

MICHEL JUFFÉ

Philosophe

A publié notamment: *Tragédie en héritage: de Freud à Sophocle*, Paris, Esthel, 1999; *Expériences de la perte*. Colloque de Cerisy (dir.), PUF, 2005.

## LA DESCENDANCE DES BACTÉRIES

NOUS NE LE SAVONS PAS, mais contrairement à la croyance fort répandue qu'il existe des humains et des non-humains, le monde vivant est composé de bactéries et de non-bactéries. D'un côté, à elles seules les bactéries connaissent bien plus de variété que tous les autres types de vivants réunis, de l'autre, elles survivent depuis trois milliards d'années dans des conditions extrêmes. Si nous voulons nous livrer aux petits jeux de comparaisons que nous aimons tant, la supériorité à tous égards revient aux bactéries... ce dont elles n'ont, contrairement à nous, probablement que faire. En revanche, en nous mettant à l'école des bactéries – c'est-à-dire d'une manière de « persévérer dans son être » qui dure depuis plus de trois milliards d'années – nous pourrions apprendre des choses utiles à la préservation de l'ensemble de l'humanité.

Il existe deux sortes de vivants : les bactéries et tous les autres

On a cru longtemps qu'existaient des animaux et des plantes, et d'autres êtres hybrides entre les deux ou difficiles à classer, comme les champignons. On comptait alors des dizaines de milliers d'espèces<sup>1</sup>. Puis les microbes ont été observés et un nouveau monde vivant est apparu, terrestre et maritime. Une autre distinction s'est formée, entre unicellulaires (dont la taille peut aller de quelques dizaines de microns à plusieurs centimètres – un écart de taille bien plus élevé qu'entre un moustique et un éléphant) et pluricellulaires. Du coup, il était question de centaines de milliers d'espèces. Puis on

Michel Juffé

a découvert la différence entre cellules sans noyau (procaryotes) et avec noyau (eucaryotes), la diversité entre procaryotes (les bactéries) étant très nettement plus élevée qu'entre eucaryotes (unicellulaires, champignons, plantes, animaux – selon une classification récente<sup>2</sup>). On a parlé alors de millions d'espèces, une partie seulement étant identifiée (1,9 millions fin 2009), les autres étant extrapolées à partir de considération sur la variété présente au sein d'un habitat donné. Depuis quelques années, les biologistes estiment de 10 à 100 millions le nombre d'espèces actuellement vivantes, lesquelles ne formeraient que 1% de la totalité des espèces qui ont existé sur Terre depuis l'apparition de la vie.

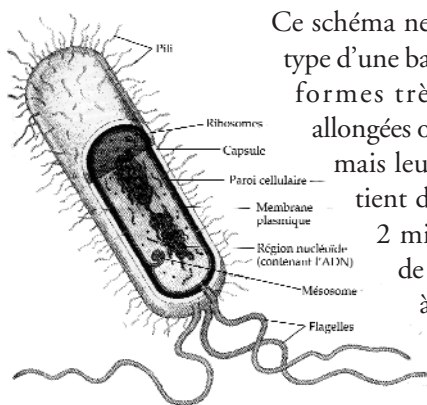
Qu'est-ce qu'une espèce? Une définition simple est celle de l'interfécondité: si un mâle et une femelle peuvent avoir un descendant commun, qui peut lui-même se reproduire, ils sont de la même espèce. Le cheval et l'ânesse (ou la jument et l'âne) ne sont pas de la même espèce puisque le mulot et le bardot sont stériles. Cette définition, adoptée suite à l'observation des animaux, ne vaut pas pour certaines plantes et pour les champignons ou les unicellulaires. De ce fait, elle a été modifiée ainsi: appartiennent à la même espèce tous les individus possédant le même assortiment de génomes, en quantité et qualité<sup>3</sup>. Définition moins évidente, mais qui a l'avantage de retracer la généalogie des individus et par suite des espèces.

