CAHIERS
FRANÇOIS VIETE

Série I – N°4

2002

Exobiologie
Aspects historiques et épistémologiques

FLORENCE RAULIN CERCEAU & STÉPHANE TIRARD - *Présentation*
JEAN GAYON - *Préface*
MICHEL MORANGE - *Qu'est-ce que la vie ?*
MARIE-CHRISTINE MAUREL - *Notion d'Origines*
STÉPHANE TLRARD - *Les origines de la vie sur la Terre : un problème historique*
FLORENCE RAULIN-CERCEAU - *Histoire des concepts de la vie extraterrestre*
ANDRÉ BRACK - *Vers une vie plurielle*
FRANÇOIS RAULIN - *L'essor de l'exobiologie planétaire dans le système solaire*
JEAN SCHNEIDER - *L'exobiologie, l'imaginaire et le symbolique*

Centre François Viète
Épistémologie, histoire des sciences et des techniques
Université de Nantes

Achevé d'imprimer sur les presses de l'imprimerie centrale de l'université de Nantes, février 2012
Mise en ligne en juillet 2017 sur www.cfv.univ-nantes.fr

SOMMAIRE

- FLORENCE RAULIN CERCEAUET STÉPHANE TIRARD..... 3
  Présentation

- JEAN GAYON 5
  Préface

- MICHEL MORANGE 9
  Qu'est-ce que la vie ?

- MARIE-CHRISTINE MAUREL..... 23
  Notion d'Origines

- STÉPHANE TIRARD 35
  Les origines de la vie sur la Terre : un problème historique

- FLORENCE RAULIN-CERCEAU 49
  Histoire des concepts de la vie extraterrestre

- ANDRÉ BRACK..... 61
  Vers une vie plurielle

- FRANÇOIS RAULIN..... 81
  L'essor de l'exobiologie planétaire dans le système solaire

- JEAN SCHNEIDER 93
  L'exobiologie, l'imaginaire et le symbolique

Cahiers François Viète, 4, 2002, p. 9-22

QU'EST CE QUE LA VIE ?

Michel MORANGE*

Résumé

La question « qu'est-ce que la vie ? » n'a pas eu toujours la même importance, ni reçu les mêmes réponses. Elle a connu une éclipse au milieu du XX^{e} siècle, liée à la mise en place de la vision moléculaire du vivant. Aujourd'hui, cette question connaît un regain d'intérêt, à la suite d'une certaine remise en cause du réductionnisme moléculaire, et grâce au développement des programmes d'astrobiologie. La majorité des biologistes s'accordent à reconnaître chez les êtres vivants la présence de trois caractéristiques : la reproduction avec variation, la complexité moléculaire, et l'activité métabolique d'échange. Le classement de ces trois propriétés révèle cependant des conceptions différentes de ce qu'est la vie.

Le retour d'une question longtemps occultée

La question « Qu'est-ce que la vie ? » est sans doute aussi ancienne que l'humanité. Les philosophes grecs, Aristote en particulier, l'ont abordée de front. La réponse en a toujours été aussi difficile. John Locke faisait remarquer en 1690 qu' « Il n'y a point de terme plus commun que celui de *vie*, et il se trouverait peu de gens qui ne prissent pour un affront qu'on leur demande ce qu'ils entendent par ce mot. Cependant, s'il est vrai qu'on mette en question si une plante qui est déjà formée dans la semence a de la vie, si le poulet dans un œuf qui n'a pas encore été couvé, ou un homme en défaillance, sans sentiment ni mouvement, est en vie ou non, il est aisé de

* Professeur de Biologie à l'École Normale Supérieure et à l'Université Paris VI. – Pierre et Marie Curie.

Directeur du Centre Cavaillès d'Histoire des Sciences et de Philosophie des Sciences à l'École Normale Supérieure.

voir qu'une idée claire, distincte et déterminée n'accompagne pas toujours l'usage d'un mot aussi connu que celui de vie »[1].

Néanmoins, son importance relative n'a pas été la même tout au long de l'histoire. Cette question n'est devenue centrale qu'à la fin du XVIII[e] siècle et au début du XIX[e] siècle. C'est l'époque où le terme même de biologie apparaît sous les plumes de Lamarck et de G.R. Treviranus.

