

3. 1. - LE VIVANT

3. 1. 1.

Nous allons nous permettre de poser ici une question qu'on a cru ne plus avoir à poser : qu'est-ce que la vie ? Cette question, nous la formulerons notamment à travers une autre, que beaucoup ont également pu juger ou jugent encore dépassée ou purement philosophique : qu'est-ce qui fait la spécificité du vivant ? Nous tenterons de répondre à ces questions à travers l'examen des grandes étapes des sciences du vivant, depuis Aristote jusqu'à la biologie moléculaire. Notre parcours sera résolument historique ainsi mais pas toujours chronologique.

Les histoires de la biologie sont nombreuses et les monographies sur la pensée du vivant abondent, notamment en France sur le XVIII^e siècle. Parmi ces ouvrages, La logique du vivant (1970¹) de François Jacob, fort estimée et fort estimable, surclasse presque tous les autres. Un acteur majeur de la biologie moléculaire s'y révèle en effet un remarquable historien de sa discipline et nous livre un ouvrage très suggestif d'un point de vue philosophique. Plus fouillée, l'Histoire de la notion de vie (1993²) d'André Pichot, qui fourmille d'analyses originales sur les principaux auteurs jusqu'au XX^e siècle, en représente un très bon complément. Signalons enfin que, quant au cadrage de nombreuses questions, nous nous sommes appuyés sur La vie expliquée (2003³) de Michel Morange.

A travers notre parcours, nous réaliserons que, dès ses débuts, la pensée du vivant s'est bâtie autour d'une distinction entre individualité et vitalité, entre le vivant et la vie. Et nous verrons que dans l'ordre des représentations communes, la vie ne vaut pas le vivant, ce qui revient à dire que les vivants ne se valent pas tous en tant que vivants.

Or, cette distinction, explicitement thématisée pour la première fois par Aristote, la biologie moléculaire conduit de nos jours à la reconsidérer. Dès lors, une vraie surprise nous attend au terme de ce premier parcours :

¹ Paris, Tel Gallimard, 1970.

² Paris, Tel Gallimard, 1993.

³ Paris, O. Jacob, 2003. Voir également S. Mukherjee *Il était une fois le gène*, 2016, trad. fr. Paris, Flammarion, 2017.

reconnaître que le vivant pourrait bien ne se réduire qu'au fait d'être en vie et souligner en ce sens le vitalisme de la pensée moderne du vivant.

Ce terme, sans doute, ne pourra être reçu sans difficulté. Et comme il ne s'agit nullement de l'employer à titre polémique, soulignons d'emblée que nous n'en connaissons pas d'autre pour dire que l'organisation vivante, dans sa singularité, sa complexité mais aussi sa plasticité, fait de nos jours plus que jamais problème.

Nous le verrons à travers deux grands thèmes : I – Vie et matière & II – L'organisme.

I - VIE ET MATIERE

3. 1. 2.

Nous allons ici, en premier lieu, poser des questions simples et qui pourront paraître naïves : comment définir la vie ? D'où vient-elle ? Comment est-elle apparue sur la Terre ? Trouve-t-on des formes de transition entre les organismes vivants et la pure matière ?

Une première surprise, sans doute, viendra de constater l'incertitude des réponses qui peuvent être actuellement apportées à de telles questions. Une seconde surprise, de s'apercevoir que la singularité de l'organisation vitale par rapport à la matière, aussi évidente puisse-t-elle nous paraître, n'a été reconnue qu'assez tardivement dans l'histoire des idées. Elle découle notamment de la réfutation par Pasteur de l'idée de génération spontanée des êtres vivants.

Depuis lors, la vie renvoie, quant à son origine, à un événement. La singularité de sa complexité organisée, par rapport aux lois physiques générales, renvoie à un phénomène historique, sans doute très improbable. Toute définition de la vie, dès lors, tourne en cercle : la vie doit être définie par des caractères qui lui sont propres. Ce qui revient à définir la vie par la vie. On comprend que la question puisse lasser. Cela ne signifie pas qu'elle ait perdu toute pertinence !

Ce cercle vitaliste, toutefois, ne s'est formé que tardivement. Et pour en bien comprendre les attendus, nous devons faire plusieurs détours. Nous envisagerons ainsi successivement : I. 1. Ce qui est vivant et ce qui ne l'est pas ; I. 2. Les théories de la génération à l'âge classique ; I. 3. Le vitalisme.

I. 1. Ce qui est vivant et ce qui ne l'est pas

3. 1. 3.

Traiter du vivant en commençant par les origines de la vie sur Terre, cela paraît naturel. Pourtant, quant à savoir ce qu'est la vie et comment elle a pu apparaître, cela ne nous apprendra pratiquement rien !

Dans le phénomène de la vie sur Terre, deux choses frappent en première approche : l'extrême prolifération des organismes vivants à la surface du globe, quels que soient les milieux. Et, en regard, la difficulté à saisir l'apparition de la vie et même à définir ce dont il est question. A ceci, il faut encore ajouter l'extrême lenteur des choses : on ne sait trop quand la vie est apparue sur Terre mais elle remonte au moins à 2,5 milliards d'années – les découvertes les plus récentes suggèrent 3,95 milliards d'années. Mais, à partir de 2,5 milliards d'années, il faut encore attendre un milliard d'années pour voir apparaître les premiers êtres multicellulaires. C'est là une échelle de temps à laquelle il nous est difficile de penser le déroulement d'un phénomène.

De nos jours, nous concevons que l'apparition de la vie a très bien pu représenter un phénomène unique, historique. Et si, longtemps, on a pu chercher quel principe de vie animait le vivant et avait pu animer une matière encore inerte, nous ne cherchons plus de nos jours qu'une première créature vivante. Pour nous, la vie et le vivant sont une même chose. Toute la vie sur Terre, concevons-nous, est l'histoire de l'organisation singulière d'un ou de quelques êtres et de leur descendance – comme en témoigne l'extrême proximité génétique de tous les vivants actuels : nous avons 60% de gènes communs avec les éponges ; 80% avec les ténias.

En fait d'origines de la vie, ainsi, nous ne pouvons chercher que l'ancêtre du monde vivant actuel et si nous admettons que d'autres formes de vie que celles que nous connaissons étaient sans doute possibles, nous sommes bien incapables de les imaginer, tant la vie représente pour nous un phénomène radicalement singulier.

Le problème est qu'il y a une contradiction manifeste en tout ceci : nous tentons d'expliquer comment un assemblage de matières a pu conduire à la

formation d'un être dont l'organisation, d'emblée, a dû dépasser pourtant le niveau du simple assemblage. Nous nous efforçons de penser la vie comme une matière unique mais non pas spécifique et pensons ainsi une chose et son contraire. Comme pour ne pas avoir à reconnaître notre vitalisme – nous qui, comme jamais auparavant, avons pourtant fait de la vie un phénomène irréductible.

Ci-après, quant à tenter de préciser la frontière entre ce qui est vivant et ce qui ne l'est pas, nous traiterons successivement de deux thèmes : A) Les origines de la vie & B) Les limites de la vie.

A) Les origines de la vie.

3. 1. 4.

Parmi les corps de la nature, certains possèdent la vie et d'autres pas. Mais qu'est-ce que la vie ? Et qu'est-ce qui exactement est vivant et ne l'est point ? Depuis Louis Pasteur, nous sommes convaincus que le vivant ne naît que du vivant. Nous verrons plus loin pourquoi. Pour le présent, notons seulement que c'est là une découverte relativement récente.

Depuis lors, nous percevons la vie comme un phénomène singulier et, par-là même, assez improbable. Un phénomène dont l'apparition sur la Terre, pensons-nous volontiers, aurait très bien pu n'être que tout à fait ponctuelle - une fois, par hasard, un organisme vivant serait apparu - même si nous imaginons qu'un tel événement a pu se reproduire ailleurs.

En invalidant les expériences qui tentaient de prouver la génération spontanée de certains êtres (voir ci-après), Pasteur a définitivement établi que le vivant ne naît que du vivant. La vie doit être transmise. Mais, dès lors, comment a bien pu apparaître la première forme de vie ?

La soupe pré-biotique.

Une théorie avancée par certains biologistes, comme Alexandre Oparine (*L'origine de la vie sur la Terre*, 1938⁴), invite à considérer qu'il existait sans doute lors de la formation de la Terre des conditions différentes de celles que nous connaissons actuellement. Notre globe, en effet, devait être enveloppé d'une atmosphère réductrice, c'est-à-dire sans oxygène.

