

La vie

Jean-Marie Bouquegneau

Qu'est-ce qui, au sein de la matière, s'en distingue suffisamment pour dire qu'elle est vivante ?

L'origine du mot « vie » se trouve dans le latin « *vita* », mais lorsqu'on se réfère à la vie, on fait souvent appel à la racine grecque « *βίος* », comme dans le mot « biologie », la science dont l'objet d'étude est justement la vie.

Les concrétions carbonatées naturelles sont constituées de cristaux de carbonate de calcium. Ils contiennent du carbone et ils sont capables de croissance, mais ils ne sont pas vivants.

La formation de la terre date de 4,5 milliards d'années. Au fur et à mesure que la terre se refroidit, la croûte terrestre se déforme, les plaques continentales se déplacent, créant de nouveaux océans, des montagnes. Des roches datant de 3,5 milliards d'années révèlent l'existence de fossiles, donc de la vie.

Ces fossiles sont des stromatolithes, concrétions calcaires, comme de simples cristaux de carbonate de calcium, mais qui ont été formées par des algues microscopiques par l'accumulation de carbonate de calcium dans leur paroi.

Il y a ainsi des cristaux inertes et d'autres qui ont été construits par la vie. Qu'est-ce qui, au sein de la matière, s'en distingue suffisamment pour dire qu'elle est vivante ?

Actuellement, la connaissance scientifique ne peut rendre compte du phénomène de la vie dans sa globalité : on ne sait pas encore construire la vie en laboratoire. Le vivant ne peut à ce jour se définir qu'à l'aide de **caractéristiques**.

Le vivant se définit à l'aide de **3 mots** : **cellule**, **reproduction**, **évolution**.

La première caractéristique du vivant est la **cellule**, unité élémentaire de la vie : « *tous les organismes vivants sont constitués de petites unités appelées cellules.*¹ »

Toute cellule a une composition chimique de base. Notamment, toute cellule contient, au moins à un moment de son développement, de l'**ADN**, caractéristique de l'**espèce**, mais aussi caractéristique de l'**individu** chez les espèces à reproduction sexuée.

La deuxième caractéristique du vivant est que **la vie se reproduit**, par reproduction conforme (asexuée) ou sexuée².

La place des organismes à reproduction sexuée (comme l'homme) dans le monde vivant n'est pas celle qu'on croit. Les espèces qui ont le mieux réussi en terme de nombre d'individus sont les bactéries qui se reproduisent de manière asexuée (par clonage).

La troisième caractéristique du vivant est que la diversité des espèces passées et présentes impose l'idée d'une **évolution des formes de vie au cours du temps**.

L'individu est adapté, mais c'est l'espèce (*i.e.* la population) qui s'adapte. La sélection naturelle se fait au niveau de l'espèce (la population), pas de l'individu. Si un tel schéma d'évolution est maintenant acquis (en ce qui concerne la microévolution en tout cas) il a fallu bien des péripéties pour y arriver, pour arriver enfin à **Darwin** en 1859³. Notre compréhension du monde vivant a fait d'un coup un pas de géant.

Le grand vaincu de la théorie de l'évolution, **Lamarck**, reste cependant un grand biologiste : il a inventé le mot « biologie » et il est le père de concepts fondamentaux toujours utilisés en biologie moderne⁴. Sa théorie de l'évolution, qui postule l'hérédité de caractères acquis pendant l'existence de l'individu, n'a pas tenu la route, quoique ...

Darwin, 50 ans après Lamarck, a émis une théorie qui est toujours robuste de nos jours (plus de 150 ans d'existence !). Darwin ouvre la voie à la science biologique athée, ce qui sera particulièrement fécond. Il définit le concept de **sélection naturelle**, il remplace la finalité par la causalité, et il remplace l'idée d'un objectif prédéterminé par celui du hasard dans l'évolution.

¹ C'est ce que nous propose Théodore Schwann, fondateur de la théorie cellulaire en 1839.

