

Pr Didier Raoult

# Dépasser Darwin

**L'évolution comme vous ne  
l'aviez jamais imaginée**

PLON



Dépasser Darwin



Pr. Didier Raoult  
Avec la collaboration  
de Véronique Dupont

# Dépasser Darwin



Plon  
[www.plon.fr](http://www.plon.fr)

*Collection dirigée par  
Gérard Friedlander*

© Plon, 2010  
ISBN : 978-2-259-21114-7

*A ma femme Natacha et à mes enfants.*



## Sommaire

<i>Introduction</i> .....	13
<b>L'homme, cette chimère : l'évolution selon Darwin relue et corrigée</b> .....	15
<b>Première idée fausse : les espèces ont divergé très tôt</b> .....	19
L'arbre de Darwin.....	19
Spéciation, le début de la fin?.....	20
Spécialisation : paysan contre citadin, qui subsistera? ...	22
Darwin utilisé par les théories racistes.....	23
Les espèces continuent de se mélanger.....	24
<b>Sex-party géante sur la planète : nous sommes tous des chimères</b> .....	27
L'être humain est une chimère.....	27
Wolbachia : les espèces se recombinent.....	31
<b>Deuxième idée fausse : les espèces dérivent les unes des autres</b> .....	35
La création ne s'est jamais arrêtée .....	35
Seul ancêtre commun admissible : le code génétique ....	39
<b>Troisième idée fausse : certaines espèces sont archaïques, d'autres sont modernes</b> .....	43
Pas de définition scientifique de l'espèce.....	43
Pas d'espèce archaïque .....	45

## *Dépasser Darwin*

<b>Quatrième idée fausse : ne se transmettent que les caractères utiles à l'espèce.....</b>	<b>47</b>
Le gène égoïste .....	47
La cellule altruiste.....	50
<i>Darwin, de quoi il retourne. Darwin, remise en cause : synthèse et récapitulatif</i> .....	51
<i>Darwinisme : ne pas en faire une nouvelle religion</i> .....	55
<b>L'homme dans son écosystème : l'évolution sous influence .....</b>	<b>57</b>
<b>Les nouvelles maladies liées aux animaux.....</b>	<b>61</b>
Chiens de prairie : petits, mignons... contagieux .....	62
La cystite, ou quand l'infection nous vient des poulets	65
<b>La mondialisation : au bonheur des épidémies.....</b>	<b>68</b>
L'homme appauvrit son écosystème.....	68
Chikungunya : success story de la mondialisation .....	69
Infections respiratoires : la grande peur de la grande grippe.....	73
H1N1 : les leçons de la crise .....	78
Microbes contre les hommes : les armes bactériologiques.....	86
<b>L'homme, terre de peuplement. La lutte pour la vie et l'évolution... en nous.....</b>	<b>95</b>
<b>Découverte des micro-organismes : quand la France régnait sur la recherche.....</b>	<b>99</b>
<b>Le déséquilibre microbien : quand la maladie survient .....</b>	<b>107</b>
<b>L'obésité est une épidémie.....</b>	<b>109</b>
Les bactéries, une nécessité pour la digestion .....	109
Obésité : la diversité bactériologique en question .....	110

## Sommaire

Les probiotiques, aliments à la mode, sont-ils inof- fensifs?.....	111
L'obésité est contagieuse .....	114
<b>Le cancer; quand virus et bactéries sont en cause...</b>	<b>116</b>
Ulcère gastrique et cancer de l'estomac .....	117
Cancer de l'utérus .....	119
Lymphome .....	120
Hépatites et cancers du foie (l'exception française)....	120
<b>Stratégies microbiennes, le choix des armes .....</b>	<b>122</b>
<i>L'homme, pour résumer</i> .....	123
<b>Demain, quelle évolution pour quelles espèces?.....</b>	<b>125</b>
<b>Prévoir les écosystèmes de demain : une absurdité, un fantasme .....</b>	<b>127</b>
La modélisation prédictive : l'illusion de pouvoir tout contrôler.....	128
Neutralité : le pays où l'on n'arrive jamais .....	129
Hypothèse et curiosité; à chacune son heure.....	131
<b>Que nous dit la science d'aujourd'hui?.....</b>	<b>132</b>
Craig Venter : héros épique de la science moderne ....	133
Les temps de la science : création, académisation, momification.....	134
Ne pas insulter l'avenir.....	136
Le potentiel immense de la génétique.....	137
«Ce que je sais, c'est que je ne sais rien... ou pas grand-chose».....	141
<b>Notre avenir : une nouvelle manière de penser .....</b>	<b>143</b>
Changer nos définitions pour changer notre manière de penser .....	143
L'exemple des probiotiques : de la nécessité de débou- lonner les idoles modernes.....	147
«Rhizome of Life» : retourner l'arbre de la vie pour mieux le comprendre .....	148

*Dépasser Darwin*

«La meilleure façon de prédire l'avenir, c'est de le créer».....	154
<b>Conclusion. Le postdarwinisme. Pour sortir de l'impasse créationnisme vs darwinisme.....</b>	<b>157</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>161</b>
<b>La génétique pour les nuls .....</b>	<b>163</b>
L'ADN, architecte de notre corps.....	163
Epigénétique : là où les choses se compliquent .....	165

## Introduction

A la suite d'Hippocrate, pour les anciens et jusqu'au Diafoirus de Molière, l'homme était gouverné par ses «humeurs». On distinguait les sanguins (régis par le sang et le cœur), les flegmatiques (soumis à la lymphe rattachée au cerveau), les mélancoliques (victimes d'un excès de bile jaune venant du foie) et les colériques (submergés par un trop-plein de bile noire issue de la rate). Vous avez une personnalité un peu trop expansive? Des sautes d'humeur? Pas de problème, une bonne petite saignée fera l'affaire...