Car c'est en effet la vie qui a suscité l'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère terrestre et non le contraire. L'oxygène a d'abord pu être produite par l'activité photosynthétique des premiers organismes, les algues bleu-vert (*Cyanophycées*) ou une bactérie du type de *Methyloirabilis oxyfera*, capable d'oxyder le méthane et de produire elle-même l'oxygène nécessaire à cet emploi. On a longtemps admis que l'atmosphère terrestre a été dépourvue d'oxygène libre avant le Protérozoïque, il y a 2,5 milliards d'années, alors que les cyanobactéries existaient déjà depuis au moins 200 millions d'années. Des études récentes invitent cependant à reconnaître la présence de l'oxygène dans l'atmosphère terrestre dès 3 milliards d'années.

De là, on conçoit que la Terre devait être exposée à des éclairs et à des radiations célestes plus fortes que de nos jours - car sans oxygène, la couche d'ozone dans la haute

atmosphère ne pouvait exister non plus. Dans ces conditions, il est loisible d'imaginer que des composés organiques soient apparus dans des lagunes très peu profondes (car les radiations ultraviolettes traversent à peine l'eau de mer) et, compte tenu de l'absence d'oxydation (peu favorable à la survie de molécules complexes), se soient accumulés dans les océans, formant une sorte de "soupe pré-biotique"⁵.

L'expérience de Miller.

Suivant ces indications, Stanley Miller réalisa en 1952 une expérience qui eut un grand retentissement : il exposa un mélange de gaz réduits (vapeur d'eau, hydrogène, ammoniaque, méthane) à une source d'énergie constituée par une étincelle⁶. Il obtint par réaction deux acides aminés parmi les vingt que les cellules utilisent pour fabriquer des protéines. Cette expérience invitait ainsi à considérer que, reproduit à l'échelle d'un océan pendant des millions d'années, le même phénomène aurait pu faire aléatoirement apparaître quelque chose de comparable à une molécule vivante.

Toutefois, les éléments ainsi produits (acide formique) étaient les plus simples parmi les acides carboxyliques (dont les acides aminés forment une sous-classe), l'expérience ne faisant apparaître aucun sucre ni aucun phosphate et donc la possibilité de former des chaînes de nucléotides. Pourtant, on se mit vite à croire le contraire. On soutint même que des molécules encore plus complexes avaient pu ainsi être formées⁷.

En fait, les résultats de l'expérience de Miller restèrent assez indécis. Cette expérience, toutefois, fut poursuivie en usant de différents types de radiations (solaires, ionisantes, etc.) et les principales briques des macromolécules organiques (protéines, acides nucléiques, polysaccharides) purent ainsi être obtenues. Des expériences de laboratoire ont par ailleurs montré que, dans un tel type d'environnement, l'impact de radiations solaires était à même de susciter l'apparition d'adénine, l'une des quatre bases azotées constituant les acides nucléiques.

⁴ trad. fr. Paris, Masson, 1965.

⁵ Voir J. de Rosnay *Les origines de la vie*, Paris, Points Seuil, 1966, notamment p. 145 et sq.

⁶ Voir S. Miller "Formation of organic compounds on the primitive earth" *Science*, 1953. Voir également S. Miller & L. Orgel *The Origin of Life on Earth*, Englewood Cliffs, New York Prentice Hall, 1974. Du méthane a été détecté sur HD 189733b, l'une des 270 planètes extrasolaires repérées depuis 1995.

⁷ Pour une présentation critique de cette expérience ainsi que, plus généralement, des débats liés au thème de l'origine de la vie, voir R. Shapiro *Les origines de la vie*, Paris, Eshel, 1986.

Ceci, toutefois, n'est quand même pas grand chose si l'on considère que la moindre bactérie est composée d'au moins dix mille protéines différentes rigoureusement ordonnées. On est encore très loin d'avoir assisté à la naissance de la vie !

*

Milieus possibles pour la formation de la vie.

La vie pourrait être issue d'une "soupe" de molécules organiques spontanément apparues en un ou plusieurs points des océans et du système solaire.

La sonde Cassini, lancée en 1997 et dont le module Huygens s'est posé sur Titan, l'un des satellites de Saturne, en janvier 2005 n'a pas permis d'en vérifier effectivement la présence. Mais une activité électrique naturelle y a été constatée. De sorte qu'avec Mars, Europe (une lune de Jupiter), Triton (satellite de Neptune) et peut-être Encelade (une autre lune de Saturne, où la présence d'eau souterraine peut être soupçonnée), Titan compte parmi les lieux du système solaire où des traces de vie peuvent a priori être recherchées.

Jusqu'au Silurien (-400 millions d'années), il semble qu'il n'y ait pas eu de vie sur notre planète ailleurs que dans l'eau. Les premiers ancêtres de la flore terrestre, comme le Psilophyton, sont seulement apparus il y a 350 millions d'années.

Comment l'eau pouvait-elle être liquide, cependant, alors que le soleil brillait plus faiblement qu'aujourd'hui ? On a pu supposer que l'atmosphère terrestre était composée à 10% d'hydrogène et de beaucoup plus d'azote qu'aujourd'hui, créant une réaction chimique capable de retenir la chaleur du soleil. Cette piste azotée n'a toutefois pas été vraiment confirmée.

L'idée que la vie sort des océans est ancienne et suit ce qu'enseigne la *Genèse* (1 20-25). Cette idée est chez Leibniz⁸ et surtout dans le *Telliamed* de Benoît de Maillet (1726⁹), qui imaginait déjà en son temps une sorte d'organisation spontanée, dans les eaux et le limon fangeux, de certains composants de la matière vivante¹⁰.

Le *Telliamed* décrit ensuite la transformation des poissons en animaux terrestres (6^e journée). Car toutes les espèces se sont formées dans la mer, affirme Benoît de Maillet. Qui en veut pour preuve que, dans le ventre de leur mère, les fœtus vivent toujours dans l'eau.

⁸ Voir A. O. Lovejoy *The Great Chain of Being: A Study of the History of an Idea*, 1936, Cambridge Mass., Harvard University Press, 1971, p. 256.

⁹ Paris, Corpus Fayard, 1984.

¹⁰ Voir M. Benitez « Benoît de Maillet et l'origine de la vie dans la mer : conjecture amusante ou hypothèse

C'est là une idée fausse qui a la vie dure : on la retrouve encore exposée dans un film comme *Abyss* (1989). Rappelons donc que le fœtus peut vivre immergé dans le liquide amniotique non parce que, comme un poisson, il serait capable d'y respirer mais parce que la mère assure son oxygénation.

Néanmoins, on peut bien entendu imaginer d'autres milieux pour faire apparaître la vie. Les poussières argileuses humides à la surface des pierres sont un lieu bien plus prometteur que la soupe pré-biotique, assure ainsi un auteur¹¹. Excellents catalyseurs, les minéraux argileux pouvaient favoriser la polymérisation des molécules organiques adsorbées à la surface de particules d'argile provenant de l'altération des roches¹². Les êtres vivants, dès lors, seraient enfants du limon...

Les thermophiles.

Dans les années 80, on a découvert toute une vie microbienne et même une faune - tel le ver *Riftia pachyptila* qui se nourrit d'hydrogène sulfuré - dans les sources hydrothermales sous-marines. Des bactéries ont également été trouvées à de grandes profondeurs dans la croûte terrestre. Au fond de la mer Noire, dans un environnement dépourvu d'oxygène, on a découvert des organismes formant des récifs et ne se nourrissant que de méthane. En 2010, on a découvert trois espèces animales (locifères) peuplant des fonds méditerranéens privés d'oxygène. Dans la grotte de Movile en Roumanie ou dans le lac Vostok situé sous la calotte glaciaire antarctique, une flore et une faune se sont adaptées à des milieux totalement clos.

Force est donc de reconnaître que la vie est possible sans énergie solaire. Qu'elle peut supporter des températures extrêmes (jusqu'à 113° C), ainsi que de fortes pressions (comme ces organismes "barophiles" trouvés à 10 898 mètres de profondeur dans la Fosse des Mariannes).

On a dès lors conçu que les premiers organismes ont pu se développer là, à l'abri des rayonnements délétères. Les premières formes de vie, ainsi, auraient été thermophiles. Cette hypothèse, a-t-on toutefois souligné, ne cadre pas avec celle, pourtant raisonnable, selon laquelle la formation de l'ARN a précédé celle de l'ADN. Car le premier, à la différence du second, n'est pas adapté pour survivre à des chaleurs supérieures à 80° C¹³.

scientifique ? » *Revue de synthèse* n° 113-114, janvier-juin 1984, pp. 37-54.