² Dans le monde vivant, la reproduction des cellules se fait généralement de manière asexuée (deux cellules filles proviennent d'une cellule mère ; elles sont identiques (... ou à peu près : l'une est plus vieille que l'autre !) : elles contiennent la même information génétique, ce sont des clones.

Si la reproduction est sexuée, la cellule œuf va présenter une variabilité génétique par rapport à ses géniteurs : chaque nouvel organisme sera un être unique (sauf dans le cas de vrais jumeaux).

³ « De l'origine des espèces par voie de sélection naturelle ».

⁴ l'homologie, l'analogie et la convergence.

Le **darwinisme** va persister jusqu'à nous, en s'affinant, bien sûr ! La science, n'a fait depuis que concrétiser la théorie de Darwin, lui donner des fondements moléculaires et prendre acte de son génie⁵.

En 1940, **Huxley** publie la « **Théorie synthétique de l'évolution** » : l'évolution n'est ni finaliste, ni aléatoire, mais graduelle et opportuniste.

Monod, en 1970, publie « **Le hasard** (i.e. les mutations) et la **nécessité** (i.e. la sélection) ». Pour Monod, le monde vivant est un extraordinaire édifice fait de paliers successifs d'intégration⁶.

Mais l'évolution révèle des sauts quantiques, l'espèce fluctue pendant un certain temps, puis change brutalement : c'est la macroévolution. **Gould**, en 1977, développe le concept d'**hétérochronie** : d'une ontogenèse à l'autre, le fait que l'expression d'un gène soit déplacée dans le temps peut se traduire par des modifications morphologiques considérables, et rapides, sans formes de transition graduelles. Il donne ainsi une explication plausible aux mécanismes de la macroévolution, qui était bien difficile à expliquer jusque là !

Enfin, aujourd'hui, alors que **Darwin** focalisait sur l'organisme individuel (en terme de *sélection naturelle*, de *lutte pour la vie*, ...), **Richard Dawkins** va focaliser sur le gène (le fameux « **gène égoïste** ») : les animaux sont des robots programmés pour préserver les molécules égoïstes connues sous le nom de gènes. Nous ne sommes ici aujourd'hui que parce que l'ADN qui nous habite contient l'information qui commande une structure (la nôtre) qui lui a permis de se maintenir.

Alors, comment tout ça a-t-il pu se produire ?

1. Comment, de l'inerte, passer aux bactéries qui présentent les caractéristiques de la vie ?
2. Comment, des bactéries, arriver à l'homme ?

De nombreuses étapes chimiques, puis biologiques, ont dû être franchies : la vie a commencé avec un brouet contenant de nombreuses molécules différentes de structure semblable, et celles que l'on trouve dans les organismes ont émergé ultérieurement par sélection.

⁵ Génie qu'il partage avec Wallace ! ...

⁶ Cet édifice est parcouru en permanence par deux mouvements de sens opposés :

- un mouvement ascendant, celui de l'information génétique. A chaque étape de ce mouvement apparaissent des propriétés nouvelles. Toute modification aléatoire, au niveau moléculaire, se traduit par des mutations dans les niveaux supérieurs. Le hasard suit une voie ascendante ;
- un mouvement descendant, qui est dû aux forces de la sélection. Elles s'exercent vers les paliers inférieurs. La nécessité suit une voie descendante.

C'est de la rencontre de ces deux mouvements, remettant en cause indéfiniment les équilibres établis, que naît le phénomène évolutif.

On a cru longtemps, grâce aux expériences de **Miller**, que les conditions environnementales qui régnaient sur la planète il y a 4 milliards d'années avaient permis l'apparition spontanée des molécules qui constituent les organismes vivants.