Voilà ce que l'on a cru et pratiqué pendant des siècles.

A l'aube des temps modernes, on pensait que la tuberculose était une maladie héréditaire frappant les personnes sensibles et romantiques; il y a encore quelques années, on pensait que l'ulcère de l'estomac était dû au stress. Aujourd'hui, vous croyez peut-être que l'homme descend du singe, que tous les êtres vivants ont un unique ancêtre commun et que le crocodile est une espèce archaïque tout droit sortie de la préhistoire? Erreur. La génétique est passée par là et certaines idées de Darwin (qui a eu de très bonnes intuitions par ailleurs), comme nous allons le montrer, s'en trouvent obsolètes. Les interactions entre les êtres vivants sont bien plus nombreuses et bien différentes de ce que nous pouvions imaginer avant de disposer de nouveaux outils d'exploration, les outils de la génétique pour les plus récents.

## *Dépasser Darwin*

Les êtres vivants microscopiques notamment, qui sont ma spécialité, interagissent avec nous de bien des manières; de façon agressive parfois, surprenante souvent, instructive toujours<sup>1</sup>.

---

1. Afin d'aller plus loin et de mieux comprendre les termes et notions «ADN», «ARN», «Génétique», «Eucaryote», «Procaryote», se reporter à l'annexe «La génétique pour les nuls».

**L'homme, cette chimère :  
l'évolution selon Darwin relue et corrigée**



## **L'évolution à la lumière de la génétique**

Si les intuitions de Charles Darwin étaient pour beaucoup très justes et ont permis à la science de l'époque de faire de grands progrès, il a cependant commis des erreurs aboutissant à une vision pour partie faussée de l'évolution. La génétique, notamment, remet en cause certaines de ses convictions encore largement répandues dans les esprits.



## Première idée fausse : les espèces ont divergé très tôt

### *L'arbre de Darwin*

Qui ne connaît le célèbre « arbre de la vie » dessiné par Darwin ? C'est sans doute cette représentation sylvestre de l'évolution qui a le plus contribué à populariser ses théories.

Dans l'arbre de Darwin, les êtres vivants trônent au sommet, au plus haut des branches, nous y compris. La vision anthropomorphique<sup>2</sup> de Darwin ne se situe pas là ; la distance évolutive des reptiles et des fourmis n'est pas moindre pour lui que celle des hommes. En d'autres termes, il ne croit pas que les hommes ont plus et mieux évolué que d'autres espèces. Il avait compris, sans avoir les outils dont nous disposons maintenant et qui le prouvent, que toutes les espèces en vie au même moment sont aussi évoluées, en tout cas adaptées, les unes que les autres.

Lamarck, au contraire, qui voyait les hommes comme étant le sommet de la création, a développé une vision beaucoup plus anthropocentrée du monde du vivant. Il a

---

2. Anthropomorphisme ou anthropocentrisme : une conception qui considère l'homme comme le centre du monde, la finalité de l'Univers et l'aboutissement de l'évolution.

d'ailleurs essuyé beaucoup moins d'attaques que Darwin qui, l'estimant peu, l'a délibérément ignoré.

Pour Darwin, donc, les espèces divergent depuis des embranchements survenus dès la création.

Cette vision de la séparation des espèces s'est retrouvée mise au service de conceptions racistes du monde, et cela est en particulier lié à l'idée qu'une espèce dominante, à un moment, a fait la preuve d'une plus grande vitalité (*fitness*).

Beaucoup de théories xénophobes de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle se sont en effet réclamées de l'idée d'isolements génétiques des espèces (entre «espèces humaines» y compris), sans plus de mixité possible. Cette idée, cueillie sur l'arbre de vie, qu'il y a eu très tôt des divergences irréversibles entre les espèces, est entièrement fausse.

### *Spéciation, le début de la fin ?*

Ce qui diverge de manière stable, ce qui est incapable de se recombiner génétiquement finit d'ailleurs par disparaître.

La spéciation (incapacité à se recombiner avec d'autres espèces et sur adaptation à un écosystème précis) à l'extrême, due généralement à un isolement géographique, rend l'espèce très fragile, dépendante d'un seul écosystème.

Je pense, et ne suis pas le seul à le penser, que la spéciation conduit, *in fine*, à la disparition. Les traditions populaires qui moquent et méprisent la consanguinité (voir le tollé soulevé par la banderole exhibée sur un stade de football il y a quelques années et qui, entre autres termes choisis, traitait les supporters de l'équipe adverse de «consanguins») s'enracinent sans doute dans le constat, multiséculaire et empirique, que le non-mélange de ce que l'on appelle le patrimoine génétique finit assez mal. Le tabou, lui aussi multiséculaire, de l'inceste témoigne probablement de

*Première idée fausse : les espèces ont divergé très tôt*

cette conscience de la dégénérescence induite par la spéciation.