¹¹ Voir A. Danchin *Une aurore de pierre*, Paris, Seuil, 1990.

¹² Voir J. D. Bernal *The Origin of Life*, London, Weidenfeld & Nicolson, 1967, ainsi que A. G. Cairns-Smith *L'énigme de la vie*, 1985, trad. fr. Paris, O. Jacob, 1990.

¹³ Voir P. Forterre « Les hyperthermophiles sont-ils nos ancêtres ? » *La Recherche* n°317, février 1999, pp. 36-43.

Et quant à l'ADN, il ne supporte lui-même de telles températures que grâce à l'action d'un enzyme, la gyrase inverse, qui n'est propre qu'aux thermophiles. De sorte que ces êtres paraissent n'avoir rien de premier mais être plutôt le fruit d'une longue adaptation¹⁴.

*

Le *Telliamed* imaginait que les espèces se sont formées dans l'eau mais non que la vie y est née. Celle-ci, pour Benoît de Maillet, avait dû être apportée par quelques germes volant dans les espaces cosmiques. L'alternative la plus fréquemment proposée à l'origine océanique de la vie sur Terre, en effet, est l'hypothèse dite de la "panspermie", qui la croit tombée du ciel et notamment, de nos jours, apportée par des météorites¹⁵.

3. 1. 5.

La vie venue de l'espace.

La théorie de la panspermie, défendue notamment par Lord Kelvin, veut que la vie soit née sur d'autres planètes et ses germes apportés sur la Terre. De nos jours, on imagine plutôt que les matières organiques seules, synthétisées dans l'espace, sont tombées sur notre globe.

Dès la seconde moitié du XIX^e siècle (en France notamment, en mai 1864), on découvrit en effet des éléments carbonés dans certaines météorites, les chondrites carbonées et plusieurs auteurs, comme Hermann von Helmholtz, soutinrent qu'avec elles une pluie de vie s'était abattue sur la Terre.

Sachant qu'on explique volontiers de nos jours la formation de la Terre elle-même par l'accrétion de météorites particulières, les chondrites à enstatite. On conçoit également que, vers la fin de cette période d'accrétion, des chutes de comètes ont pu provoquer la formation de l'atmosphère et des océans.

Mais d'où pouvaient venir de telles météorites ? Le fait est que les éléments organiques présents en elles - la météorite Murchison a livré ainsi huit acides aminés - n'ont guère pu s'y former, du fait de l'absence de tout catalyseur. Leur assemblage a donc dû avoir lieu, d'une façon ou d'une autre, soit sur Terre, sous l'effet de leur collision selon certains scénarios, soit à l'échelle interstellaire et les météorites en porteraient simplement la trace. Pour certains, c'est là un sérieux indice du fait que la chimie cosmique évolue

¹⁴ N. Lane défend l'idée d'une formation des premières cellules dans les alvéoles de cheminées hydrothermales situées à proximité de la dorsale médio-atlantique (*The Vital Question: why is life the way it is*, Profile, 2015).

¹⁵ Voir notamment S. Arrhenius *L'évolution des mondes*, 1903, trad. fr. Paris, Béranger, 1910.

d'elle-même vers la biochimie. La vie, ainsi inscrite dans la matière céleste, pourrait donc être fort commune dans l'univers. Le physicien Fred Hoyle, - célèbre pour s'être opposé à l'hypothèse du Big Bang, dont il a par ailleurs trouvé le nom (voir 1. 11. 11.) - s'est fait le défenseur, parmi d'autres, d'une telle idée (avec C. Wickramasinghe *Le nuage de la vie. Les origines de la vie dans l'univers*, 1978¹⁶).

Hoyle va jusqu'à affirmer que les briques essentielles du vivant (polysaccharides, cycles azotés, etc.) existent en très grande quantité dans l'univers - affirmation quelque peu hasardeuse en l'état actuel de nos connaissances. A ce stade, une petite centaine de molécules relevant de la chimie organique ont semble-t-il été identifiées dans le milieu interstellaire. Hoyle en vient néanmoins à concevoir que toute vie a pour origine première les coulées de matière gazeuse provenant de la surface des étoiles dont les météorites, elles-mêmes, sont issues. *La vie serait donc presque aussi vieille et aussi commune que la matière.*

Un nuage vivant.

Bien entendu, chacun de ces points peut être discuté. Néanmoins, l'intérêt de la conception de Hoyle - plus visionnaire que scientifique, il faut le souligner mais fort impressionnante - est ailleurs. Pour lui, la vie sur la Terre n'est qu'un avatar ; le rejeton d'une vie cosmique qui a dû emprunter bien d'autres voies pour se développer. Produisant au passage et sans trop s'en préoccuper, des formes vivantes comme celles qui peuplent la Terre.

On peut donc imaginer qu'il existe dans l'univers des formes de vie bien différentes et bien plus évoluées que les nôtres et même, de façon générale, que toutes les formes de vie pouvant apparaître sur des planètes.

Les effets de la pesanteur limitent en effet la dimension des animaux vivant à la surface d'un corps solide et donc leur activité neurologique. Le moindre mouvement y suppose une importante structure musculaire et osseuse, au détriment du développement du cerveau. De plus, sur une planète comme la Terre, la vie souffre d'une absence de nourritures chimiques de base. La lumière solaire, en effet, ne pénètre que faiblement l'atmosphère. D'où une lutte pour la vie dans laquelle il est difficile aux premières lueurs d'intelligence de prendre le dessus sur le muscle. Cette intuition d'une vie cosmique

¹⁶ trad. fr. Paris, A. Michel, 1980. Le biologiste Francis Crick a défendu de semblables idées (*Life Itself, Its Origin and Nature*, New York, Simon & Schuster, 1981). Voir E. Mendelsohn « The origin of life and the materialism problem » *Revue de métaphysique et de morale* n°1, 1985, pp. 15-28, où l'on trouvera beaucoup

organisée, Hoyle l'a exprimée dans un superbe roman de science-fiction, qui est aussi une suggestive réflexion sur ce que pourrait être une "autre" forme de vie (*Le nuage noir*, 1968¹⁷).

Dans le même registre, *Solaris* (1961¹⁸) de Stanislas Lem fournit également une réflexion fort intéressante. Voir également la nouvelle de Natsuki Ikezawa *L'homme qui revient*¹⁹.

Un jour, les astronomes s'aperçoivent avec horreur qu'un nuage de gaz interstellaire va faire irruption dans le système solaire et que cela entraînera rapidement la fin de toute vie terrestre. Déjà, son approche bouleverse les équilibres électromagnétiques et écologiques. Pourtant, on découvre bientôt que le nuage n'obéit pas rigoureusement aux lois de la mécanique céleste. Il faut donc le qualifier de "vivant". C'est le seul terme dont nous disposons en effet pour qualifier un être dont l'organisation et le comportement sont "compliqués". Les savants pourront donc tenter d'entrer en contact avec cette forme de vie et, de là, il faut lire quels caractères Hoyle prête à son nuage et comment il imagine possible d'entrer en communication avec lui.

*

Le caractère indécis de ces spéculations.

Comme cela était déjà le cas pour Platon, certaines questions, de nos jours, ne peuvent guère être décidées que sous la forme du mythe. Telle est en particulier l'origine de la vie.

Force est de constater, en effet, que les explications que nous venons de présenter sont bien plus suggestives que vraisemblables et comptent volontiers sur leur force de suggestion pour masquer les multiples incertitudes qui leur restent attachées²⁰.

Car c'est une chose en effet que de discuter les résultats d'expériences comme celle de S. Miller, ou le caractère plus ou moins "prometteur" des éléments carbonés trouvés dans les météorites. Le fait est, cependant, que *nous n'avons guère d'idée précise quant au passage de l'organique au vivant, parce que nous ne savons pas définir précisément ce qui est vivant*. Dès lors, bien des extrapolations sont possibles. Nous imaginons ainsi que

d'autres illustrations du thème de l'origine de la vie.

¹⁷ trad. fr. Paris, Ed. de l'Evolution, 2014.

¹⁸ trad. fr. Paris, Denoël, 1966.

¹⁹ in *La vie immobile*, 1987, trad. fr. Paris, Picquier, 2007.