En fait, dans les conditions physico-chimiques de la terre il y a plus de quatre milliards d'années, certaines molécules seulement se sont formées spontanément. Les autres ont été apportées par le cosmos : chaque jour, la terre reçoit en moyenne 20 000 tonnes de matière interplanétaire parmi laquelle se trouve une proportion non négligeable de matière organique⁷. La vie est ainsi inscrite à la fois dans la physique et la chimie terrestres cosmiques.

Par conséquent :

1° La vie est probablement largement répandue dans l'Univers,

2° Il pourrait très bien ne pas y avoir dans l'Univers de vie autre que celle que la terre connaît et a connu.

Parmi les millions de molécules organiques qui vont pouvoir se former (et disparaître), un avantage sélectif déterminant va apparaître lorsque des molécules auto-répliquantes (les ARN) vont se former, se reproduire et former des protéines.

Mais pour faire des protéines à partir d'ARN, il faut des enzymes, donc des protéines ! Ce problème de la poule et de l'œuf a perturbé longtemps les biologistes et a été longtemps un argument en faveur d'un dieu créateur de la vie sur terre.

Dans de tels cas, devant un tel dilemme, on a en effet tendance à faire appel à une intelligence créatrice, ce qui est très mauvais pour la connaissance. Il faut toujours faire l'hypothèse inverse, beaucoup plus féconde.

En effet, on a constaté que les ARN avaient des propriétés catalytiques, *i.e.* qu'ils permettent à des réactions chimiques de se produire rapidement, alors qu'elles ne se produiraient pas spontanément en leur absence.

L'ARN est le 1^{er} vecteur d'information génétique répliquable connu. Il constitue les premières enzymes et initie le métabolisme. Il subit désormais la pression de la sélection biologique.

Comme l'ARN a introduit la réplication, fondement de la continuité génétique, et, avec elle, la variation, la compétition et la sélection, bases de l'évolution, l'apparition de l'ARN est l'événement clé par lequel l'information est entrée dans la vie émergente.

⁷ Nous sommes le résultat de la conjonction de ces deux chimies (prébiotique terrestre et cosmique).

Le « **Monde à ARN** » s'est développé entre quatre et trois milliards et demi d'années d'ici.

Un deuxième changement va ensuite s'opérer : l'information première, anciennement stockée dans l'ARN, va l'être dans de l'ADN.

Tous les avantages de l'ARN⁸ sont conservés, mais l'ADN, immobilisé dans une conformation bi-caténaire rigide et non fonctionnelle, se duplique avec une précision incomparablement plus grande.

Cette séparation fonctionnelle a dû constituer un changement énorme, favorisé par de puissantes forces de sélection. Il y a dû y avoir une longue période intermédiaire durant laquelle l'ADN a accaparé progressivement la fonction de stockage répliatif de l'ARN, laissant ce dernier continuer à fournir les accessoires pour la synthèse des protéines.

On arrive ainsi à une première définition de la vie :

« la vie est un ensemble de matière organisée qui :

1° maintient une entropie faible grâce à de l'énergie externe traitée par un métabolisme,

2° s'auto-renouvelle, ou s'auto-réplique. »

Et les virus, là-dedans ?

Dans cette définition, ils ne sont pas vivants. Pour qu'ils le soient, il faudrait remplacer « s'auto-réplique » par « se réplique ».

Leur origine reste à ce jour mystérieuse. Certains pensent que ce sont des intermédiaires d'un long processus menant aux premières cellules vivantes. Mais, sans le secours d'un métabolisme, les virus ne peuvent être que des particules inertes.

D'autres pensent que ce pourraient être des formes de « gènes voltigeurs », originaires de cellules vivantes préexistantes.

On peut voir en eux les parasites ultimes qui empruntent à leurs cellules hôtes tout ce dont ils ont besoin pour leur multiplication, transportant comme seul bagage ce que les cellules hôtes ne peuvent leur fournir.

Dans ce cadre, on peut donner une définition de la vie par rapport aux virus : **« est vivant tout ce qui peut servir à un virus pour se reproduire »**⁹.