C'est précisément ce que recouvre l'expression on ne peut plus péjorative de «fin de race». Pour parler abruptement, la spéciation, c'est le début de la fin. Si, comme l'imaginait Charles Darwin, les espèces (toutes issues pour lui d'un hypothétique ancêtre universel commun) s'étaient définitivement séparées très tôt dans l'histoire du vivant, il y a donc des millions d'années, il n'y aurait en fait plus d'espèces vivantes sur la planète. Chacune aurait dégénéré dans son coin.

En effet, plus le répertoire génomique s'appauvrit (capacité moindre à acquérir de nouveaux gènes), moins l'espèce est apte à résister aux événements imprévus. La souplesse du répertoire permet de s'adapter à des conditions et à des écosystèmes différents; la faculté de collecter des gènes nouveaux, c'est celle de collecter de nouvelles armes pour faire face à des situations difficiles. Imaginons un pilote de chasse, sorte de super ingénieur volant, aux commandes des bijoux de technologie que sont devenus les bombardiers. Dans son domaine, il est redoutablement efficace; il règne en maître sur les théâtres d'opérations. Imaginons maintenant le même pilote victime d'une avarie technique puis d'un crash. Il a réussi à s'éjecter à temps mais le voilà à terre, en plein cœur du pays ennemi. Sa super spécialisation technique ne lui sera pas d'un grand secours s'il n'a pas aussi été entraîné à s'adapter aux contraintes de son nouvel environnement (techniques élémentaires de survie, combat au sol, etc.).

En résumé, plus la spéciation est avancée, plus le répertoire génomique sera efficace dans un contexte donné; moins il le sera en revanche dans un contexte mouvant.

Certains écologistes pensent notamment que les mammifères, trop avancés dans leur spéciation, vont tous disparaître, qu'ils se sont développés à une période donnée de l'évolution, pas très longue au regard de l'histoire de la vie

## *Dépasser Darwin*

sur Terre, et que cette explosion aura un terme, comme celle des dinosaures.

La spéciation, autrement dit la création des espèces, se fait quand il n'existe plus de recombinaison possible. L'arrêt de l'échange de gènes peut trouver son illustration dans la décadence des têtes couronnées d'Europe qui ne se mariaient plus qu'entre elles. Le sang bleu peut être considéré comme une tentative très poussée de spéciation. *Idem* pour les dynasties de pharaons qui devaient épouser leurs sœurs. Reste que l'infidélité des femmes (ou dans certaines sociétés les carnivals, bacchanales, etc.) vient souvent atténuer les conséquences de ces tentatives de spéciation extrêmes en permettant l'échange génétique et la résolution, en un sens, du problème de l'infertilité masculine. Pour mémoire, rappelons que, en France, 5 à 10 % des enfants ne seraient pas issus de leur père officiel.

Une équipe de l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier a récemment étudié les réactions des jeunes mères à la maternité. Une grande majorité d'entre elles a tendance à s'exclamer, dès l'apparition du nouveau-né : « Il [ou elle] ressemble à son père ! » Cette réaction s'observe aussi bien dans les cas où certaines caractéristiques de l'enfant (couleur des yeux, des cheveux, etc.) peuvent s'apparenter à celles du père que dans les cas où on chercherait bien en vain une quelconque ressemblance.

Elle serait une tentative inconsciente de conforter la paternité du principal intéressé.

### *Spécialisation : paysan contre citadin, qui subsistera ?*

La spéciation, extrêmement efficace dans un écosystème donné, est nettement plus fragile en milieu hostile, dans un environnement soudainement chaotique. Cette vulnérabilité se vérifie aussi bien sur le plan de la génétique que sur celui

### *Première idée fausse : les espèces ont divergé très tôt*

de la vie sociale où l'on parlera alors non plus de spéciation mais de spécialisation.

Un citoyen cadre supérieur spécialiste de tel ou tel marché financier peut passer pour plus malin, plus évolué donc, qu'un paysan de l'Ardèche qui sait cultiver, chasser, bricoler, etc. Mais, en cas de crise, si les voies de communication sont bloquées et les supermarchés non livrés, nul doute que c'est le paysan, plus rustique de notre point de vue mais aussi plus polyvalent, qui s'en sortira le mieux.

### *Darwin utilisé par les théories racistes*

La vision raciste du XIX<sup>e</sup> siècle, donc, considérait que si les Européens étaient techniquement dominants, c'est qu'ils étaient plus adaptés, plus évolués; que Noirs et Blancs s'étaient en un sens séparés dans l'arbre de la vie et que les premiers avaient moins évolué que les seconds.

Les Africains, jusqu'à un passé récent, ont été effectivement beaucoup moins spécialisés que les Européens. Ces derniers ont ainsi acquis une supériorité technologique qu'ils ont tendance à tenir pour acquise définitivement. Ils se trompent cependant en considérant que l'avancée technologique est une donnée stable sur le long terme.