Au contraire, le XX[e] siècle aura été presque jusqu'à sa fin le siècle du « crépuscule de la vie ». Cette expression est utilisée au milieu des années 1930 pour désigner les conséquences scientifiques et philosophiques des premières expériences de purification et de cristallisation des virus. Ces objets biologiques, considérés jusqu'alors comme vivants, n'étaient-ils pas réduits au statut de molécules, et donc de constituants du monde inanimé ?[2] La question « Qu'est-ce que la vie » est au cœur des interrogations de ceux que l'on appellera ultérieurement les biologistes moléculaires, en particulier des physiciens qui abordent l'étude des êtres vivants dans le but d'y découvrir de nouveaux principes physiques. Max Delbrück, le fondateur du groupe du phage, s'interroge sur l' « énigme de la vie »[3], tandis qu'Erwin Schrödinger pose directement la question « Qu'est-ce que la vie ? » dans un

---

[1] John Locke, *Essai philosophique concernant l'entendement humain*, III, X, 22, cité par Georges Canguilhem, article *vie* de l'*Encyclopaedia Universalis*, t. 23, (p. 546-553 dans l'édition de 1989). Cet article a été une aide précieuse pour suivre les transformations historiques de la « définition » de la vie. Malheureusement, la description de Georges Canguilhem s'arrête au début des années 1970.

Remarquons que, si les difficultés pour définir la vie demeurent, elles ne sont pas les mêmes pour nous que pour John Locke : la semence d'une plante ou un œuf de poulet sont bien vivants. Quant à l'homme en défaillance, le problème reste encore bien difficile ! Les questions du statut de l'embryon, ou de la définition légale de la mort humaine, ne sont pas sans rapports avec la définition de la vie. Elles posent cependant des problèmes spécifiques, et exigeraient une étude en soi. Nous ne les aborderons pas ici.

[2] Les virus ont occupé pendant tout le XX[e] siècle une place centrale dans les travaux sur l'origine – et la nature - de la vie. Voir, en particulier, S. Podolsky (1997), "The role of the virus in the origin-of-life theorizing", *J. Hist. Biol.*, 29, 79-126 et William Summers (2000), *Félix d'Hérelle and the origins of molecular biology*, (Yale : Yale University Press), chapitre 7.

[3] Max Delbrück (1937), *Preliminary write-up on the topic "Riddle of Life"*, 1937, publié en 1970 comme appendice de : "A physicist's renewed look at biology: twenty years later", *Science*, 168, 1314-1315.

ouvrage publié en 1944 qui aura une grande influence sur les jeunes biologistes moléculaires[4].

L'établissement des « dogmes » de la biologie moléculaire semblera apporter une réponse à cette question. Pour Jacques Monod, l'énigme de la vie a été résolue et ses secrets dévoilés[5]. Plus prudemment, François Jacob fera simplement remarquer que « l'on n'interroge plus la vie aujourd'hui dans les laboratoires »[6]. Certains biologistes iront jusqu'à écrire que « la vie n'existe pas »[7] ou, à l'inverse, présenteront la « mort de la vie » comme « un héritage de la biologie moléculaire »[8]. Les secrets de la vie résident, pense-t-on, dans l'existence d'une information transmise de générations en générations, qui constitue le programme génétique des organismes vivants. La vie est « logos »[9]. Des scénarios vraisemblables de l'origine de la vie à partir d'une soupe prébiotique sont proposés : les hypothèses d'Haldane et d'Oparin sont partiellement confirmées au début des années 1950 par les expériences de Stanley Miller.

Il est tout à fait intéressant de constater que cette question qui avait presque totalement disparu à la fin du XX^{e} siècle – il aurait été presque impensable, il y a quelques années, de la poser à un étudiant de biologie – resurgit aujourd'hui, non pas de manière voilée, mais directement[10]. Elle redevient une question respectable et ne témoigne plus de la naïveté de celui qui la pose[11]. Ce changement brutal est probablement lié à la conver-

---

[4] Erwin Schrödinger (1944), *What is Life ?*, (Cambridge : Cambridge University Press).

[5] Jacques Monod (1970), *Le hasard et la nécessité*, (Paris : Le Seuil, Éditions Points), p. 12.

[6] François Jacob (1970), *La logique du Vivant*, (Paris : Gallimard), p. 320.

[7] Ernest Kahane (1962), *La vie n'existe pas*, (Paris : Éditions rationalistes).

[8] Stanley Shostak (1998), *Death of life: the legacy of molecular biology*, (Londres : Macmillan).

[9] Georges Canguilhem (1968), « La nouvelle connaissance de la vie : le concept et la vie » *in* : *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*, (Paris : Vrin), 335-364, p. 362.

[10] Elle sert par exemple d'introduction à l'article de E.G. Nisbet et N.H. Sleep (2001), "The habitat and nature of early life", *Nature*, 409, 1083-1091, de premier chapitre à l'ouvrage d'Antoine Danchin (1998), *La barque de Delphes*, (Paris : Odile Jacob) et de titre à l'ouvrage de L. Margulis et D. Sagan (1995), *What is Life ?*, (Londres : Weidenfeld and Nicholson).