²⁰ Voir le stimulant petit livre de J. Carles (*Les origines de la vie*, Paris, QJ PUF, 1966) sur les objections pratiques que soulève notamment l'idée que la vie aurait été apportée par des météorites (chap. V).

d'autres formes de vie extra-terrestre pourraient exister²¹ et nous avons même entrepris de nous mettre à l'écoute des signaux radio que d'autres êtres intelligents pourraient émettre, quelque part dans l'univers²².

Cependant, nous ne sommes guère capables de penser cette altérité - nous ne savons pas dire ce qu'est la vie, donc ce qu'elle exige *a minima*. Et s'il s'agit de savoir si une planète comme Mars a pu un jour l'abriter, force est finalement de se demander si les conditions terrestres primitives y étaient réunies.

De la vie sur Mars ?

Dès le début du XX^e siècle, on décela la présence d'une atmosphère sur Mars, ainsi que des calottes glaciaires dont la taille varie au gré des saisons. La surface de la planète elle-même change au cours de l'année, suggérant la présence d'une végétation (il s'agit en fait de tempêtes itinérantes).

Plus tard, les sondes *Mariner* (1960) et *Viking* (1970) révélèrent effectivement l'existence d'une atmosphère très ténue (0,6% de la pression de l'atmosphère terrestre), froide (-50° C en moyenne) et composée à 95% de gaz carbonique. Pression et température sont ainsi trop faibles pour qu'il puisse y avoir de l'eau liquide à la surface de Mars. Mais on pense qu'il pourrait en exister en profondeur. De plus, des vallées fluviales paraissent attester sa présence sans doute il y a entre 4,5 et 3 milliards d'années. Dès lors, pour l'apparition de la vie, les conditions devaient être très semblables sur Mars à celles qui prévalaient sur la Terre : eau, bombardement de météorites, argiles pouvant servir de catalyseur.

Or, sur Terre, les premiers fossiles, ceux de bactéries, que l'on trouve dans des sédiments silicifiés en Australie ou au Groenland, pourraient précisément remonter à 3,5 milliards d'années et l'on a pu penser tenir la preuve que la vie existait déjà il y a 3,8 milliards d'années ; soit seulement 1,5 milliards d'années après la formation du globe, alors que cessait le grand bombardement météoritique ayant marqué la formation du système solaire.

Cela se traduit en effet par une discrimination entre les restes d'hydrate de carbone emprisonnés dans les roches. Pour la photosynthèse, les organismes vivants utilisent de préférence le premier des deux isotopes stables du carbone (C₁₂ & C₁₃), plus léger et plus facilement métabolisable. Ainsi, une roche sédimentaire contenant

²¹ Voir le bestiaire extra-terrestre de Roy Gallant *Atlas of our Universe*, The National Geographic Society, 1986.

²² Sur ces recherches et notamment sur le programme SETI, voir J. Heidmann *La vie dans l'univers*, Paris, Hachette, 1990.

plus de C₁₂ que de C₁₃ témoigne a priori d'une activité vitale (elle présente une bio-signature). Mais cela peut être contesté, la mesure isotopique du carbone 13 s'étant révélée bien plus fragile que prévue. Toutes ces découvertes font au total l'objet de nombreux débats très compliqués²³. A ce stade, il paraît difficile d'affirmer avec certitude que nous détenons des traces de vie plus vieilles que 2,5 milliards d'années. Pour autant, il semble que dès 4,4 milliards d'années, la Terre s'était refroidie et abritait des océans. Et l'analyse isotopique d'un graphite découvert au nord du Labrador suggère qu'il a été produit par des organismes marins autotrophiques, c'est-à-dire capables de produire leur propre nourriture.

Dans l'espoir d'y découvrir quelque trace de vie, on s'est donc mis à scruter très précisément les météorites martiennes tombées sur la Terre et qui pourraient avoir été éjectées de notre voisine vers cette époque.

La plupart des météorites qui frappent la Terre viennent de la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter. Mais on pense également que certaines sont en fait des blocs détachés de Mars ou de la Lune par l'impact d'un gros astéroïde à leur surface.

En 1996, une équipe de la NASA annonça avoir trouvé dans l'une d'elles des bactéries fossiles datées de 3,9 milliards d'années. Toutefois, d'autres études menées sur la même météorite ALH 84 001 donnèrent des résultats contraires. Le fait est que les sondes qui ont pu depuis fouler le sol de la planète rouge y ont révélé l'absence totale de matière carbonée et la présence, en revanche, de peroxydes très délétères (car très oxydants) pour toute forme de vie telle que nous en connaissons. Au-delà, tout n'est encore qu'extrapolation.

*

Une contradiction massive dans les discours sur la naissance de la vie.

La pensée de l'origine de la vie se heurte à un véritable dilemme. Faute d'une alternative sérieuse, en effet, il faut bien inscrire la vie dans l'ordre de la matière. Cependant, si l'apparition de la vie suivait simplement les lois de cette dernière, si la matière était "grosse" de la vie, le phénomène de son apparition devrait être fort commun. Or, compte tenu des conditions qui paraissent nécessaires à son apparition - c'est-à-dire compte tenu de la complexité de la moindre chaîne d'acides nucléiques - l'émergence de la vie semble au contraire très improbable, limitée par ailleurs à des conditions particulières, telles celles des premiers temps de notre globe – car on explique volontiers qu'en se

²³ Voir la présentation de S. Simpson « Premières traces de vie » *Pour la Science* n° 308, juin 2003, pp. 80-86.

développant, la vie a détruit les conditions de sa propre apparition, de sorte que le phénomène ne peut plus être observé de nos jours.

Autant dire que nous soutenons une chose et son contraire ! Autant reconnaître que la vie est toujours pour nous une réalité tout à fait particulière. *Car il y a bien quelque paradoxe à soutenir que la vie n'est qu'un mode particulier d'organisation de la matière mais que sa très aléatoire apparition n'a sans doute eu lieu qu'une seule fois.*

La question, en effet, n'est pas de savoir si un immense hasard aura permis l'apparition de la vie à partir des seules lois de la matière mais plutôt de savoir si la vie doit être considérée comme un phénomène exceptionnel ou non. Et sans doute une telle question n'est-elle que le pendant de notre ignorance quant à ce qui fait le vivant, dont témoigne notre impossibilité à le réduire véritablement à ce qui n'est pas lui. Nous ne savons que décrire ce qui vit tel qu'il est et force nous est dès lors, si nous le rapportons à la matière, de constater que, par sa complexité, son organisation n'en dérive que très improbablement.

Par comparaison, la vie, avant Pasteur, était bien plus foisonnante que de nos jours. On pensait que son apparition pouvait être spontanée. C'est encore ce qu'enseignait Georges Cuvier en 1830. La vie était partout. De fait, la frontière entre l'inorganique et le biologique était elle-même à peine tracée.

* *

B) Aux limites de la vie.

3. 1. 6.

Naissance de la biologie.

Le mot "biologie" n'apparaît en français qu'en 1802, sous la plume de Lamarck, ainsi que simultanément en Allemagne avec Gotfried-Reinhold Treviranus dans sa *Biologie oder Philosophie der Lebenden*, 1802-1822²⁴. *C'est seulement à ce moment-là que l'on a réuni les animaux et les végétaux dans l'ordre du vivant pour distinguer nettement celui-ci de l'inorganique.*

En 1801, Lamarck ébaucha un ouvrage intitulé *Biologie*, qui ne vit jamais le jour. En 1802, il emploie le terme dans son *Hydrogéologie* et dans ses *Recherches sur l'organisation des corps vivants*²⁵. En

²⁴ Göttingen, Sechs Bänder, 1802.

²⁵ Paris, Corpus Fayard, 1986. Voir M. Klein "Sur l'origine du vocable "Biologie" in *Regards d'un biologiste*, Paris, Hermann, 1980.

fait, un certain August Roose avait forgé le terme dès 1798 (*Grundzüge der Lehre von der Lebenskraft* "Fondements de la doctrine de la force vitale"²⁶). On cite également Michael Christph Hanov.

Mais nous-mêmes, aujourd'hui, sommes nous tellement assurés du sens et de la limite qui sépare ce qui est vivant de ce qui ne l'est pas ?

Des créatures informatiques peuvent-elles être considérées comme vivantes ?