Pourquoi les sociétés africaines se sont-elles moins spécialisées? Parce qu'il y a eu peu d'empires unifiés sur ce continent et beaucoup plus d'îlots de populations vivant à l'écart les uns des autres. Là où les peuples vivent en petits groupes séparés, ils se spécialisent nettement moins que dans les grandes communautés, les civilisations urbaines où le nombre élevé d'individus permet une répartition très fine et donc très efficace du travail. La polyvalence affaiblit considérablement la capacité à l'innovation technologique. L'individu n'a pas le loisir de se consacrer au perfectionnement d'une discipline puisqu'il doit en exercer de multiples.

Parallèlement, on constate aussi chez les Africains beau-

## *Dépasser Darwin*

coup plus de variabilité génétique et morphologique que chez les Européens : l'écart type entre un Pygmée et un Peul est supérieur à l'écart entre un Suédois et un Français.

Les groupes vivant de façon autonome maintiendront en effet une hétérogénéité génétique entre groupes beaucoup plus importante que dans un contexte de mélange des individus.

L'Afrique a donc longtemps été (et est encore d'une certaine façon) une juxtaposition de peuples génétiquement assez peu homogènes et elle présente plus, en ce domaine, de variété que des territoires gagnés par la mondialisation.

### *Les espèces continuent de se mélanger*

Si Darwin, donc, estimait que les espèces s'étaient séparées très tôt sans possibilité de se recombinaison entre elles, c'est aussi et surtout parce qu'il ne disposait pas des outils de la génétique. Certes, dans le monde du vivant visible (tout ce qui n'est pas microbien), il semble bien que la plupart des espèces ont atteint une sorte d'impasse évolutive et ne peuvent pas ou plus se reproduire entre elles. Cependant, l'étude des gènes nous montre que non seulement les micro-organismes se recombinaison en permanence entre eux, mais encore qu'ils peuvent intégrer et modifier le génome des êtres visibles : le ver de terre, la mouche... nous ! En somme, tout ce qui a de l'ADN est capable d'échanges.

### *Les amibes, terrain de rencontre des micro-organismes et camp d'entraînement des virus*

Les amibes, organismes unicellulaires, sont les êtres vivants ayant le plus grand génome. Ce qui montre bien, soit dit en passant, que la taille du génome n'a rien à voir avec celle de l'organisme. L'homme, par exemple, a nettement moins de gènes qu'un grain de riz ou que nombre d'amibes.

*Première idée fausse : les espèces ont divergé très tôt*

Les amibes ont ceci de très particulier et de très intéressant pour la communauté scientifique qu'elles sont un endroit de rencontre pour les êtres vivants. Insatiables, ces prédateurs dévorent tout ce qui est à leur portée et qui dépasse la taille du demi-micron. Nous l'avons vu, la spéciation naît d'un isolement géographique (ou allopatrie) tandis que le croisement des espèces est le fruit de la vie en communauté (ou sympatrie) des organismes.

Les amibes favorisent la vie en communauté et donc le transfert de gènes entre êtres vivants. Elles sont le seul milieu intracellulaire sympatrique. Tous les micro-organismes (très variés puisque la seule condition pour être dévoré par l'amibe est de dépasser le demi-micron) qu'elle absorbe se rencontrent dans cette sorte de lupanar biologique et échangent allègrement leurs gènes. On y trouve « un monde fou » et prêt à tous les échanges, un peu comme dans la cour d'une caserne de pompiers un soir de bal du 14 Juillet.

D'ailleurs, le plus grand virus connu au monde, le Mimivirus, découvert par mes collaborateurs et moi-même, a été débusqué dans une amibe. Quand nous avons trouvé Mimivirus, c'était dans le cadre de la recherche d'agents infectieux chez l'homme, et, en tombant sur cet énorme virus, nous avons été tout de suite très curieux de savoir à quoi nous avons affaire. De quoi s'agit-il ? Un virus de cette taille, comment est-ce possible ? Personne n'avait jamais rien vu de tel<sup>3</sup> ! Depuis nous en avons trouvé d'autres, aussi gros et même un peu plus, toujours dans des amibes. Nous nous sommes bien sûr posé la question de son potentiel pathogène, potentiel qui a notamment été confirmé par accident. En manipulant ce virus, un des techniciens de mon laboratoire a été contaminé, et, oui, ce virus est pathogène. Pas hautement et pas forcément fréquemment ; je vous rassure, le technicien va bien. D'ailleurs, avec un nom pareil,

---

3. Ce qui a d'ailleurs remis sur le feu une des définitions du virus basée sur la taille.

## *Dépasser Darwin*

Mimivirus, difficile d'imaginer ce microbe en serial killer. Officiellement, je l'ai baptisé ainsi parce que cela signifie «Mimicking Microbe Virus». Officieusement, c'est en souvenir des aventures de Mimi l'amibe, un héros de mon enfance, sorti tout droit de l'imagination de mon père qui me racontait ainsi l'histoire de l'évolution.