[11] Le Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences édité par Dominique Lecourt témoigne aussi de ce changement. Même s'il n'y a pas d'article *vie*, les articles *Vitalisme et Mécanisme* et *(Théorie du) vivant* insistent sur la non-réductibilité du monde vivant à une description mécaniste. Dominique Lecourt

gence de deux transformations, l'une interne à la biologie, l'autre qui lui est extérieure.

La biologie est en train d'émerger d'une période de réductionnisme fort qui a suivi les grandes découvertes de la biologie moléculaire[12]. L'achèvement des premiers grands programmes de séquençage a montré que la connaissance « complète » des molécules du vivant ne livre pas immédiatement les secrets de la vie, et donc révèle les limites de la forme particulière de réductionnisme qui avait été privilégiée par certains biologistes moléculaires dans les années 1960. Si les caractéristiques des êtres vivants reposent bien sur les propriétés des molécules qui les constituent, elles ne peuvent être déduites de celles-ci. Le secret de la vie est dans les règles de fonctionnement des composants élémentaires, dans la manière dont leurs actions sont intégrées au sein des différents niveaux hiérarchiques qui forment les organismes vivants. De manière plus précise, le code génétique, cette relation entre les deux grandes classes de macromolécules qui composent le monde vivant, les acides nucléiques et les protéines, ne peut plus être considéré comme le secret de la vie : les biologistes admettent aujourd'hui que le monde vivant, tel que nous le connaissons, a été précédé par un monde vivant contenant un seul type de macromolécules informationnelles, l'ARN. Ce monde vivant n'avait donc pas encore « inventé » le code génétique.

La question « Qu'est-ce que la vie ? » rebondit aussi à cause du développement des études d'exobiologie (encore appelée astrobiologie). La recherche de vie « ailleurs » est devenue l'objectif principal de l'exploration planétaire. Fixer un tel but permettait sans doute de réveiller l'intérêt – et le soutien – quelque peu émoussé du grand public pour l'aventure spatiale. La caractérisation des extrémophiles, ces formes de vie terrestres adaptées à des conditions considérées longtemps comme hostiles à toute forme de vie, a accru l'espoir de découvrir des formes de vie sur d'autres planètes[13]. La mise en évidence de l'existence de planètes autour d'autres étoiles que notre Soleil contribua aussi à accréditer l'idée que ce qui s'était passé sur la planète Terre n'était pas exceptionnel[14].

(éd.) (1999), *Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, (Paris : Presses Universitaires de France).

[12] Michel Morange (1998), *La part des gènes*, (Paris : Odile Jacob, Paris).

[13] Lynn J. Rothschild and Rocco L. Mancinelli (2001), "Life in extreme environments", *Nature*, 409, 1092-1101.

[14] Néanmoins, les planètes découvertes jusqu'à maintenant, de très grande taille, ne sont pas, par leur composition chimique, favorables à l'apparition de la

Rechercher l'existence de la vie sur d'autres planètes consiste, pour beaucoup de chercheurs, à mettre au point les outils qui permettraient de découvrir la présence d'organismes vivants analogues à ceux que nous connaissons sur la Terre[15]. La recherche de vie sur... la Terre par la sonde Galileo lors de son passage à proximité de notre planète constituait le premier test expérimental d'une telle stratégie[16]. La première étape est de sélectionner les planètes sur lesquelles les conditions physiques permettraient la survie d'organismes vivants – même si ce n'est que de quelques extrémophiles.

La réalisation de telles expériences exige que l'on ait su distinguer, parmi les caractéristiques des êtres vivants, celles qui sont spécifiques de la vie et celles qui sont non-spécifiques. L'expérience acquise lors des missions Vikings sur la planète Mars est, de ce point de vue, intéressante : une transformation chimique, considérée comme spécifique de la présence d'êtres vivants, a été, en l'absence de tout autre signe de vie, réinterprétée comme le produit d'une simple réaction chimique. Les expériences projetées visent à mettre en évidence soit les êtres vivants eux-mêmes (par exemple les molécules qui les constituent ou des traces morphologiques de formes de vie[17]), soit les produits de leur activité métabolique.

Bien évidemment, une telle approche est limitée car elle suppose que l'espace des possibles ouvert aux êtres vivants est assez peu différent de celui que les formes de vie terrestre ont occupé. En est-il ainsi ? Certains chercheurs vont jusqu'à soutenir que les lois de la biochimie sont universelles, et que si nous découvrions des êtres vivants sur Mars, ils auraient pro-

---

vie. De toutes façons, compte-tenu de la distance, la mise en évidence, même de manière indirecte, d'une forme de vie y serait difficile.

[15] Jeffrey L. Bada (2001), "State-of-the-art instruments for detecting extraterrestrial life", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, 797-800.

[16] Carl Sagan, W. Reid Thompson, Robert Carlson, Donald Gurnett and Charles Hord (1993), "A search for life on Earth from the Galileo spacecraft", *Nature*, 365, 715-721.