Les bactéries, pourtant, ne se plient pas à cette définition, car d'une part, elles peuvent être inter-fertiles entre divers types, et d'autre part, elles se transfèrent les unes aux autres des gènes dans les deux sens, le donneur pouvant devenir receveur en quelques minutes. Plus précisément, il existe trois mécanismes de transfert de gènes entre les cellules, dont le plus intéressant pour nous est la conjugaison, c'est-à-dire une activité « sexuelle » avec une autre bactérie. Au cours du rapprochement conjugal, il y a transfert d'ADN d'une bactérie à une autre. L'ADN étranger peut être intégré dans le génome et être transmis aux générations suivantes. C'est ce qu'on appelle un « transfert horizontal de gènes ». Cet ADN étranger peut aussi provenir du milieu: les bactéries sont capables « to have sex » avec des molécules d'ADN nues, qu'elles absorbent par l'eau dans laquelle elles baignent. De plus, cet échange de gènes est facultatif: si une bactérie peut sur-

## La descendance des bactéries

vivre et grandir dans des conditions qui lui conviennent, elle peut se passer de cet échange, donc ne pas avoir d'activité sexuelle. Conclusion: quelle qu'en soit la définition, la notion d'espèce ne s'applique pas aux bactéries. « La spéciation est une propriété des cellules à noyau. »<sup>4</sup> C'est pourquoi, lorsqu'on recense 7 300 espèces de bactéries, et que l'estimation du nombre de leurs espèces varie de 600 000 à 6 milliards, cela ne veut pas dire grand chose.

Qui sont les bactéries? Il est temps de faire plus ample connaissance avec notre ancêtre la bactérie. Elle ressemble à ceci :



Ce schéma ne représente pas la forme-type d'une bactérie, car celles-ci sont de formes très variées (sphériques, allongées ou en bâtonnets, spirales), mais leur composition. Tout cela tient dans un diamètre de 0,2 à 2 micromètre (1 millionième de mètre), et contient de 500 à 10 000 gènes<sup>5</sup>. Que l'on parle d'espèce ou non, le nombre de bactéries présentes sur Terre à un

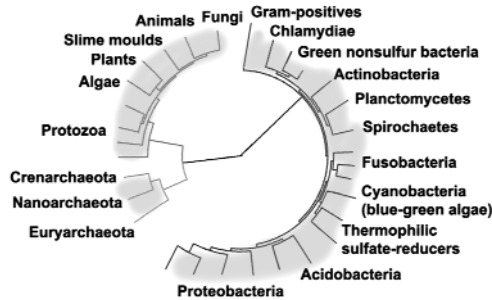
moment donné défie l'imagination: elles seraient quatre à six quintillions ( $4 \times 10^{30}$  à  $6 \times 10^{30}$ ), représentant une grande partie de la biomasse du monde. On compte environ 40 millions de cellules bactériennes dans un gramme de sol et 1 million de cellules bactériennes dans un millilitre d'eau douce.

Chez l'être humain,  $10^{12}$  bactéries colonisent la peau,  $10^{10}$  bactéries la bouche et  $10^{14}$  bactéries habitent l'intestin: le corps humain contient dix fois plus de cellules bactériennes que de cellules humaines. La plupart sont inoffensives ou bénéfiques pour l'organisme, mais certaines provoquent des maladies telles que la peste, le choléra, la syphilis ou la tuberculose. D'où leur très mauvaise réputation, du moins jusqu'à ce qu'on ait compris l'étendue de leurs capacités.

Leur variété est surtout métabolique: là où l'ensemble des animaux connaît *un seul* métabolisme fondé sur la respiration de l'oxygène, les

Michel Juffé

bactéries en ont *une vingtaine* (respiration de sulfure ou d'arsenic; transformation d'ions métalliques contenus dans l'eau en manganèse, en fer ou en or; photosynthèse; etc.), représentée par leur classification actuelle (seulement onze sont nommés dans le schéma ci-dessous):



Cet arbre phylogénétique montre la diversité des bactéries, comparés aux autres organismes. Les eucaryotes sont colorés en rouges, les archées en vert et les bactéries en bleu.

Cet arbre généalogique montre la diversité des bactéries (19 sortes de métabolisme), par rapport aux autres organismes vivants (3 sortes pour les archées, 2 sortes pour les plantes, 1 seule pour les animaux et les champignons). Les eucaryotes sont colorés en rouge, les archées en vert, les bactéries en bleu.

Il n'est alors pas (trop) étonnant qu'elles se logent partout (y compris dans les roches) et résistent à des conditions extrêmes: une très forte acidité (comme l'acide chlorhydrique), des températures supérieures à 100 °C ou le froid de la banquise, une salinité élevée; on en trouve à 11 000 mètres de fond, soumises à des pressions mille fois supérieures à celles de la surface de l'océan; exposées à 1 million de rads, leur développement est ralenti, à 3 millions de rads certaines survivent (l'homme meurt au bout d'une ou deux semaines avec 1 000 rads), car elles peuvent réparer leur ADN endommagé<sup>6</sup>. Elles peuvent également fabriquer des endospores qui leur permettent de résister à des conditions physiques et chimiques extrêmes: niveaux élevés de rayonnement ultra-violet, rayons gamma, détergents, sécheresse, forte chaleur ou pression, voire survie à l'exposition au vide et

## La descendance des bactéries

au rayonnement dans l'espace. Dans cet état, elles peuvent vivre des centaines de milliers d'années<sup>7</sup>.