⁸ libres d'adopter des configurations d'une haute complexité et d'une grande souplesse fonctionnelle

⁹ Tout récemment, l'idée que nous nous faisons des virus s'est complètement transformée : les virus sont si anciens qu'ils ont côtoyé les cellules primordiales dont

Tout au long de l'évolution, les virus ont transmis des séquences génétiques aux organismes qu'ils ont infectés, enrichissant leurs génomes. Certains pensent que les virus auraient même inventé l'ADN et introduit le noyau dans les cellules¹⁰.

Ainsi, en transférant des gènes entre individus et entre espèces, les virus confèrent une capacité originale d'évolution aux organismes vivants.

Les virus forment un monde à part, qui co-évolue depuis les temps les plus anciens avec le monde cellulaire. Qu'ils soient vivants ou non, ils agissent sur leur environnement et ont par conséquent leur place dans le monde vivant.

Ainsi, y a-t-il des transferts et des échanges de gènes entre individus de même espèce ou d'espèces différentes. Ces multiples transferts latéraux de gènes transforment l'arbre classique de l'évolution en un véritable réseau évolutif.

Lorsque nous fabriquons des OGMs, nous ne faisons d'ailleurs rien d'autre que ce que font ces virus ou certaines bactéries¹¹ depuis des millions d'années : transférer des gènes d'une espèce à l'autre.

On perçoit maintenant les premiers organismes comme une communauté de cellules primitives échangeant librement leurs gènes entre elles. L'ancêtre était communautaire, un conglomerat divers, lâchement texturé de cellules primitives, qui a évolué de façon unitaire et s'est éventuellement développé jusqu'à un stade où il s'est fragmenté en plusieurs communautés distinctes.

La première forme de vie basée sur de l'ADN a été unicellulaire, avec un matériel génétique diffus dans la cellule¹². C'étaient des bactéries. L'atmosphère terrestre ne contenait pas d'oxygène, pas d'ozone. Les rayons ultraviolets rendaient la vie aérienne impossible. Ces cellules primitives utilisaient un processus métabolique simple pour leur fourniture d'énergie¹³.

Puis des bactéries capables de capter l'énergie lumineuse du soleil¹⁴ sont apparues. De grandes quantités de matière carbonée ont été élaborées, avec production d'un déchet : l'oxygène.

nous sommes issus. Simples associations de molécules, les virus sont inertes, mais, une fois dans la cellule, ils prennent vie, au sens où ils se répliquent, se multiplient, mutent et évoluent.

¹⁰ Cellules eucaryotes.

¹¹ comme *Agrobacterium tumefaciens* que nous utilisons comme vecteur pour insérer des gènes dans les OGMs.

¹² C'étaient des procaryotes.

¹³ La fermentation, en utilisant les molécules carbonées en suspension dans l'océan. Il s'agissait d'une première forme de vie hétérotrophe.

¹⁴ Bactéries autotrophes phototrophes.

L'oxygène présent dans l'eau a d'abord été piégé par toutes les substances capables d'être oxydées. Puis, un milliard d'années plus tard, il a été libéré dans l'atmosphère, formant notamment une couche d'ozone bloquant les rayonnements ultraviolets. La vie pouvait conquérir la terre ferme.

Il y a environ 1,5 milliards d'années, des cellules bactériennes vont s'associer pour former des cellules beaucoup plus complexes avec un noyau¹⁵ qui contient le matériel génétique. La reproduction sexuée se développe chez ces organismes ; elle va permettre une variabilité génétique très grande, source d'une évolution foisonnante.

Certaines de ces cellules vont évoluer vers des organismes multicellulaires, constitués de plusieurs cellules à fonctionnalités différentes¹⁶. Il suffira pour les définir d'ajouter différenciation cellulaire et immunité aux deux caractères qui définissaient la vie jusqu'à présent : maintien d'une entropie basse et autoduplication.

De tels organismes sont essentiellement le résultat d'une sélection darwinienne.