Comme elle dédaigne le menu fretin et ne dévore que ce qui dépasse le demi-micron, l'amibe est une sorte de réservoir à grands virus. Elle est aussi un camp d'entraînement pour tueurs professionnels. En effet, les bactéries qui ont appris à résister aux amibes et à survivre en elles ne se laissent pas détruire par les cellules macrophages censées nous défendre contre leurs attaques. C'est le cas, par exemple, dans la maladie dite du légionnaire. La bactérie qui a survécu à l'amibe est puissamment armée pour résister à nos systèmes de défense. Dans mon laboratoire, nous entretenons une sorte de zoo à amibes que nous nourrissons de toutes sortes de bactéries. Celles qui survivent, qui ne se laissent pas dévorer sans protester, nous les avons à l'œil.

## Sex-party géante sur la planète : nous sommes tous des chimères

### *L'être humain est une chimère*

Les êtres vivants, au contact les uns des autres, passent leur temps à échanger des gènes. Le monde est une espèce d'immense orgie collective. La fréquence de ces échanges est difficile à quantifier mais il semble qu'ils sont plus courants que nous aurions pu le penser. En un sens, la grosse machinerie hollywoodienne du cinéma qui aime à présenter de brûlantes histoires d'amour sur fond de conflits armés a sans doute raison, et le slogan de Mai 68 «Faites l'amour, pas la guerre» en partie tort : le monde du vivant, c'est à la fois la guerre (les organismes luttent pour survivre) et l'amour (les organismes se fréquentent et échangent copieusement des gènes).

Le dernier exemple en date de cette abondance inattendue des échanges dans le monde du vivant nous concerne d'ailleurs de près. Il nous apprend aussi qu'il faut se garder de dire trop vite que telle ou telle espèce a disparu, qu'elle a perdu la bataille pour la vie et qu'il faut la passer par pertes et profits.

Dernier exemple en date, donc, l'homme de Neandertal. Très récemment encore, on pensait qu'il n'était pour nous

qu'un vague et lointain cousin, disparu corps et biens depuis des dizaines de milliers d'années. Avait-il rencontré l'Homo Sapiens? Ce dernier, à qui on prête une intelligence supérieure, avait-il éliminé son lointain cousin réputé plus fruste?

En fait, en un sens, il est encore vivant. Comment? A travers nous. Que cela nous plaise ou non, nous sommes apparentés non pas uniquement à «l'intello» Sapiens mais aussi à ce «lourdaud» de Neandertal.

En effet, en mai 2010, les résultats<sup>4</sup> d'une analyse de l'ADN prélevé sur des os de Néandertaliens ont révélé que 1 à 4 % de nos gènes nous viennent de Neandertal.

L'Homo Sapiens et l'homme de Neandertal, quelques spécimens en tout cas, se sont donc rencontrés et métissés, ce qui va à l'encontre de tout ce que l'on pensait savoir jusque-là.

Nous voilà donc tous un peu néandertaliens!

Mais non, pas tous, si l'on en croit les résultats des tests comparatifs pratiqués sur des représentants des différents continents. Il semblerait, en effet, que chez les populations africaines, contrairement aux populations eurasiatiques, on ne trouve pas trace du patrimoine génétique de l'homme de Neandertal.

Le métissage aurait donc eu lieu après que les premiers hommes modernes eurent quitté l'Afrique, pendant la migration qui les a conduits vers les continents européens et asiatiques.

Nous le verrons plus loin, pour chaque cellule qui nous compose, nous abritons au moins cent bactéries, mille virus et dix archaea. Nous sommes «peuplés» d'organismes sans lesquels, d'ailleurs, nous ne pourrions pas vivre. Loin d'être un simple agrégat de cellules, nous sommes des écosystèmes à part entière, des écosystèmes naïfs puisque nous ne nous

---

4. Publiés dans la revue *Science*.

## *Sex-party géante sur la planète...*

rendons pas compte de la présence de tous ces hôtes clandestins. La science n'a pas fini d'en dresser la liste. Non seulement nous vivons au contact de ces milliards de micro-organismes, mais encore nous en sommes en partie le fruit. Les hommes de l'Antiquité étaient peut-être animés d'un juste pressentiment lorsque, dans les récits mythologiques, ils mettaient en scène des êtres hybrides, des chimères : satyres, Centaures et Minotaure pour les plus connus.

Toutes nos cellules sont composites; ce sont des mosaïques ou des chimères. Dans une cellule humaine, une majorité des gènes vient d'un «grand-papa» ou d'une «grand-maman» de la famille Eucaryote (et donc, pour simplifier, de la famille humaine), mais d'autres viennent d'autres eucaryotes, de bactéries ou encore de virus.

Une cellule, en résumé, est un répertoire de gènes et de régulateurs comparable au langage d'un individu. Si votre langue est le français, en tant que langue latine elle sera composée, à la louche, de 80 % de mots latins. Mais vous utilisez aussi un certain nombre de mots d'origine arabe, sans oublier ceux qui viennent de l'anglais, de l'espagnol, de l'italien, etc. Le français est donc une mosaïque, une chimère linguistique. Plus encore l'anglais qui est, au départ, un mélange à parts égales de français et d'allemand.