Les bactéries sont les habitants *les plus éminents*, à beaucoup d'égards, de notre planète. Elles y assurent une multiplicité de rôle. En voici quelques-uns :

- > Elles assurent la « respiration » de la planète, son métabolisme biochimique, car elles interviennent dans le cycle du carbone, la fixation de l'azote de l'atmosphère et la production d'oxygène.
- > Elles dégradent les hydrocarbures et des substances insolubles d'origine végétale comme la cellulose, la lignite, réduisent les sulfates, oxydent le soufre, produisent des nitrates.
- > Elles sont utilisées par les hommes pour traiter les eaux usées, fabriquer des produits laitiers, du pain, des boissons alcoolisées et dans la production industrielle de nombreux composés chimiques.
- > Génétiquement modifiées elles sont très utilisées pour la production d'insuline, d'hormone de croissance, de vaccins et d'antibiotiques. Elles peuvent combattre des parasites des plantes.
- > Leur capacité à se multiplier rapidement et leur facilité à être manipulées, en font des « outils » très utilisés en biologie moléculaire, en génétique et en biochimie.

Comme le dit Stephen Jay Gould<sup>8</sup>, les bactéries survivent depuis des milliards d'années et continueront à survivre jusqu'à l'extinction du système solaire. « Le paradigme du succès de la vie a de tout temps été la bactérie ».<sup>9</sup>

L'évolution : un peu de mutation au hasard  
et beaucoup de symbiose

Mais leur rôle le plus important, et de loin, pour l'ensemble de la biosphère vient de l'endosymbiose, sans laquelle les bactéries seraient probablement seules au monde. De quoi s'agit-il ?

Il semble que les premiers eucaryotes (les protistes, unicellulaires) se sont formés à partir d'associations de bactéries, il y a près de 3 milliards

Michel Juffé

d'années, mais il ne reste aucune trace de cette transition. En revanche, il paraît plus clair que ces premiers eucaryotes se sont complexifiés en absorbant sans les détruire des bactéries, qui sont devenus des organites au sein de ces cellules, indispensables à leur survie (donc des symbiotes, dits *endosymbiotes* puisqu'ils vivent à l'intérieur de leur hôte). Ce sont d'abord les mitochondries, résultant de l'incorporation d'une protéobactérie, puis les chloroplastes formés par l'incorporation d'une cyanobactérie<sup>10</sup>. À chaque fois, plus de 90% du génome de l'endosymbiote a été transféré dans le noyau de l'hôte et peut ainsi se perpétuer.

Non seulement cette activité symbiotique a permis le développement de cellules complexes, mais elle se poursuit de manière incessante dans l'ensemble des espèces vivantes. En voici quelques exemples :

> *Euplotidium*, une sorte de cilié (unicellulaire) compte six espèces, qui portent toutes des sortes de rubans bosselés, chaque bosse étant une bactérie. Dès que le cilié, maritime, détecte un danger (un autre cilié *Litonotus Lamella*), il projette ces rubans sur une longueur de 40 micromètres alors qu'ils sont comprimés en 1 micromètre au repos. L'association est constante : si *Euplotidium* est privé de ses rubans, il est immédiatement dévoré par *Litonotus Lamella* ; ses bactéries ne peuvent pas être élevées en culture, sauf si elles lui sont attachées. Ainsi, ils ne peuvent vivre l'un sans l'autre.

> Certaines limaces de mer sont vertes : leurs ancêtres ont absorbé sans les digérer certaines algues vertes, qui sont entrées dans leurs tissus et y sont restées. Elles ont intégré dans leur ADN nucléaire de l'ADN de chloroplaste. Ces limaces ne mangent pas : elles se contentent de prendre des bains de soleil, comme les plantes. D'autres limaces de mer carnivores sont urticantes, car elles s'auto-greffent dans l'épiderme les cnidoblastes (appareil venimeux) des anémones de mer qu'elles dévorent!<sup>11</sup>

> Environ un quart des champignons sont des lichens, qui vivent en photosynthèse le plus souvent avec des algues vertes

### La descendance des bactéries

et parfois avec des cyanobactéries. Cette association symbiotique se reproduit, de trois manières différentes : végétative (bouturage), asexuée et sexuée. On compte 25 000 espèces de lichens, qui vivent dans toutes conditions et résistent même au vide spatial<sup>12</sup>.