Pour ces organismes multicellulaires qui se reproduisent sexuellement, la reproduction n'agit pas sur les génomes entiers. Elle brasse continuellement les gènes existants en de nouvelles combinaisons¹⁷, laissant la sélection naturelle éliminer les combinaisons les moins avantageuses.

Il y a maintenant dans l'évolution deux types de bifurcations :

- des bifurcations avec modification mineure des plans d'organisation du corps, c'est la microévolution, il y a simplement diversité au sein d'un groupe¹⁸,
- des bifurcations avec remaniement majeur du plan d'organisation du corps, c'est la macroévolution.

Ce type de modification majeure a pour origine l'apparition de maîtres gènes¹⁹ : des gènes architectes dont chacun contrôle la morphologie d'une portion spécifique du corps²⁰.

¹⁵ Les cellules eucaryotes.

¹⁶ Les cellules constituant l'organisme multicellulaire doivent en effet être capables d'auto-duplication avec différenciation et maintien d'un contact avec la cellule mère. Cela conduit à la différenciation de tissus et d'organes et implique un système de communication interne entre les cellules et un système de préservation de l'identité du système (le système immunitaire).

¹⁷ Combinaisons produites au cours de la méiose et de la fécondation.

¹⁸ Par exemple : le million d'espèces d'insectes qui descendent tous d'une forme ancestrale unique.

¹⁹ e.g. les gènes homéotiques, qui contrôlent le plan de développement de l'organisme (nombre de types cellulaires différenciés distincts). Il existe plusieurs dizaines de ces gènes dans le monde végétal, plusieurs centaines chez les animaux.

Il y a 600 millions d'années, les organismes multicellulaires vont exploser, pour donner, notamment, les mammifères il y a 200 millions d'années.

Ceux-ci vont exploser à leur tour suite à la disparition des dinosaures, il y a 65 millions d'années. Parmi eux vont apparaître les primates, chez lesquels, il y a 7 millions d'années, on va assister à la séparation de la lignée humaine de celle des chimpanzés.

Il y a 200 000 ans, apparaît l'espèce humaine, toujours présente dans le monde actuel (*Homo sapiens*), à partir d'un groupe ancestral unique.

Les hommes de Néandertal représentent une autre lignée humaine, qui a coexisté un temps avec *Homo sapiens*, et qui a disparu il y a 35 000 ans.

Pendant les 3 premiers millions d'années de l'hominisation, on assiste d'abord à l'acquisition de la bipédie et d'une dextérité manuelle plus grande, toutes deux favorisées par la sélection naturelle en réponse à un changement d'habitat, de la forêt à la savane.

Pendant les trois millions d'années suivantes, on assiste à une expansion cérébrale rapide (le volume du cerveau va tripler en 2 millions d'années). Cette période correspond à une fabrication d'outils de plus en plus perfectionnés.

Il y a 300 000 ans, le larynx est placé au sommet de la trachée. Il y a 100 000 ans, une dernière mutation d'un gène « du langage »²¹ permet à la fois le contrôle de la capacité d'articuler et les compétences linguistiques. Il y a 50 000 ans, le langage est complètement développé, et on assiste aux premières manifestations artistiques.

Rien de tout cela, contrairement à ce que pensait Monod, n'est le fruit du seul hasard. Le temps a été si long que tous les hasards ont eu l'occasion d'apparaître. Mais peu de ces hasards étaient viables, quelques-uns seulement pouvaient subsister.

Chez l'homme, et chez de rares autres espèces, on constate la transmission de certains caractères acquis par l'individu : l'apprentissage, le langage, la culture, la technologie.

Si Darwin a fondamentalement raison dans sa théorie de l'évolution, pour l'homme, sur le fil, Lamarck s'en sort par une remarquable pirouette, car ***l'homme est finalement le résultat d'une sélection darwinienne,***

²⁰ Les gènes homéotiques s'expriment très tôt au cours du développement embryonnaire et aiguillent le développement subséquent des cellules vers une certaine destinée (e. g. celle de former une aile).