On se souvient peut-être de ce programme informatique *Créatures*, devenu un jeu dans les années 90 : le monde d'Albia qui abrite les *norn*, petits êtres virtuels dont la programmation tente de reproduire les structures de base du vivant²⁷. Les *norn* avaient une durée de vie d'environ douze heures d'exécution de programme. Ils naissaient d'un oeuf, se développaient et devenaient plus intelligents en fonction de l'expérience. On pouvait s'occuper d'eux, leur apprendre des choses et quelques mots ; les protéger contre des bactéries et contre les *grendels*, leurs ennemis.

Informatiquement, il s'agissait d'une programmation définissant des « réseaux de neurones » (voir 3. 3. 17.) pour le cerveau des *norn*. La vie future des créatures, ainsi, n'avait pas été programmée séquentiellement une fois pour toutes mais résultait des possibilités de combinaison offertes par les méthodes qu'héritent les objets. Sachant que dans la reproduction des *norn* entre eux une part avait été laissée - comme dans la vie - aux mutations aléatoires des programmes, ainsi qu'à la recombinaison génétique des patrimoines issus des deux parents. Ceci, plus les capacités d'apprentissage données aux *norns*, devait faire que ceux-ci développent *spontanément* des comportements organisés qui n'étaient nullement prévus, ainsi qu'un langage rudimentaire pouvant se transmettre de génération en génération.

Aurions-nous pu ainsi voir apparaître une culture albaine ? L'hérédité de certains groupes aurait-elle pu se différencier à ce point qu'ils ne puissent plus se reproduire entre eux, ce qui serait revenu à assister à l'apparition d'espèces nouvelles ? Bref, devons-nous un jour considérer les *norn* - ou toute autre créature virtuelle dont on peut imaginer que l'avenir saura rendre la nature encore bien plus sophistiquée - comme *vivants* ?²⁸

²⁶ Nous n'avons pu consulter cette référence.

²⁷ Voir C. Pöppe « Créatures » *Pour la science*, n°232, février 1997, pp. 100-104 & du créateur du jeu S. Grand *Creation: Life and how to make it*, Harvard University Press, 2000.

²⁸ Voir P. Quéau *La planète des esprits*, Paris, O. Jacob, 2000. Les virus informatiques sont rapprochés d'une vie artificielle in I. Rieusset-Lemarié *La société des clones à l'ère de la reproduction multimédia*, Paris, Actes Sud, 1999.

Pourquoi non ? Parce qu'ils n'ont d'existence que numérique ? Mais beaucoup de vivants disposent d'un milieu beaucoup plus étroit que le Web ! Déjà, les enfants s'y laissent prendre et ont pu s'attacher un temps aux *Tamagotchis*, ces petits chiens électroniques que l'on nourrit et soigne. Mal traités, ils meurent. Bien nourris, ils se reproduisent. Au Japon, on vit apparaître des "cimetières" pour ces créatures. On rapporte qu'en Israël, les rabbins autorisèrent à les nourrir les jours de sabbat, comme les autres animaux...

Face à de telles créatures et pour leur dénier le titre de "vivants", nous ne pouvons que répéter la vieille définition d'Aristote, pourtant inacceptable aux yeux de la science moderne en ce qu'elle suppose un "principe vital" : sont vivants les êtres qui possèdent *par eux-mêmes* le principe de leur mouvement.

Il faut donc se garder de considérer avec condescendance les conceptions passées qui ne différenciaient pas nettement le vivant du minéral. Nous venons de le voir avec les expériences de Stanley Miller, nous n'avons nullement renoncé nous-mêmes à trouver le "chaînon manquant" entre chimie organique et chimie minérale.

*

Le thème de la grande chaîne des êtres.

Jusqu'à l'âge classique, l'idée d'une grande chaîne des êtres - soit la hiérarchisation sans faille des êtres, fondée sur leur degré de complexité, c'est-à-dire sur leur plus ou moins grande ressemblance avec l'homme, lui-même placé en dessous des anges et archanges - amenait à supposer que la distinction entre minéraux et plantes n'était nullement tranchée²⁹. Qu'entre eux devait exister une forme de vie intermédiaire, un chaînon manquant qu'on finirait par trouver. C'est ce qu'affirmaient, par exemple, Charles Bonnet (*Contemplation de la nature*, 1781, III, chap. V & VIII ; chap. XVIII³⁰) ou Jean-Baptiste Robinet (*Considérations philosophiques sur la gradation naturelle des formes de l'être*, 1768³¹).

Connue à travers Aristote (*Histoire des animaux*, VIII, 588b³²), cette grande chaîne des êtres était une très vieille idée : Alcméon de Crotone (vers 460 av. JC) passe pour avoir été le premier à définir une échelle graduée allant des animaux les plus simples jusqu'aux dieux. Car il convient en effet de noter que,

²⁹ Voir A. O. Lovejoy *op. cit.*

³⁰ Paris, INALF, 1961.

³¹ Paris, Saillant, 1768.

³² trad. fr. en 3 volumes, Paris, Les Belles Lettres, 1964-1969.

jusqu'au XVIII^e siècle, l'idée d'une chaîne des êtres conduisit à assurer l'existence d'un grand nombre de créatures prolongeant l'homme "par le haut", telles que les anges et les démons³³.

Signalons également qu'historien de cette idée, Arthur Lovejoy voit en Leibniz son meilleur représentant à l'âge classique (*The great chain of being*, V). Leibniz reste pourtant circonspect à son égard. Il y a des êtres intelligents au-dessus de nous peut-être, écrit-il (*Nouveaux Essais sur l'entendement humain*, posthume 1745, IV, chap. III³⁴). Mais ne voyant rien sur Terre qui nous surpasse, force est cependant de reconnaître que nous tenons le premier rang (IV, chap. XVII).

Plus qu'à l'âge classique, le thème de la grande chaîne des êtres sera surtout mobilisé par les théories transformistes des Lumières. Zola rêvera encore d'un poème sur la chaîne des êtres, dont il n'écrit que les huit premiers vers (*Lettre à Baille* du 15 juin 1860).

A la recherche de la première forme de vie.

Cette recherche d'un chaînon manquant entre la matière et la vie ne disparaîtra pas de si tôt. De nos jours, certains spéculent sur la nature de la première forme de vie, LUCA (pour "*Last Universal Common Ancestor*"), qu'on imagine avoir ressemblé aux bactéries actuelles, ainsi qu'aux archéobactéries, un type d'unicellulaires procaryotes mis en évidence en 1977³⁵.

C'est à un phénomène de paternité unique que l'on pense devoir attribuer en effet l'universalité du code génétique chez tous les vivants et le recours aux mêmes composants organiques en nombre limités – les protéines notamment, formées d'une vingtaine d'acides aminés.

Au XIX^e siècle, Ernst Haeckel cherchait un vivant tellement simple qu'il se distinguerait à peine de la matière. Il l'imaginait à la façon d'une amibe sans noyau, soit comme une pure gelée protoplasmique, une matière sans structure. Un petit grumeau mucilagineux composé d'une substance protéique, "albuminoïde", qu'il imaginait proche des monères (*Histoire de la création des êtres organisés d'après les lois naturelles*, 1868, 13^e Leçon³⁶). Or, le naturaliste Thomas Huxley découvrit dans des échantillons de boue prélevés par 4 000 à 8 000 mètres de fond dans l'Atlantique Nord une forme d'être ressemblant assez bien à ce que décrivait Haeckel, qui fut nommée *Bathybius haeckelii* pour la circonstance et se révéla assez vite n'être pourtant qu'un simple précipité gélatineux de sulfate de chaux. En 1872, en effet, l'expédition du H. M. S. Challenger, chargée de confirmer son existence, rentra bredouille et l'on s'aperçut que le *Bathybius*

³³ Voir J. Ehrard *L'idée de nature en France dans la première moitié du XVIII^e siècle*, Paris, Sevpén, 1963, chap. IV, p. 115.

³⁴ Paris, GF Flammarion, 1966.

³⁵ Voir C. Woese « Les Archaeobactéries » *Pour la science* n°46, août 1981.

apparaissait en fait simplement lorsque de l'alcool était ajouté dans les bocaux d'échantillons de vase sous-marine. Huxley reconnut son erreur avec une grande honnêteté intellectuelle mais Haeckel continua à croire au Bathybius. En 1871, Richard Greeff disait avoir découvert un Bathybius d'eau douce, le Pelobius. Et, en 1874, Emil Bessels, parlait d'un Bathybius encore plus primordial, découvert au pôle, le Protobathybius³⁷.