> Les racines des végétaux sont le support d'associations symbiotiques complexes avec des bactéries et des champignons, pour solubiliser le phosphore, fixer l'azote atmosphérique, développer des racines secondaires

> L'intestin humain contient plus de 200 sortes de bactéries, soit, chez un adulte, plus d'un kilo de biomasse. Elles ont un rôle indispensable dans la digestion, dans la régulation du système immunitaire et empêchent la colonisation par des organismes pathogènes.

> Les termites se nourrissent de bois, mais ne peuvent digérer entièrement la cellulose. Cette digestion a lieu grâce à l'association avec des protistes, des bactéries et des archées. De même, la vache possède dans son estomac les bactéries capables de digérer la cellulose<sup>13</sup>. Ce type de symbiose a sans doute commencé avec les premiers dinosaures et tortues herbivores.

Dans presque tous les cas, la séparation des associés entraîne leur mort.

On pourrait multiplier les exemples en très grand nombre. Pour l'évolution et la diversité du vivant la symbiose joue un rôle plus important que les mutations au hasard. En effet, puisque la complexification des unicellulaires et la prolifération des pluricellulaires semblent résulter de relations symbiotiques, l'apparition de divers types de vivans est due à ces associations, même si les mutations génétiques contribuent fortement à leur diversification. En d'autres termes, les mutations engendrent, de manière aléatoire, des formes de vie plus ou moins viables (reproductibles) par variation autour d'un type; la symbiose invente de nouveaux types. Par suite, la « lutte pour la survie » ne se réduit pas à la compétition entre espèces, mais

Michel Juffé

s'étend à toutes les tentatives d'améliorer les conditions de vie, par diverses formes d'association plus ou moins réussies (on n'a pas de traces de celles qui échouent, par définition). Darwin avait déjà précisé qu'il fallait entendre « lutte pour l'existence » de manière métaphorique, incluant la « lutte » contre de sévères conditions climatiques par exemple, mais il n'y a pas trace de « symbiogenèse » dans ses œuvres, ce qui n'a rien de surprenant puisqu'il ne connaissait ni les mécanismes génétiques ni le monde des bactéries.

Les catégories habituelles, telles que « compétition » et « coopération » que nous employons pour désigner une grande partie des activités humaines et par extension celles du monde vivant s'appliquent mal aux phénomènes symbiotiques. Parler d'association est mieux, mais encore insuffisant car des associés peuvent se séparer parfois sans trop de dégâts, alors que des symbiotes y risquent leur vie et plus que leur vie : la possibilité d'avoir une descendance. C'est donc un mariage sans divorce possible. On peut évidemment trouver cela trop contraignant : où est la liberté ? Pourtant cette liberté se manifeste on ne peut mieux : les associations symbiotiques évoluent, se complexifient ou se simplifient, donnent lieu à d'autres espèces ou variétés ou familles ou genres. Une sorte de *métissage général* est continuellement à l'œuvre, et l'inventivité due à la symbiose est immense, au point que certains chercheurs écrivent que par la symbiogenèse les eucaryotes sont des *chimères*<sup>14</sup>. C'est ainsi, par exemple, que chaque corps humain est un assemblage d'une multiplicité d'organismes, sous plusieurs aspects : parce que toutes ses cellules viennent d'assemblages très anciens de cellules procaryotes, parce que ses cellules eucaryotes s'associent entre elles pour former divers organes, parce que ces divers organes vivent eux-mêmes en symbiose avec des bactéries et des cellules eucaryotes. Chacun de nous est donc une multitude, mais en aucun cas une foule, car les mouvements et activités de cette multitude sont finement réglés de telle sorte que l'ensemble demeure solidaire durant des décennies, sauf accidents en tous genres.

Autrement dit, il s'agit de *communautés*, au sens écologique et sociologique. Les sociétés humaines sont ainsi des communautés de communautés, qui rassemblent, de notre point de vue, des humains et des non-humains, mais on pourrait aussi bien dire des communautés de



## La descendance des bactéries

bactéries et de non-bactéries ou pour être vraiment œcuménique des communautés d'archées, de bactéries et d'eucaryotes, parmi lesquels des animaux dont *homo sapiens*.