Il en va de même pour l'individu qui, faisant son arbre généalogique, se rend compte qu'il n'est pas uniquement poitevin mais a aussi des ancêtres alsaciens, qui eux-mêmes ont un aïeul espagnol, etc.

S'il dresse l'arbre généalogique de ses gènes, il constatera aussi qu'une majorité est issue de la famille Eucaryote mais que d'autres, dans des proportions non négligeables, sont d'origine virale ou bactérienne (sans oublier, mais pour une part assez infime, des gènes d'archaea). Plus particulièrement, tout notre appareil respiratoire nous vient de descendants des bactéries qui se sont installées à demeure, les mitochondries. Ces dernières, par ailleurs, ne sont transmises que par la mère.

## *Dépasser Darwin*

Nos cellules sont donc composites, tout comme les gènes de bactéries, virus et archaea. En d'autres termes, nos gènes nous viennent pour une bonne partie d'espèces microscopiques, des virus notamment. Plus encore, il est possible, voire probable, que des virus (particulièrement les rétrovirus, qui sont des virus à ARN, comme celui du sida) continuent, sous forme d'ADN, à s'intégrer à notre génome. Nous savons que nous sommes habités de rétrovirus mais nous ne savons pas vraiment ce qu'ils nous font.

Le génome humain en tout cas est constitué pour environ 8 % d'ADN de rétrovirus qui se sont intégrés au fil du temps.

Nous nous posons beaucoup de questions sur ces rétrovirus : pourquoi n'ont-ils pas été éliminés, comment se sont-ils intégrés, quel est leur rôle ? On sait par exemple que deux rétrovirus se sont intégrés dans le génome du premier ancêtre des grands singes. Ont-ils joué un rôle dans la différenciation des grands singes et le développement d'une intelligence supérieure ? Ont-ils d'abord rendu malades les sujets contaminés avant de muter puis de s'intégrer ? Peut-être que, dans un temps indéterminé, les virus du sida s'intégreront au génome de certains qu'il rendra résistants à l'infection par des virus. C'est en tout cas une évolution possible.

On constate en fait, de plus en plus, que beaucoup de zones de notre gène que nous ne comprenions pas, dont nous ne parvenions pas à établir ni l'origine ni la fonction, sont en réalité des microRNA issus de l'intégration des rétrovirus, et qui ont une activité antivirale. Il s'agit là, avec l'utilisation possible des microRNA, d'un des grands espoirs de la recherche contre l'infection virale.

Quand on aura analysé une centaine de génomes humains et les séquences virales de ces génomes, il est possible que nous ayons des surprises. Que seront ou que seraient les nouvelles branches humaines contaminées et modifiées par

## *Sex-party géante sur la planète...*

ces virus? Il est beaucoup trop tôt pour le dire. Si nous ne savons pas trop encore ce que nous font les microbes qui s'intègrent à notre génome, nous en avons en revanche un exemple majeur, qui a frappé de stupéfaction la communauté scientifique, avec la bactérie *Wolbachia*.

### *Wolbachia : les espèces se recombinent*

#### *Des bactéries «amazones»*

Les Amazones, ces farouches guerrières de la mythologie, avaient pour réputation non seulement de se trancher le sein droit pour mieux tirer à l'arc, mais encore de briser les bras et les jambes des enfants mâles ou de les rendre aveugles afin qu'ils soient inaptes à la guerre ou aux expéditions; quand elles ne les massacraient pas purement et simplement, bien entendu. La bactérie *Wolbachia* n'aurait pas démerité dans cette tribu violemment féministe. Certaines bactéries, en effet, peuvent influencer sur la fertilité de leurs hôtes et sur la proportion chez eux de mâles et de femelles. D'une part, elles empêchent les femelles qu'elles ont infectées d'être fécondées par des mâles non infectés; d'autre part, elles entraînent chez certains insectes la capacité à s'autocloner<sup>5</sup> sans l'intervention d'un mâle. Une de ces bactéries, en infectant des mites, provoque une surreprésentation des femelles à la naissance. Une autre, en infectant les coccinelles, tue les mâles à la naissance, mâles qui servent alors de nourriture aux jeunes femelles. D'autres, enfin, vont jusqu'à transformer les mâles en femelles au stade larvaire de la croissance de l'insecte.

Impossible pour l'instant encore de savoir si ce sex-ratio nettement en faveur des femelles joue ou non sur la dynamique

---

5. La parthénogenèse.

des populations infectées. J'ai pour ma part émis l'hypothèse que la favorisation des femelles présentait un intérêt dans les situations instables, chaotiques. Pour perpétuer l'espèce, il suffit en effet d'un mâle qui puisse féconder plusieurs femelles. L'inverse n'est pas vrai. Reste que cela est purement hypothétique.

Wolbachia<sup>6</sup>, donc, est une bactérie qui infecte à la fois des insectes et des vers.