Pourquoi recherchait-on particulièrement une substance gélatineuse ? Parce qu'on recherchait une substance proche de la fibrine, composant les nerfs et passant pour être à la source de la sensibilité et ainsi donc de la vie. En 1805, Lorenz Oken avait décrit, sous le terme d'*Urschleim*, une gelée primitive (toute théorique) représentant un stade primordial du vivant. Le dernier degré de simplicité que puisse offrir un organisme isolé est celui d'une masse granuleuse, sans forme dominante, dira encore Claude Bernard.

La pensée matérialiste et principalement marxiste n'interrompra pas facilement sa quête d'intermédiaires entre la matière et le vivant. Friedrich Engels refusera l'idée selon laquelle toute cellule ne peut provenir que d'une autre cellule. Idée qui sera contestée par les marxistes jusque dans les années 40 (et bien au-delà en URSS)³⁸. Pour Engels, il existe des organismes inférieurs à la cellule, comme la protamibe, simple grumeau d'albumine sans différenciation, comme les monères ou les syphonnés. La vie, en d'autres termes, peut être réduite à la simple existence de corps albuminoïdes, c'est-à-dire aux substances protéiques, affirmait Engels. De sorte que, selon lui, si l'on parvenait à synthétiser de l'albumine, celle-ci manifesterait des phénomènes vitaux. On aurait créé de la vie (*Anti-Dühring*, 1878, chap. VIII³⁹).

Par la suite, beaucoup d'auteurs marxistes ont considéré que les virus possédaient un statut d'intermédiaires et certains ont même soutenu que le passage entre l'inorganique et le vivant est si naturel que la biogenèse de formes vivantes doit toujours se poursuivre par endroits⁴⁰.

Nous l'avons souligné, si la vie ne fait que suivre l'organisation de la matière, sa naissance devrait logiquement correspondre à un phénomène commun. Sauf à considérer, comme on le fait de nos jours, qu'il y faut des conditions qui ne sont plus remplies sur la Terre. Mais, quoi qu'il en soit, phénomènes matériels, les mécanismes à l'œuvre dans la formation et le développement des êtres vivants ne devraient pas être exclusifs mais

³⁶ trad. fr. Paris, Reinwald, 1877.

³⁷ Voir P. F. Rehbock « Huxley, Haeckel, and the oceanographers: the case of Bathybius haeckelli » *Isis*, 66, n° 4, 1975.

³⁸ Voir G. Canguilhem *La théorie cellulaire* in *La connaissance de la vie*, Paris, Vrin, 1985.

³⁹ trad. fr. Paris, Ed. sociales, 1963.

⁴⁰ Voir M. Prenant *Biologie et marxisme*, Paris, Ed. Hier et Aujourd'hui, 1948.

communs à d'autres éléments, comme les minéraux – comme on le crut d'ailleurs longtemps.

*

3. 1. 7.

Quand les cristaux passaient pour vivants.

De toute antiquité, on avait été frappé par la croissance des cristaux. On pensait très communément que les pierres "poussaient", comme les plantes et repoussaient dans les carrières, ainsi que dans les champs d'où on les extrayait. Elles poussaient, donc les pierres étaient vivantes.

Mines et cavernes - et cela explique peut-être en partie pourquoi ces dernières furent le lieu de rituels dès la préhistoire - représentaient la matrice de la Terre-Mère. Tout ce qui y "poussait", comme les minerais, passait donc pour y être en gestation⁴¹.

Alors que certains purent rêver de faire pousser de l'or, l'idée demeura commune jusqu'au milieu du XVIII^e siècle que les veines de minerai croissent au sein de la terre. Pour Réaumur, l'eau infiltrant les sols transportait un suc pierreux ou lapidifique provoquant la formation des pierres (*Sur la nature et la formation des cailloux*, 1721⁴²). Ainsi fallut-il attendre Jean-Baptiste Romé de Lille (1736-1790) et surtout l'abbé René-Just Haüy (1743-1822) pour en arriver à une définition purement minérale du cristal. Jusque-là, les cristaux passaient pour être vivants. Jean-Baptiste Robinet, avec beaucoup d'autres auteurs, parlait par exemple de nutrition et de génération à propos des minéraux (*De la nature*, 1761⁴³) et pour le botaniste Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708) les pierres se reproduisaient, comme les plantes, par graines⁴⁴. Dans un *Essai sur la nature des acides* (vers 1690), Newton se demandait si l'on pourrait amener l'or, l'étain et les autres corps à fermenter et à se putréfier⁴⁵.

Les comparaisons avec les processus de la vie émaillent encore la prose de Haüy ("croissance" des cristaux, développement d'un "embryon"⁴⁶), qui se refuse par ailleurs à réduire tout à fait la cristallographie à la chimie (*Traité de cristallographie*, 1822⁴⁷).

⁴¹ Voir M. Eliade *Forgerons et alchimistes*, Paris, Flammarion, 1956, p. 42 et sq. Voir également G. Bachelard *La Terre et les rêveries de la volonté*, Paris, Corti, 1947, p. 213 et sq.

⁴² Cité in C. Simonnet *Le béton. Histoire d'un matériau*, Marseille, Parenthèses, 2005, p. 12.

⁴³ Amsterdam, chez Van Harreveld, 1761.

⁴⁴ Voir particulièrement H. Metzger *La genèse de la science des cristaux*, Paris, Blanchard, 1969, Section II.

⁴⁵ Cité par S. Toulmin *L'explication scientifique*, 1961, trad. fr. Paris, A. Colin, 1973, pp. 73-74.

⁴⁶ Voir M. Blondel-Mégrelis « Le modèle et la théorie : analyse d'un exemple la cristallographie de Haüy » *Revue philosophique* n°3, 1981, pp. 283-302.

⁴⁷ Paris, Bachelier & Huzard, 1822. Voir N. Hulin « R-J. Haüy : Des leçons de l'an III au Traité élémentaire de physique » *Revue d'histoire des sciences* T. 50, 3, juillet-septembre 1997, pp. 243-264.

Le cristal se forme à partir d'un fluide (bain de fusion, vapeur) à l'occasion d'une baisse de température ou d'une évaporation du solvant. Les atomes se rassemblent et l'on voit "pousser" un édifice cristallin. Cette croissance, néanmoins a lieu par juxtaposition, accréation et non par intussusception (du latin *intus* "dedans" et *susceptio* "action de prendre sur soi"), comme celle des vivants. Cette distinction semble relever du bon sens. Elle ne fut pourtant pas formellement énoncée avant Haüy.

Le cristal se forme "par accident", disait Haüy (*Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées*, 1784⁴⁸). Tout cristal est un assemblage de petits polyèdres égaux (de "molécules intégrantes" dans la terminologie de Haüy), dont la forme est fournie par des plans de clivage ("joints"). Sa croissance, ainsi, s'organise autour de défauts (ou "dislocations vis") de son volume ; véritables lignes le long desquelles la périodicité du cristal est perturbée et autour desquelles les plans atomiques sont gauchis, formant une sorte de rampe hélicoïdale. Le cristal se construit donc comme un escalier en colimaçon autour d'une dislocation.

Cette dichotomie des modes de croissance, qui marque la séparation entre le minéral et le vivant n'est toutefois pas sans ménager quelques formes, sinon intermédiaires, au moins ambiguës ; des formes organiques susceptibles de cristalliser. Ainsi du diamant, qui est un cristal de carbone (Lavoisier put l'établir dès 1772), de charbon sans doute, lequel provient de la décomposition de formes végétales.

Les virus, également, cristallisent. Il s'agit là de très étranges êtres : quasi minéraux à l'état libre et vivants lorsqu'ils colonisent d'autres vivants - des cellules en l'occurrence - qu'ils font travailler à leur profit.

Les virus

Leur découverte.

Les virus sont des composés organiques non-cellulaires plus ou moins complexes dont la taille, pour la plupart, est inférieure au quart de la longueur d'onde de la lumière visible ; ce qui explique que beaucoup de temps s'écoula avant qu'on puisse les détecter.

En 1878, Pasteur émit l'hypothèse que les maladies contagieuses sont dues à des microbes (voir 3. 3. 26.) et définit ces microbes comme uniquement visibles au microscope, leur taille, de l'ordre du micromètre, permettant de les retenir cependant sur les filtres de porcelaine, conçus par son assistant Charles Chamberland pour désinfecter l'eau.