Pour résumer, redonnons la parole à Stephen Jay Gould: « La réalité naturelle est en vérité composée de populations d'individus variables [...] les variations sont elles-mêmes irréductibles, « réelles » dans le sens où elles sont les composantes concrètes de cette réalité. [...] Dans cette vision holistique de la vie, l'être humain ne bénéficie d'aucun statut privilégié et ne constitue en rien l'apogée de l'évolution. » « Nous devons renoncer à l'idée traditionnelle d'une domination humaine et apprendre à aimer les particularités – nous en sommes une – et apprécier la diversité – à laquelle nous contribuons sur un plan précieux. »<sup>15</sup>

En d'autres termes, l'être humain n'est qu'une particularité parmi bien d'autres, mais nous *sommes* des êtres humains et tenons beaucoup à nous-mêmes. Le problème est d'acquérir la conscience de notre appartenance non à un « grand tout » informe mais à une biosphère très composite et très diversifiée où nous avons encore beaucoup de mal à trouver notre place.

En effet, du point de vue de la capacité à former des *communautés* composites, métissées, en un mot symbiotiques, qui soient stables et durables, l'être humain n'est pas très performant. Je dirai même qu'il n'est pas très civilisé, car lorsqu'il forme des associations étroites, des communautés, c'est le plus souvent sur la base d'une forte homogénéité (métiers, partis, religions, terroirs, langues...), les autres étant exclus de cette communauté ou tolérés dans ses marges ou utilisés pour services rendus à ladite communauté. Quant aux communautés « virtuelles » constituées sur la « Toile » elles ont nettement moins de consistance que celle d'une toile d'araignée.

### À l'école des bactéries

Pour remédier à ces profonds clivages entre humains et, plus globalement, à l'opposition entre l'humanité et le reste de la nature, certains<sup>16</sup> préconisent la création d'assemblées, voire de « parlements » d'humains et de non-humains. L'idée étant que plus on délibère, plus les accords seront de qualité et tiendront dans le temps. Ceci s'inscrit

Michel Juffé

dans un courant de pensée beaucoup plus vaste, dit de « démocratie procédurale » où le plus important ne tient pas aux principes dont on s'inspire mais la manière de construire ensemble des règles d'action collective (avec ou sans principes fondateurs). Cet élargissement des parlements, alors composés d'une chambre d'humains élus selon les modalités habituelles et d'une chambre de « choses » représentées par les savants et experts, pose tout de même un petit problème : qui choisit les porte-paroles humains des « choses » ? Les « choses » elles-mêmes ? Encore faudrait-il qu'elles puissent nous le signifier et qu'elles reconnaissent, pour cela, l'existence en tant que telle des humains. Au mieux on aura ainsi un parlement de représentants des animaux domestiques, de quelques animaux « sauvages » très estimés, peut-être des plantes comestibles et d'agrément, mais c'est tout. Les bactéries seront oubliées et un grand nombre de symbiotes aussi. Si ce parlement prend en compte tous les vivants (et même des artefacts humains... mais alors on triche un peu, car les robots et autres machines sont humains, par construction), qui va décider de qui est le porte-parole de qui ? Les bactériologistes ceux des bactéries ? Les primatologues ceux des primates ? Les botanistes ceux des plantes ? Et qui va décider du plus important, à savoir de la composition de ce parlement ? Il s'agit donc d'une excellente idée de politique-fiction, mais dont on voit mal le moindre commencement d'application, à moins d'instaurer une « république des savants » et de constituer une démocratie *très* élitare.

Je propose un tout autre remède : nous inscrire à l'école des bactéries. J'entends par là une école où les professeurs, en toutes matières, sont les bactéries. On y apprend la physique (et notamment la thermodynamique), la chimie (toutes les branches, y compris cette importante application qu'est la cuisine), la biologie (cela va de soi), l'économie (la précision et la justesse des échanges, la qualité des modes de production et de recyclage), la science politique (l'art de mener à bien des projets et programmes complexes au bénéfice de très larges communautés), la géographie (les bactéries sont presque partout et peuvent nous guider presque partout), l'histoire (au moins sur trois milliards d'années), les arts plastiques (la diversité des formes des bactéries pourra inspirer encore longtemps les artistes humains), la sexologie (nous ne serons jamais, au mieux, que de pâles imita-

## La descendance des bactéries

teurs), la technologie (de l'emploi d'outils simple au montage d'usines), l'agriculture, l'industrie et les services. Des disciplines seront peut-être absentes, comme la musique, les arts dramatiques et la littérature, pour lesquelles les humains sont plutôt inventifs (et encore les intrigues pourront-elles largement emprunter des thèmes aux aventures symbiotiques des bactéries). Cette école n'aura que peu de cours magistraux et d'exercices livresques. Elle sera surtout axée sur les travaux pratiques et les « leçons de choses », données par les « choses » elles-mêmes. On pourrait aussi l'appeler « l'école de la vie » au sens plein du terme.