[17] avec toutes les difficultés d'interprétation que montrent des publications récentes : J. William Schopf, Anatoliy B. Kudryavtsev, David G. Agresti, Thomas J. Wdowiak and Andrew D. Czaja (2002), "Laser-Raman imagery of Earth's earliest fossils", *Nature*, 416, 73-76 ; Martin D. Brasier, Owen R. Green, Andrewp. Jephcoat, Annette K. Kleppe, Martin J. Van Kranendonk, John F. Lindsay, Andrew Steele and Nathalie V. Grassineau (2002), "Questioning the evidence for Earth's oldest fossils", *Nature*, 416, 76-81.

bablement un code génétique identique à celui des organismes vivants terrestres[18]. Tous, cependant, ne partagent pas ce point de vue.

La seule stratégie « rationnelle » serait de définir la vie et les caractéristiques qui lui sont consubstantiellement attachées[19]. Ce qui nous conduit à la deuxième partie de cet essai : y a-t-il une définition de la vie qui soit unanimement acceptée ?

A la recherche d'une définition de la vie

Il ne s'agira pas ici de faire un récapitulatif des différentes définitions de la vie qui ont été données, mais d'essayer de repérer des continuités, et surtout les évolutions récentes. D'Aristote à Bichat, la vie a été définie par son négatif, la mort ; la vie est donc caractérisée par une histoire, avec un début et une fin : « nous entendons par vie le fait de se nourrir, de croître et de dépérir par soi-même » ... « la vie est l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort »[20]. A partir de la fin du XVIII[e] siècle, c'est l'organisation qui va être considérée comme la caractéristique fondamentale de la vie (le terme d'organisme a été introduit par Aristote : celui-ci avait déjà vu que ce qui caractérisait la vie était une certaine organisation). Kant et Lamarck ne firent donc que mettre au premier plan une caractéristique déjà liée à la vie depuis l'antiquité grecque. Cette organisation pouvait

---

[18] Norman R. Pace (2001), "The universal nature of biochemistry", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* , 98, 805-808.

[19] Pier Luigi Luisi (1998), "About various definitions of Life", *Origins of Life and evolution of the biosphere*, 28, 613-622.

[20] La première définition est d'Aristote, la seconde de Bichat (cf. Georges Canguilhem, article *vie* de l'Encyclopaedia Universalis, *op. cit.*). Georges Canguilhem faisait remarquer aussi qu'une des caractéristiques des êtres vivants, et en particulier de l'homme, est de pouvoir être malade. Jamais un objet inanimé ne sera considéré comme « malade ». La maladie, l'état pathologique, doivent donc participer à la définition de la vie. Comment ? Sans doute à travers la complexité liée au fonctionnement des organismes vivants. Cette complexité est telle qu'elle peut engendrer plusieurs états de fonctionnement stables, l'un considéré comme normal, les autres considérés comme pathologiques par référence à l'état normal. Georges Canguilhem (1966), *Le normal et le pathologique*, (Paris : Presses Universitaires de France, coll. Galien).

être structurale, matérielle. Cuvier la considérait, lui, comme une forme, le résultat d'une dynamique et d'une transformation perpétuelle[21].

A partir de la seconde moitié du XIX[e] siècle, la définition des êtres vivants est recherchée par beaucoup dans une relation particulière à la seconde loi de la thermodynamique. L'univers ne tend-il pas, dans son ensemble, vers le désordre, au contraire des êtres vivants qui, au minimum, maintiennent cet ordre et, au mieux, l'accroissent ? En 1944 encore, Schrödinger répond à la question qu'il a posée « Qu'est-ce que la vie ? » par l'appel à la capacité qu'auraient les êtres vivants de créer de l' « entropie négative »[22]. De manière moins précise, en héritier fidèle de Lamarck, Félix d'Hérelle fait de l'assimilation et de l'adaptation les caractéristiques de la vie. L'assimilation est le résultat de l'organisation, et l'adaptation le moteur de l'évolution des formes vivantes. Ces deux propriétés permettent de séparer le vivant du non-vivant. En appliquant ce critère au bactériophage, Félix d'Hérelle peut le ranger sans hésitations dans la catégorie des êtres vivants[23].

Le développement de la théorie de l'évolution, ou plus exactement l'acceptation de l'évolution comme fait, va transformer ces définitions de la vie. Il ne s'agira plus de définir la vie comme la propriété que possèdent les êtres vivants, mais comme le moteur de ce qui permet la succession de formes vivantes toujours nouvelles et, en apparence, toujours plus complexes.