Toutefois, en 1892, le botaniste Dimitri Ivanovsky montra qu'une maladie des plants de tabac, la « mosaïque du tabac », continuait à être transmise malgré la filtration d'un broyat de feuilles malades. Il fallait donc supposer un organisme infectieux si petit qu'il échappe au

microscope et traverse même les filtres dont les pores sont pourtant assez fins pour retenir les bactéries. Une telle hypothèse ne fut pas acceptée sans mal et l'on nomma les organismes de ce type « virus » (« poison » en grec) pour les distinguer des microbes.

Leur nature.

Les virus entraînent une atteinte profonde des cellules qu'ils infectent soit en modifiant leur comportement, soit en y produisant des lésions létales. On ne sait trop s'il faut les qualifier de vivants ou non. Ils se réduisent, pour l'essentiel, à une nucléoprotéine formée à partir d'un acide nucléique (ADN ou ARN) et protégée par une capsid même si certains ont une structure plus simple⁴⁹ ou plus complexe : noyau, protoplasme (viroplasma), enveloppe analogue à une membrane. En 1992, fut découvert le plus grand virus connu, Mimivirus, dont l'ADN est deux fois gros comme celui de n'importe quelle bactérie, nous allons y revenir.

Les virus peuvent se reproduire par duplication mais ne disposent pas de l'appareillage enzymatique nécessaire à cet effet, qu'ils doivent emprunter aux cellules qu'ils colonisent. Ce sont donc toujours les cellules qui s'infectent elles-mêmes, quoique les virus - et ce fait plaide pour leur statut de vivants - se reproduisent bien eux-mêmes, aux dépens de leurs hôtes. Pour décrire cette réalité, certains parlent de « cellule virale »⁵⁰. Cela, qui fait d'eux les plus redoutables ennemis des organismes vivants, peut cependant être désormais utilisé en faveur de ces derniers dans le cadre des thérapies géniques (voir 3. 1. 26.).

Sous leurs formes les plus simples, les virus se réduisent ainsi à de purs acides nucléiques auxquels on peut faire prendre une forme cristalline sans rien leur ôter de leur pouvoir infectant (la plupart des virus, cependant, ne cristallisent pas au sens strict. Ce sont des paracristaux). Le virus de la mosaïque du tabac fut le premier à être observé sous une forme cristalline par Wendell Stanley en 1935. Ce fut à l'époque un événement largement commenté par la grande presse. On crut que la distinction entre le minéral et le vivant venait d'être abolie. En 1956, on réussit à faire cristalliser le premier virus animal.

Pourtant, même s'ils peuvent être réduits à une forme minérale, les virus possèdent en puissance un pouvoir autoreproducteur qui peut les faire passer pour vivants ; comme s'ils représentaient la vie limitée à sa principale fonction : la continuité génétique⁵¹. Ils correspondent sans doute à une forme dégénérée d'organismes cellulaires et peut-être sont-ils nés des cellules elles-mêmes, comme autant de dérivés aberrants de leurs composés normaux (chromosomes, mitochondries, etc.) ayant acquis une certaine indépendance. Mais d'autres imaginent plutôt que l'apparition de cellules à noyau (eucaryotes) pourrait avoir tenu à la contamination de cellules par des virus à ADN. On reconnaît en effet le rôle déterminant des virus dans l'apparition et la dissémination de l'information génétique chez les vivants.

Le fait qu'ils ne soient "vivants" qu'au contact d'autres vivants, interdit en tous cas de voir en eux, du point de vue de l'évolution, des formes intermédiaires entre la matière et la vie. Les

⁴⁸ Paris, Gogué, 1784.

⁴⁹ Pures molécules d'ARN, les viroïdes ne sont pas encapsidés.

⁵⁰ Voir P. Forterre « La cellule virale rouage de la vie » *Pour la Science* n° 469, novembre 2016, pp. 42-49.

virus, en d'autres termes, ne sont pas les premières formes vivantes ; quoiqu'un certain nombre d'auteurs aient pu voir en eux les témoins d'une évolution ayant conduit, d'une simple gelée protoplasmique, à la différenciation cellulaire⁵².

La vie réduite à la transmission d'une information.

Néanmoins, parce que toute une écologie virale peut être définie (mutation et adaptation à la relation virus-hôte favorisant une sélection⁵³), les virus invitent inévitablement à considérer que la forme la plus élémentaire de la vie est la pure duplication d'une information. Ainsi, dans un contexte de sur-médiatisation des avancées biologiques, la presse a pu présenter comme une véritable création de vie la synthèse *in vitro* de l'ADN du virus de la poliomyélite et du bactériophage phiX174 en 2002 et 2003. Fausse alerte ? Le plus étonnant est qu'une telle synthèse avait déjà été menée en 1967 et avait déjà fait grand bruit.

Ce qui a été créé en l'occurrence est un fragment d'information génétique doté des mêmes propriétés que les deux virus naturels. De sorte qu'on ne voit pas très bien la différence fondamentale avec une manipulation génétique. Par ailleurs, si le vivant est effectivement fondé sur la transmission d'informations génétiques, celles-ci le supposent aussi bien pour devenir effective. Exactement comme un virus n'est actif qu'au sein d'une cellule hôte. Ce genre de réalisation ne préjuge donc pas de nos capacités à synthétiser un jour une bactérie entière.

De plus, en fait de transmission d'informations vitales, l'existence d'un code génétique pourrait même ne pas être indispensable. Sont en effet apparus des agents "vitaux" encore plus simples que les virus, les prions. Ne représentant qu'une simple protéine, ils sont capables de se répliquer en l'absence de tout code génétique et certains ont ainsi vu en eux de possibles agents primordiaux d'hérédité.

Les prions.

En 1980, Stanley Prusiner formula l'hypothèse de tels prions (*proteinaceous infectious particles*) pour rendre compte des maladies neurovégétatives, dont la plus connue est l'encéphalite spongiforme bovine ("maladie de la vache folle") et dont on connaît quatre formes chez l'homme, parmi lesquelles le *kuru*, découvert en Nouvelle-Guinée (les Papous de l'ethnie des Forès se le transmettaient par cannibalisme !) et la maladie de Creutzfeldt-Jakobs, dont une variante semble transmissible du bœuf à l'homme et qui a reçu, à ce titre, les feux de l'actualité en 1996⁵⁴.

Dans les cerveaux atteints, on ne trouve aucune trace de virus mais la protéine PrP^c y apparaît modifiée. Elle devient résistante à l'action des enzymes qui normalement la

⁵¹ Voir P. Lépine *Les virus*, Paris, QSJ PUF, 1966, p. 64 et sq.

⁵² Voir par exemple P. Morand *Aux confins de la vie. Perspectives sur la biologie des virus*, Paris, Masson, 1955, p. 165 et sq.

⁵³ Voir S. Morse (Ed) *The Evolutionary Biology of Viruses*, New York, Raven Press, 1994.

⁵⁴ L'idée du franchissement possible de la barrière d'espèce homme/animal, émise par Richard Lacey (*The Mad Cow Disease*, 1994), fit l'objet d'assez violents débats.

dégradent. Elle s'accumule alors dans les neurones et finit par les faire éclater, donnant au cerveau un aspect criblé de trous caractéristique. Prusiner émet donc l'hypothèse que l'agent infectieux, baptisé "prion", est dépourvu d'acide nucléique et est en fait cette protéine sous sa forme pathologique (PrP^{sc}) se propageant par simple contact avec la protéine naturelle.

On saisit encore assez mal ce processus et l'on ne sait trop expliquer comment la seule modification de forme d'une protéine, dont le rôle exact est par ailleurs inconnu, peut créer diverses formes de la même maladie et des maladies différentes chez des espèces différentes. De fait, certains n'ont pas renoncé à croire que l'agent infectieux est en fait un virus encore inobservé.

*

Compte tenu de la manière dont nous concevons le vivant : une lignée issue d'un ou de quelques êtres dont l'apparition était improbable, comme nous l'avons souligné, la question de savoir si les virus sont des êtres vivants, revient à demander s'ils peuvent être inscrits dans l'arbre de la vie.

Pour exclure les virus de l'arbre du vivant, on peut souligner qu'il n'existe pas un seul gène partagé par tous les virus – il n'y a donc pas de lignée virale ancestrale. Les virus sont polyphylétiques : ils n'ont pas d'ancêtres communs et apparaissent ici et là dans l'arbre évolutif en empruntant des gènes à leurs hôtes. Ils ne représentent donc pas une forme de vie originale.