²¹ Le gène FOXP2.

génétique (la sélection naturelle), et d'une sélection lamarckienne, culturelle (l'hérédité de caractères acquis), les deux types de sélection agissant conjointement.

Le génome humain, dans le chemin particulier qu'il a suivi pour perpétuer sa réplication, a développé un organe qui est aussi particulier, le néocortex. Le développement extraordinaire de ce néocortex se traduit par la mise en réseau de quelque 200 000 000 000 de neurones, chacun d'entre eux pouvant établir jusqu'à 10 000 connexions avec ses voisins, soit 2 millions de milliards de connexions potentielles.

Cela a permis le développement de l'**intelligence**, et cette complexification extraordinaire - unique sur la planète - du réseau neuronal a fait émerger une propriété nouvelle : la **conscience**.

On compare souvent le fonctionnement du cortex à celui d'un ordinateur : comme lui, il intègre les diverses données qui lui viennent de capteurs et décide les réponses adéquates, en fonction du programme imposé pour l'ordinateur, en fonction des gènes et de la mémoire pour le cerveau.

Mais le néocortex humain est par ailleurs un organe rebelle, dans ce sens qu'il est capable de prendre des décisions qui ne sont pas programmées dans le génome. Le comble (et la preuve ?) : il est capable de décider de ne pas procréer, donc de s'ériger en obstacle à ce qui l'a conçu !

Nous, *Homo sapiens*, sommes les premiers organismes à être capables de nous opposer **consciemment** aux dictats de notre ADN.

Le monde déterminé a ainsi programmé, en sélectionnant un organisme qui évolue à la fois de manière darwinienne et lamarckienne, un antidote à la pérennité de son déterminisme, un organe rebelle capable de ne pas obéir aux injonctions du programme qui l'a construit.

Pour le biologiste, la **morale** est aussi un produit de la sélection naturelle qui aurait retenu des comportements sociaux favorables au succès évolutif de groupes. Les sociétés animales offrent de nombreux exemples de cohésion fondée sur des comportements de soumission à ce qui ressemble à des lois écrites.

Pour le biologiste, les **religions** ont sans doute aussi une explication évolutive : fort probablement, les groupes humains qui croyaient en quelque chose avaient plus de chance de survivre et de se propager que ceux qui ne croyaient en rien. Que l'objet de leur croyance fût ou non vrai était, à cet égard, sans importance, mais il n'est pas douteux que l'aptitude à croire est beaucoup plus puissante que la capacité d'écouter la raison. Le succès des sectes ésotériques, des horoscopes, des voyantes, des cartomanciennes, des guérisseurs et de toutes les exploitations de la crédulité ne me contredira pas.

Dans un tel cadre, les systématiciens se sont fourvoyés dans le nom à donner à l'homme : ils l'ont appelé *Homo sapiens*, l'homme qui sait ; il aurait été plus pertinent de l'appeler « *Homo credulus* », l'homme ingénu. Tout se passe comme si l'homme crédule avait besoin de partager des dogmes qui le reliant à un groupe social qui le protège.

Bibliographie sommaire :

de Duve Christian, 2002, *A l'écoute du vivant*, Odile Jacob sciences, 401 pp.

de Duve Christian, 2005, *Singularités – jalons sur es chemins de la vie*, Odile Jacob sciences, 296 pp.

Langaney André, 1999, *La philosophie biologique*, Belin éd., 156 pp.

Meslin Michel, 2006, *Des mythes fondateurs pour notre humanité*, Editions Complexe, 140pp.

Rosmoduc Jean et l'Elchat Dominique, *Vie*, 2004, *25 mots de la culture scientifique*, Maxi-Livres, pp 351-368.

Professeur Jean-Marie BOUQUEGNEAU
Département des sciences et gestion de l'environnement
Université de Liège (B6)
B-4000 Liège
Belgique