Les darwiniens contemporains vont achever ce mouvement qui a fait peu à peu de la capacité d'évoluer le critère essentiel de la vie. La théorie synthétique de l'évolution n'est plus seulement une théorie visant à proposer un mécanisme raisonnable – la sélection naturelle – expliquant le fait de l'évolution, elle devient la définition même de la vie. Un être vivant est un « objet » capable d'engendrer des copies imparfaites de lui-même. La compétition entre ces différentes copies permettra à ces objets d'évoluer.

Quelques approfondissements nécessaires

---

[21] Ce dont rend compte la métaphore de la barque, encore utilisée aujourd'hui : toujours semblable à elle-même, bien qu'en perpétuelle reconstruction.

[22] Erwin Schrödinger, *What is Life ?, op. cit.,* chapitre 6. Cette propriété repose sur une structure, le cristal apériodique qui constitue le chromosome.

[23] Félix d'Hérelle (1926), *Le Bactériophage et son comportement*, (Paris : Masson), chapitre III.

Ce récapitulatif rapide de quelques définitions de la vie et de leurs évolutions récentes appelle plusieurs commentaires.

Le premier concerne le besoin même d'une définition. Depuis Aristote, la frontière entre le vivant et le non-vivant n'a pas bougé – mise à part l'observation de formes microscopiques de vie à partir du XVII[e] siècle et le cas des virus sur lequel nous reviendrons plus loin – et cette distinction intuitive entre la vie et la non-vie a été amplement validée par le progrès des connaissances. Cela ne devrait-il pas être suffisant ? N'est-ce pas une interrogation métaphysique et non-scientifique que de rechercher une définition de la vie ? Ne faudrait-il pas se contenter de décrire les caractéristiques des êtres vivants, et ne pas aller au-delà, ne pas tenter de faire de ces caractéristiques, ou de certaines d'entre elles, les fondements de la vie ? La réponse à cette objection est double. La première est que ce serait singulièrement réduire les objectifs de la connaissance scientifique que de les limiter à une description des objets de l'univers. La science vise clairement « autre chose », même si cet « autre chose » est bien difficile à définir. La deuxième considération convaincra peut-être les lecteurs que ces remarques philosophiques auront laissés sceptiques. Si, dans quelques années ou quelques décennies, les observations effectuées sur d'autres planètes montrent qu'y existent des objets ayant certaines, mais pas toutes les caractéristiques des êtres vivants terrestres, en plus d'un certain nombre d'autres caractéristiques nouvelles, le problème sera de savoir si nous pouvons baptiser ces objets d'êtres vivants. Pour le faire, il aura été nécessaire d'aller au-delà d'une simple liste de caractéristiques propres aux formes de vie terrestre, mais de s'interroger sur ce qui, en amont ou parmi ces caractéristiques, est fondamental du phénomène vie.

Il est assez remarquable d'observer que, quelle que soit la définition implicite ou explicite de la vie qui est la leur, la majorité des biologistes contemporains s'accordent sur la liste des caractéristiques qui permettent de reconnaître un être vivant, ou son action sur l'environnement. Ces caractéristiques rassemblent les principales observations qui ont été à l'origine des différentes définitions de la vie décrites précédemment. La première est que les êtres vivants sont des objets complexes, formés de nombreux composants – les macromolécules – elles-mêmes complexes et en interactions. La deuxième est qu'ils sont en perpétuels renouvellement et transformation, et donc en échange permanent avec le milieu extérieur. Ces échanges conduisent à des déséquilibres chimiques dans le milieu, qui peuvent constituer les marques de la vie, sans que l'on ait besoin de mettre en évidence les êtres vivants eux-mêmes. La troisième caractéristique est qu'ils sont capables de réplication imparfaite. Les nouvelles formes vivantes ainsi

engendrées seront en compétition plus ou moins directe, ce qui sera le moteur de leur future évolution.

Les désaccords apparaissent lorsqu'il s'agit de préciser ces trois caractéristiques générales mais, plus encore, de les ordonner, de désigner celle qui, parmi les trois, est essentielle, constitutive de la vie. Dans les deux cas il s'agira de distinguer ce qui est contingent, lié à l'histoire particulière de la vie sur la Terre, et ce qui est fondamental et définit la vie.

Parmi les opinions des biologistes contemporains, on peut clairement distinguer deux options diamétralement opposées. La première est celle des généticiens des populations néo-darwiniens, et elle est très clairement présentée dans l'ouvrage *La théorie de l'évolution* de Patrice David et Sarah Samadi[24]. La propriété constituante de la vie – son critère universel - est la capacité de réplication avec variations. La complexité biochimique des êtres vivants et de leur métabolisme – avatars modernes des notions d'organisation et de flux - ne sont que les conditions qui rendent possible cette capacité de reproduction imparfaite.

