utile destruction	181
EMPREINTES	185
Dynamite	189
Identification	191
Incrédulités	194
Nuits magiques sur la Plage	198
Le générateur	201
L'empreinte disparue	204
Moulage	206
IMAGINONS	211
Ornithes poilus et dinosaures plumeux	213
ÉPILOGUE	221