Récemment, a été réalisée la séquence d'un ver infecté par cette bactérie. Celui qui a réalisé la séquence a eu la surprise de découvrir que pas moins de 80 % du génome de la bactérie était intégré par les chromosomes du ver<sup>7</sup>. En d'autres termes, le ver est devenu en partie une bactérie ! A notre échelle, cet événement est assez récent, de l'ordre d'un million d'années. Cette espèce est une espèce nouvelle. Des insectes infectés par cette bactérie ont ensuite été étudiés et les chercheurs ont découvert qu'ils étaient eux aussi porteurs de dizaines de gènes de la bactérie qui était venue littéralement les coloniser. Cette modification peut être reproduite en laboratoire. C'est ce qui se passe lorsqu'on introduit des gènes humains chez la souris blanche. Chez la souris ainsi modifiée, les ancêtres, du point de vue génétique, sont à la fois humains et souris. Nées de l'action humaine au lieu du hasard ou de Dieu, elles en deviennent pour certaines monstrueuses.

Soit dit en passant, du point de vue humain, le sort de ces souris n'est guère enviable. Du point de vue de l'évolution,

---

6. Elle infecte un ver qui donne une maladie appelée la filariose (dont les conséquences peuvent être graves : cécité, éléphantiasis...). Un certain nombre de manifestations observées chez le malade sont dues au fait qu'il contient cette bactérie et que cette bactérie déclenche des réactions inflammatoires. C'est donc le couple bactérie et ver qui est la cause de la maladie.

7. Et pour admettre ce résultat, que personne ne pouvait imaginer, il a fallu faire preuve d'audace, ne pas se borner à considérer que l'expérience avait été entachée d'erreurs, accepter que les hypothèses de départ n'aient pas été au rendez-vous à l'arrivée.

## *Sex-party géante sur la planète...*

en revanche, quelle réussite reproductive ! Grâce aux laboratoires, elles sont des dizaines de millions. Il s'agit d'un des mammifères les plus répandus de par le monde.

Les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) ainsi créés ne sont jamais rien d'autre que de nouvelles espèces. La bactérie colibacille à qui l'on transfère le gène humain de l'insuline pour aider au traitement des diabétiques est une nouvelle espèce qui fabrique de l'insuline à notre place. Cette nouvelle espèce de bactérie est dotée d'un gène humain. Est-elle humaine pour autant ? Cela dépend du gène que l'on regarde. Nous avons aussi, par exemple, introduit un gène du virus du sida dans un champignon afin de tester les molécules susceptibles de le combattre. En fait, tout ce qui a de l'ADN ou de l'ARN est capable d'échanges.

La classification des espèces en devient plus complexe mais, finalement, il est toujours moins faux de les classer en fonction de ce que l'on voit (voici un homme, une araignée, un lapin, un virus, etc.) que de prétendre les classer à partir de seulement quelques gènes, comme cela a été fait aux balbutiements de la génétique. En effet, dire «voici un homme» (et donc une chimère à majorité eucaryote) est plus vrai que dire «voici un ensemble de cellules eucaryotes».

Les organismes se recomposent donc entre eux en échangeant des gènes entiers, mais pas seulement. On a découvert, en effet, que même les gènes étaient composites. Deux gènes similaires à 80 % mis côte à côte peuvent se recombiner. Contrairement à ce que pensait Darwin, on ne diverge pas inéluctablement, on n'arrête pas de se remélanger. La vie est un immense échange généralisé et permanent. Elle est beaucoup plus complexe et beaucoup plus difficilement représentable que ne le laissait penser l'arbre de Darwin. Point n'est besoin cependant d'être chercheur en microbiologie pour l'admettre. Avec un peu de curiosité, pour qui regarde le monde du visible, on voit bien le mouvement et l'échange permanent des écosystèmes, la conquête de nouveaux territoires par les espèces du fait de la mondialisation.

## *Dépasser Darwin*

Avant l'arrivée des Espagnols en Amérique, il n'y avait pas de chevaux sur ce continent ; leurs ancêtres avaient disparu sans descendance.

Ceux importés par les Espagnols se sont remarquablement bien implantés sur ce nouveau territoire, et impossible maintenant d'imaginer un cow-boy sans sa fidèle monture.

Inversement, les Espagnols ont importé quantité de légumes jusque-là inconnus dans la vieille Europe (tomates, haricots blancs, pommes de terre...).

Tout change et tout se mélange, tout le temps.

## Deuxième idée fausse : les espèces dérivent les unes des autres

Il se crée tous les jours de nouvelles espèces. La création continue. Il n'y a donc pas d'ancêtre commun universel.

*La création ne s'est jamais arrêtée*

*Des évolutions brutales qui sont de pures créations*

Dans la vision darwinienne de l'évolution, la vie est apparue avec notre «ancêtre commun», les espèces se sont ensuite diversifiées avant d'évoluer chacune de leur côté. S'il apparaît de nouvelles espèces, c'est uniquement par adaptation, évolution des espèces existantes.

Mais, dans un cas comme celui que nous venons de voir, le ver ayant intégré 80 % des gènes de *Wolbachia*, nous sommes devant une espèce radicalement nouvelle. Il ne s'agit pas d'une évolution lente, étalée dans le temps, mais d'un saut brutal, d'une évolution massive qui s'avère être une véritable création.

Pour résumer, à partir de ce code commun qu'est l'ADN (d'où vient-il? Nul ne le sait de façon scientifique. Libre aux croyants d'en faire une création divine), de nouvelles choses se créent en permanence. Impossible donc, comme le pensait Darwin, de distinguer un ancêtre commun à tous.