A l'opposé, on trouve le point de vue de certains biochimistes pour lesquels « la nature de la biochimie est universelle »[25]. A tel point que si nous trouvions un jour des êtres vivants sur Mars ou sur un des satellites de Jupiter tel Europe, ils auraient probablement le même code génétique que les êtres vivants terrestres. Pour ces biochimistes, ce qui caractérise la vie c'est cette chimie moléculaire et macromoléculaire complexe rendue possible par les propriétés du carbone.

Ces deux points de vue opposés conduisent à des priorités de recherche différentes. Par exemple, pour des biochimistes convaincus que toutes les formes vivantes se ressemblent plus ou moins, la caractérisation des extrémophiles est très importante, puisqu'elle nous révèle *de facto* les limites à l'intérieur desquelles toute forme de vie se développera[26]. Pour un généticien, l'étude des extrémophiles souligne les capacités d'adaptation des êtres vivants terrestres, elle ne dit rien des capacités d'adaptation d'autres êtres vivants encore à découvrir, qui utiliseraient une chimie diffé-

---

[24] Patrice David et Sarah Samadi (2000), *La théorie de l'évolution : une logique pour la biologie*, (Paris, Flammarion, Champs Université), chapitre 1. Une telle distinction avait déjà été faite par Harmke Kamminga (1988), "Historical perspective : The problem of the origin of life in the context of developments in biology", *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 18, 1-11.

[25] Norman R. Pace (2001), "The universal nature of biochemistry", *op. cit.*

[26] Lynn J. Rothschild and Rocco L. Mancinelli (2001), "Life in extreme environments", *op. cit.*

rente. Pour un biochimiste, les travaux visant à modifier le code génétique et à étendre le répertoire des acides aminés et des nucléotides permettent de sonder les limites de la vie « de l'intérieur »[27]. Pour des généticiens, le seul intérêt de ces travaux est de montrer combien les formes de vie que nous connaissons sur la Terre ne sont qu'une infime fraction des formes de vie possibles.

Il s'agit en partie d'un affrontement entre deux disciplines biologiques, et l'adhésion à l'un ou l'autre point de vue dépendra largement de la formation reçue par les protagonistes[28]. Ces deux manières de voir sont aussi dans le prolongement de deux approches scientifiques antagonistes du monde vivant qui se sont développées depuis l'avènement de la science moderne : l'approche holiste et l'approche réductionniste de la vie[29]. Pour un biochimiste, la définition de la vie exige une description des molécules qui constituent les êtres vivants. Ce sont les caractéristiques de ces molécules qui non seulement permettent, mais expliquent la vie. Pour un généticien, la vie est une aptitude à une auto-réplication imparfaite, qui émerge du fonctionnement d'objets complexes. Seul compte le degré de complexité atteint, non la nature des constituants à la base de cette complexité.

Un tel affrontement n'est pas sans arrière-pensées philosophiques et même métaphysiques. Il s'agit de savoir dans quelle mesure le monde est rationnel, et donc jusqu'où doit être poussé le processus de « désenchantement du monde ». Pour un biochimiste, la vie et son développement sont déjà en puissance dans les propriétés de la matière. Pour un généticien, la vie est nietzschéenne : elle est une puissance non contrôlée, libre ou presque de toute contrainte. Le néo-darwinisme extrême n'est pas exempt d'une attirance quelque peu morbide pour le hasard. Comme le faisait remarquer Georges Canguilhem, l'étude des êtres vivants n'est pas

---

[27] Ichiro Hirao, Takashi Ohtsuki, Tsuyoshi Fujiwara, Tsuneo Mitsui, Tomoko Yokogawa, Taeko Okuni, Hiroshi Nakayama, Koji Takio, Takashi Yabuki, Takanori Kigawa, Koichiro Kodama, Takashi Yokogawa, Kazuya Nishikawa and Shigeyuki Yokohama (2002), "An unnatural base pair for incorporating amino acid analogs into proteins", *Nature biotechnology*, 20, 177-182.

[28] Par simplicité, nous avons qualifié ces deux attitudes opposées comme étant celles des « biochimistes » et des « généticiens ». Il ne faut pas, bien évidemment, considérer que l'origine disciplinaire conduise à des attitudes stéréotypées. Rien n'empêche un biochimiste d'adopter le point de vue des généticiens, ou réciproquement. Il existe aussi beaucoup d'autres scientifiques qui se penchent sur le problème de l'origine de la vie et ne sont ni biochimistes, ni généticiens.

[29] François Jacob, *La logique du Vivant*, *op. cit.*, p. 14-16.

neutre, et il existe de nombreux obstacles (au sens bachelardien) à la connaissance de la vie[30].

Entre le déterminisme biochimique et le « tout est possible » génétique

Il nous semble que la seule position « raisonnable » est entre les deux : la vie est bien la capacité à l'auto-reproduction imparfaite, mais celle-ci est liée à certaines caractéristiques de la réalité matérielle et ne peut être définie *in abstracto*[31]. La vie n'est pas dans la nature de ses composants, mais dans les relations que permettent ces composants : cependant, ces relations ne sont pas définissables de manière générale, mais seulement à partir précisément de la nature de ces composants.