L'apprentissage le plus important sera pourtant *imitatif*: à l'image des bactéries, de leur pan-sexualité, de leur aisance à s'associer durablement avec toutes sortes d'êtres vivants et à utiliser avec parcimonie la plupart des éléments minéraux de la planète, il sera question de pratiquer intensément la pan-culturalité (associations et échanges entre toutes les cultures humaines), les assemblages entre diverses catégories d'humains (autrement que par l'asservissement des uns aux autres) et l'intégration de toutes les productions humaines dans des cycles de vie bénéfiques pour tous les écosystèmes où elles se déroulent.

En devenant ainsi des écoliers et des étudiants très assidus, nous pourrions espérer que parmi la descendance des bactéries, une branche secondaire mais qui nous est chère – la descendance des humains – durera encore un certain temps.

### Notes :

- 1- Linné, l'inventeur de la classification actuellement en vigueur, en comptait 67 000 vers 1730.
- 2- Les travaux de phylogénie moléculaire (Karl Woese, 1977) ont montré que ce qui était jusque-là classé comme archéobactéries, les « archées » sont aussi différentes des bactéries que celles-ci le sont des eucaryotes : d'où la plus récente classification du vivant en trois domaines.
- 3- Traduction approximative de « *A belongs to the same species as B, then both are composed of the same set of integrated genomes, both qualitatively and quantitatively.* » Lynn Margulis and Dorion Sagan, *Acquiring genomes*, Basic Books, 2002. Une bonne partie des faits concernant les bactéries relatés dans cet article proviennent de cet ouvrage (non traduit en français) et d'autres ouvrages de Lynn Margulis, éminente bactériologiste.
- 4- Lynn Margulis and Dorion Sagan, op. cit., p. 55
- 5- À comparer aux cellules à noyau, qui contiennent entre 10 000 et 100 000 gènes. Celles des humains en ont de 30 000 à 60 000.
- 6- Selon Edward Wilson, *L'avenir de la vie* (2002), Seuil, 2003.

**Michel Juffé**

7- Une bactérie demeurée endormie depuis 250 millions d'années a été découverte dans un cristal de sel, au Nouveau-Mexique, à environ 600 mètres sous terre.

8- 1941-2002, paléontologue, l'un des plus connus des théoriciens de l'évolution, auteur de très nombreux ouvrages.

9- *L'éventail du vivant*, Seuil, 1997

10- La mitochondrie est la « centrale énergétique » de la cellule, car c'est là que se déroulent les dernières étapes du cycle respiratoire qui convertit l'énergie des molécules organiques issues de la digestion en énergie directement utilisable par la cellule. Le chloroplaste est le siège de la photosynthèse, et joue aussi un rôle dans la fixation du carbone, de l'azote, du soufre et dans la biosynthèse des lipides.

11- Je remercie Denis Laurens pour ses ajouts à ce paragraphe et pour ses corrections tout au long de cet article. Je me permets également de citer son alléchante proposition : « Ne pourrions-nous pas reproduire cette transgénèse chez l'homme, ce qui réglerait à la fois les problèmes de disponibilité alimentaire sur la planète, de pénibilité du travail et de séquestration du CO<sup>2</sup>? Mais peut être que notre surface corporelle est insuffisante, même en étant naturalistes. De toute façon, à législation constante, l'île du Levant serait trop exiguë. »

12- Ces trois exemples sont tirés de Lynn Margulis and Dorion Sagan, op. cit.

13- Ces trois exemples sont pris sur Wikipedia.

14- Les endosymbioses chimioautotrophes : des modèles de symbiogenèse à différents stades d'intégration ? Diaporama de Sophie Sanchez, Stéphane Hourdez et François H. Lallier, UPMC CNRS UMR 7144, Réseau d'Etude des Interactions Durables, Tours, 10 janvier 2008

15- Op. cit. p. 12 et 13.

16- En particulier Bruno Latour, *Politiques de la nature. Comment faire entrer les sciences en démocratie*, Paris, La Découverte, 1999; *Changer de société. Refaire de la sociologie*, Paris, La Découverte, 2005