Cette affirmation doit néanmoins être reconsidérée depuis la découverte, récente, des virus géants (on en distingue quatre familles : Mégavirus, Pandoravirus, Pithovirus et Mollivirus), dont le diamètre atteint presque le micromètre (comme les bactéries donc) et qui n'utilisent pas le noyau des cellules hôtes pour se reproduire mais forment dans leur cytoplasme une « usine virale » qui utilise ses nutriments et ribosomes. Alors que beaucoup de virus, parmi les plus pathogènes pour l'homme, comme ceux du sida, de l'hépatite B ou du papillome, ont moins de dix gènes, les Mégaviridés ont un génome de plus d'un millier de gènes, supérieur à celui de certaines bactéries. Ils peuvent d'ailleurs être contaminés par des virus plus petits, les virophages. La seule différence avec les bactéries tient à ce qu'ils n'ont pas de ribosomes et sont contraints d'emprunter ceux de la cellule infectée pour synthétiser leurs protéines – mais cette fonction existerait chez eux à l'état de vestige, ce qui permet de les rattacher à l'origine des formes cellulaires. Par ailleurs, ils ne se divisent pas comme les bactéries mais, comme les virus, produisent de multiples copies d'eux-mêmes. Tout cela peut plaider pour la reconnaissance d'une forme de vie virale bien spécifique, une quatrième branche des vivants en plus des bactéries, des archées et des eucaryotes (animaux et plantes). Mais cela demeure à ce stade en débat.

Ce n'est pas seulement entre les formes vivantes et minérales que la frontière peut sembler plus ou moins perméable. Le minéral traverse le vivant et met aussi bien en question ce qui est proprement vivant en lui. Celui-ci, en effet, fait plus que détourner le

minéral à son profit (l'assimilation d'oligo-éléments par exemple), il le secrète, de façon normale (coquilles, squelette, dents) ou pathologique (calculs, calcifications dans le cerveau).

Le minéral fait en partie le vivant⁵⁵. De nombreux végétaux, par exemple, utilisent la silice pour rigidifier et orienter leurs tissus. Des granules de matériau dense, ou otoconies, pèsent sur les tissus et aident l'ensemble de l'organisme à s'orienter dans le sens haut-bas. Chez certaines plantes, ainsi, des granules d'amidon orientent la croissance des racines vers le bas. Chez l'homme, des otoconies de calcite occupent les canaux semi-circulaires de l'oreille interne, jouant un rôle dans la détermination du sens de l'équilibre. L'homme partage également avec le chat le fait d'avoir dans ses glandes salivaires des cristaux d'hydroxyapatite qui, croissant exagérément en nombre, peuvent provoquer des troubles de la salivation. Même chez les bactéries, on trouve des cristaux minéraux jouant le rôle de senseurs des champs de pesanteur ou des champs magnétiques.

Certaines bactéries, dites "magnétotactiques", se dirigent toujours, même mortes, vers le nord ou vers un aimant placé à proximité. Cela s'explique par la présence en elles de petits cristaux faisant une chaîne et dont chacun est formé de magnétite (Fe_3O_4). Leur rôle est surtout d'amener les bactéries à se déplacer vers le bas, parallèlement aux lignes de force du champ magnétique (60° d'inclinaison à partir de l'horizontale sous nos latitudes ; dans l'hémisphère sud, les mêmes bactéries sont orientées vers le sud.). On a découvert de la magnétite chez beaucoup d'espèces, surtout les migratrices, comme les tortues de mer. On en a même découvert dans les tissus du cerveau et dans les méninges de l'homme. Mais là on ignore à quoi elles peuvent servir, puisque n'étant pas alignées en chaîne avec un moment magnétique, elles ne peuvent détecter le champ magnétique terrestre. Peut-être s'agit-il simplement d'une survivance, dont le rôle désormais se limite à stocker du fer.

Enfin, avec le développement des biotechnologies, sont apparues des matières « hybrides », souvent issues du vivant (ovocytes congelés par exemple) ou destinées à se confondre avec lui (peau artificielle imprimée en 3D). Des bio-objets utilisés en médecine aussi bien qu'en cosmétique et produits de manière industrielle, qui paraissent aussi « vivants » qu'artificiels⁵⁶.

*

Une planète vivante.

⁵⁵ Voir J-P. Poirier *Le minéral et le vivant*, Paris, Fayard, 1995.

⁵⁶ Voir C. Lafontaine *Bio-objets, les nouvelles frontières du vivant*, Paris, Seuil, 2021.

La vie s'est répandue sur la Terre pratiquement dès que celle-ci fut suffisamment refroidie pour accorder quelque stabilité aux éléments occupant sa surface. Sur notre planète la vie recouvre presque tout ; le minéral, qu'elle s'approprie, comme l'espace qu'elle colonise. La surface du globe est couverte de sols édifiés par les vivants, comme ces couches de craie qui peuvent dépasser 1 000 mètres et qui résultent du dépôt de coccolites sur les fonds marins au cours de l'ère secondaire. Notre globe est une planète vivante. Et de là, certains sont d'ailleurs allés jusqu'à soutenir que la Terre est un super-organisme (voir 2. 5. 17.).

Quoi qu'il en soit, la vie, sur la Terre, paraît être un événement profondément *naturel* ; inscrit dans les éléments matériels du globe comme dans son histoire. Certes, cela ne nous permet pas encore d'assurer qu'une continuité sans faille relie le vivant à la chimie non-organique mais cela souligne que la vie ne dispose pas de frontières suffisamment étanches pour marquer son irréductible singularité. Cela plaide pour l'enracinement foncier de la vie dans la matière. Pourtant, nous n'arrivons à penser le vivant que comme un phénomène particulier et improbable.

La vie distincte du vivant.

Décomposer un organisme vivant ne nous fait pas rencontrer la vie, au sens où l'on ne peut distinguer en lui des matières "vivantes" d'autres qui ne le seraient pas. Le vivant emprunte la totalité des ses éléments à la chimie générale. Il n'offre même pas la spécificité d'être entièrement constitué de matière organique puisque le minéral, nous l'avons vu, le traverse largement. Le hiatus, en fait, n'est pas entre la matière et la vie mais entre l'inorganique et le vivant.

En quoi pourrait bien consister, en effet, une expérience nous permettant de faire apparaître de la vie ? Certainement pas d'animer quelque morceau de matière, comme dans certaines légendes on souffle dans les narines d'un mannequin de terre pour lui donner vie mais bien de créer un être suffisamment organisé pour qu'il puisse vivre de lui-même et se répliquer. Pour nous, la vie se réduit à l'organisation de différents êtres vivants. Cette organisation rend compte tant de leur forme que de leurs capacités d'autonomie. Nous dirions volontiers, finalement, que les vivants sont programmés pour vivre. Mais cette approche, nous le verrons, est toute nouvelle.

Fort longtemps, on raisonna plutôt à partir de trois termes : l'inorganique, la vie et le vivant. Aristote le notait dans le cas des oeufs "clairs", c'est-à-dire non fécondés ; les oeufs que nous mangeons. Ces oeufs ne peuvent former d'êtres vivants. Pourtant, on ne

peut les assimiler à une matière inorganique. Puisqu'ils se corrompent, ils sont bien en un sens vivants (*De la génération des animaux*, 330-322 av. JC, 741a & 750b⁵⁷).

Fort longtemps, ainsi, on pensa la vie distincte du vivant, au sens où elle ne suffisait pas à faire un être vivant. Longtemps, on conçut que le vivant se laisse caractériser aussi bien par le fait qu'il est en vie que par le fait qu'il est *un* vivant. Les Grecs distinguaient ainsi la vie (*zoê*) et la vie individuelle, le vivant (*bios*).

Cette distinction n'était pas stricte néanmoins, les deux termes étant souvent employés de manière équivalente. Chez Platon ou Aristote, *zoê* désigne la vie animale – il faudrait dire la vie animée – la simple vie et *bios* la vie qu'anime l'esprit. Une distinction toute relative cependant : chez Aristote, l'animal politique est *zôon politikon* et la vie politique *bios politikos* ; tandis que dans le *Nouveau Testament*, *zoê* désigne la vie de l'esprit.

Dès lors, *qu'est-ce qui est premier dans le fait du vivant : l'animation d'un composé matériel ou l'affirmation d'une certaine individualité autonome ? La vitalité ou une organisation singulière ? Le vrai débat concernant le vivant est là*. Les théories de la génération à l'âge classique en témoignèrent tout particulièrement et il convient de les considérer d'assez près.

⁵⁷ trad. fr. Paris, Les Belles Lettres, 1961.