Les biochimistes manquent trop souvent d'imagination. L'image de la vie qu'ils donnent est bien trop contrainte par les connaissances que nous avons sur la vie terrestre. A l'opposé, la définition de la vie proposée par les généticiens – capacité à l'auto-réplication avec variations - se heurte à une difficulté redoutable : elle ne permet pas d'exclure les formes présentes – et plus encore futures – de « vie artificielle », créées par exemple sur ordinateur. Certains s'accommodent de ce fait, et sont prêts à admettre que la vie artificielle fait partie de la vie[32]. D'autres sont plus réticents, et n'appellent pas ces formes de vie artificielles des êtres vivants, même si elles satisfont aux critères qu'ils ont eux-mêmes fixés pour la vie[33].

La définition que nous proposons inclut l'organisation des êtres vivants en niveaux hiérarchisés d'organisation. Une telle organisation hiérarchisée ne leur est pas spécifique, mais elle trouve chez eux un développement remarquable. Le fait que cette structuration hiérarchisée en niveaux de complexité est très étroitement liée à la vie peut être démontrée assez

---

[30] Georges Canguilhem, article *vie* de l'Encyclopaedia Universalis, *op. cit.*, p. 548-549.

[31] Cette définition n'est pas très différente de celle proposée par la NASA : « La vie est un système chimique auto-entretenu capable de subir une évolution darwinienne ». On peut cependant reprocher à cette définition d'être trop imprécise sur ce qu'est un système chimique auto-entretenu, et une évolution darwinienne. La valeur de cette définition est discutée dans : Pier Luigi Luisi (1998), "About various definitions of Life", *op. cit.*

[32] Richard E. Lenski (2001), "Twice as natural", *Nature*, 414, 255.

[33] C'est le cas de Patrice David et Sarah Samadi, *La théorie de l'évolution : une logique pour la biologie*, *op. cit.*

simplement par l'observation que le caractère vivant ou non-vivant de l'organisme dépendra des niveaux supérieurs de la hiérarchie, et non des niveaux inférieurs. Ces dernières années, a été caractérisé au niveau moléculaire un phénomène passé jusqu'alors en grande partie inaperçu, le phénomène de la mort cellulaire programmée, encore appelée mort cellulaire par apoptose[34]. Cette mort cellulaire contribue au développement ou à la survie de l'organisme. Elle s'oppose donc à la mort de l'organisme, elle en est l'antithèse. A l'inverse, un organisme pluricellulaire est considéré comme mort bien avant que toutes ses cellules ne soient mortes. La vie est un processus qui tient « par le haut ». Cette intégration des fonctions du vivant au niveau supérieur d'organisation hiérarchisée[35] n'a pu apparaître qu'à l'issue d'un long développement. Ce n'est pas parce qu'elle permettrait une définition de la vie que l'évolution est importante, mais parce qu'elle révèle les processus de complexification et de hiérarchisation qui sont caractéristiques du vivant. Peut-on aller au-delà et tenter de remplacer les termes assez vagues de système, auto-organisation, complexité et organisation hiérarchisée par des « principes » de fonctionnement du vivant ? Les tentatives de Stuart Kauffman ou de Marc Kirschner n'ont guère rencontré d'échos auprès des biologistes[36].

Intérêt d'une telle vision de la vie

Si une telle vision combinant auto-réplication avec variation, complexité moléculaire et hiérarchisation a une valeur, elle devrait permettre de résoudre des difficultés associées aux définitions actuelles. Considérons d'abord le problème de l'origine de la vie. Si l'on accepte la définition « génétique », une molécule, par exemple d'ARN, capable d'auto-réplication imparfaite, constituerait déjà un être vivant *per se*, sans qu'elle ne possède bien évidemment les capacités d'échange et les propriétés

---

[34] Kwang-Il-Kang et Michel Morange (2001), "Succès et limites de l'étude moléculaire de la mort cellulaire programmée", *Annales d'histoire et de philosophie du vivant*, 4, 159-175.

[35] C'est à partir de la découverte que tous les êtres vivants sont formés de cellules au milieu du XIX^{e} siècle que l'importance des phénomènes d'intégration dans le fonctionnement des organismes vivants a pu commencer à se révéler.

[36] Stuart A. Kauffman (1993), *The origins of order : self-organization and selection in evolution*, (Oxford : Oxford University Press). Marc Kirschner, John Gerhart and Tim Mitchison (2000), "Molecular 'vitalism' ", *Cell*, 100, 79-88.

d'organisation que nous avons attachées à la vie. Si nous refusons donc de considérer que des molécules auto-réplicatives sont vivantes, l'origine de la vie devra attendre la formation de systèmes isolés renfermant des molécules capables à la fois de s'auto-répliquer et de conférer aux systèmes qui les contiennent un avantage de croissance.

Dans la définition que nous proposons, la vie est à la fois auto-réplication, complexité et organisation. Aucune de ces qualités n'est première. La vie n'est pas apparue avec la première molécule auto-réplicative. A l'opposé, la vie n'a pas dû attendre l'apparition de cellules pleinement fonctionnelles à l'état isolé, telles que nous les connaissons aujourd'hui. La vie est apparue entre les deux, insensiblement, dans la soupe prébiotique, lorsque les processus d'auto-réplication et d'isolement par organisation ont été suffisants[37]. La vie a donc été partagée avant d'être individuelle[38]. Le phénomène vivant est apparu à l'issue d'un long processus régulier d'auto-complexification. Une différence qualitative a émergé de variations quantitatives.

Cette vision a aussi l'avantage de résoudre le paradoxe des virus, objets situés apparemment à la frontière de la vie et de la non-vie[39]. Ceux-ci ont été longtemps considérés comme vivants. A partir des années 1930, ils ont été vus comme de simples assemblages macromoléculaires non-vivants. Aujourd'hui, certains biologistes considèrent qu'ils sont à la fois vivants et non-vivants ou, plus exactement, qu'ils sont successivement vivants lorsqu'ils se multiplient à l'intérieur d'un organisme vivant, et non-vivants lorsqu'ils attendent, inertes, leur prochaine victime. Ils ne sont guère différents en cela de cette soupe prébiotique dont le caractère vivant était fluctuant, en pointillés. Ne pas exclure les virus du champ du vivant a l'avantage de mieux intégrer les phénomènes de transferts horizontaux de

---

[37] Comme le faisaient remarquer E.G. Nisbet et N.H. Sleep, définir le point ou l'autocatalyse devient vie, c'est comme partir à la recherche du plus petit des géants : il y a un continuum entre la chimie auto-catalytique et ce que tout le monde s'accorderait à appeler vie.

E.G. Nisbet et N.H. Sleep (2001), "The habitat and nature of early life", *op. cit.*, p. 1083.

[38] La vision de la vie comme un processus global est aussi celle des spécialistes en écologie, qui raisonnent en terme de biomasse pour savoir si un système vivant est possible ou pas, et non en terme d'individus.

[39] La comparaison entre le statut transitoirement vivant de la soupe prébiotique et celui des virus a été suggéré par Donald E. Ingber : "The origin of cellular life", *BioEssays*, 22, 1160-1170.

gènes dans l'histoire de la vie[40], phénomènes dont les virus ont sans doute été les principaux acteurs. Si les virus n'étaient pas vivants, au moins de temps en temps, comment expliquer qu'ils aient pris une part si active aux premiers pas de la vie ? La formation d'êtres vivants pleinement autonomes n'est qu'une étape relativement tardive du processus de « vitalisation ».

Conclusion

Cet article n'est qu'un premier pas dans l'exploration d'une question redevenue actuelle : qu'est-ce que la vie ? Notre objectif n'est pas de lui apporter une réponse définitive et de se substituer ainsi à ce qui sera le résultat du travail de la communauté scientifique. Il s'agit simplement d'expliciter les différentes réponses qui ont été déjà apportées à cette question, et de les mettre en perspectives historiques ; de faire apparaître les continuités dans ces réponses, mais aussi les évolutions. Existe-t-il pour un philosophe de la biologie une question plus fondamentale que celle-ci ?

École Normale Supérieure, Paris, morange@wotan.ens.fr

[40] Carl Woese (1998), "The universal ancestor", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 6854-6859.

Cahiers François Viète

La revue du *Centre François Viète*
équipe de recherche en
Épistémologie, Histoire des Sciences et des Techniques
de l'Université de Nantes
(EA 1161)
www.cfv.univ-nantes.fr

Les *Cahiers François Viète* publient chaque année les principales conférences du séminaire d'Histoire des sciences et des techniques du Centre. Des numéros spéciaux peuvent être consacrés à des thèmes particuliers, correspondant par exemple à des actes de colloque.

Responsable de publication - Stéphane Tirard

Comité de rédaction

Guy Boistel (Nantes) Jacques Gapaillard (Nantes)
Céline Briée (Nantes) Jean-Louis Kerouanton (Nantes)
Olivier Bruneau (Nancy) Pierre Teissier (Nantes)

Secrétaire de rédaction - Sylvie Guionnet

Numéros Parus

Série I, N°1 (1999)	L'agro-alimentaire : histoire et modernité
Série I, N°2 (2001)	Varia
Série I, N°3 (2002)	Varia

ISBN : 2-86939-202-8