## *Dépasser Darwin*

On peut comparer cette créativité permanente au langage. De nouveaux mots, désignant de nouvelles choses, apparaissent régulièrement. Avant l'invention du vélo, le mot désignant ce mode de transport n'existait pas. Le vocabulaire s'enrichit aussi par croisement de mots (vélib : vélo et liberté) ou encore par leur importation. Le mot «patate», par exemple, est un mot quechua. En empruntant la pomme de terre aux Indiens d'Amérique du Sud, nous leur avons aussi emprunté le mot qui la désigne. Nous ne leur avons pas emprunté en revanche le plat qui l'accompagne à table, le cobaye; nous avons préféré en faire un animal de compagnie sous le nom de cochon d'Inde.

Dans tous les cas, l'alphabet reste le même (de même que l'ADN reste le code universel du vivant), mais les mots créés pour désigner de nouvelles choses sont vraiment nouveaux, indépendants du vocabulaire préexistant. Ils ont droit à une place à part dans le lexique.

Pour en terminer avec l'analogie lexicale, on peut dire que certains mots sont encore en pleine gestation. Ils sont tellement mouvants que l'Académie ne peut pas espérer les figer pour le moment dans les pages de son dictionnaire. Il ne lui reste qu'à regarder et attendre.

De même, certains micro-organismes vivent dans une telle promiscuité, échangeant en permanence des gènes, qu'on ne peut même pas, en l'occurrence, parler d'espèces. Ils sont beaucoup trop instables pour que l'on puisse à un moment donné établir leur «carte d'identité». Dans des milieux comme l'eau ou le tube digestif, des organismes échangent énormément de gènes, et il se compose de nouvelles espèces tous les jours, dont le répertoire est totalement nouveau. Si le répertoire est bon, cette nouvelle espèce va se développer. La recombinaison n'est possible qu'à un stade où l'espèce ne s'est pas encore spécialisée, quand elle ne s'est pas encore séparée mécaniquement des autres vivants. Au-delà, c'est ce que l'on appelle l'impasse évolutive. Les êtres humains, par exemple, ne peuvent se reproduire, se recombiner qu'entre

## *Deuxième idée fausse : les espèces dérivent les unes des autres*

eux (à l'exception des virus qui peuvent s'intégrer dans leur génome naturellement ou par thérapie génique). La spéciation importante de l'homme rend très faible, pour ne pas dire nulle, la possibilité de le voir se reproduire avec une autre espèce. On ne peut pas créer de chimère entre l'homme et d'autres êtres visibles. En revanche, pour ce qui concerne l'homme et les espèces non visibles à l'œil nu, virus notamment, c'est une autre affaire. Il nous reste beaucoup à découvrir sur ce sujet.

## *Les gènes orphelins : preuve de la création permanente ou de l'éternel retour*

- Les gènes inconnus

La science commence à peine à explorer le génome. Après la génomique, nous sommes en train d'aborder les terres de la métagénomique. Plutôt que d'étudier le répertoire génomique d'un individu ou d'une bactérie, on part directement à la recherche du gène, de tous les gènes. Certains vont s'employer à séquencer tous les gènes que l'on trouve dans la terre, tandis que d'autres vont s'intéresser à tous ceux que l'on trouve dans l'eau, en passant par tous ceux que l'on trouve dans les excréments, etc. Si dans 1 à 2 % des cas les gènes trouvés sont eucaryotes (même proportion pour les archaea), on trouve environ 10 % de gènes de bactéries et 15 % raccordables à des virus. Dans 60 à 70 % des cas, on ignore totalement d'où ils viennent. Soit il s'agit de nouveaux gènes, soit il s'agit de gènes de virus ou bactéries inconnus.

- Les gènes orphelins

Pour en revenir aux erreurs de Darwin et de son arbre, non seulement, comme l'a développé Deleuze, il convient de penser l'origine des choses de façon multifactorielle plutôt qu'unifactorielle et hiérarchisée, mais encore, il faut bien comprendre que la création ne s'est jamais figée. Elle continue. Des gènes nouveaux apparaissent maintenant. La

## *Dépasser Darwin*

création, en un sens, ne s'est jamais arrêtée. De nouvelles espèces, nous l'avons vu, surgissent par échange de gènes, et, plus encore, de nouveaux gènes apparaissent !

Par dégradation, fusion, etc., il se crée de nouveaux gènes qui ne s'apparentent à rien du tout. Les gènes nouveaux sont... tellement nouveaux qu'on n'arrive pas à les rattacher à quoi que ce soit. Impossible de dresser leur arbre généalogique. On les appelle les gènes orphelins : ils sont en passe d'être les plus nombreux identifiés ! Il faut bien comprendre que les choses ne dérivent pas nécessairement les unes des autres. Toutefois, cette créativité de la vie permet probablement de recréer des fonctions disparues dans des conditions défavorables. Nous sommes donc face à des choses toujours nouvelles comme, aussi, à une sorte d'éternel retour.

Si la découverte de ces gènes inconnus glanés un peu partout a pu laisser perplexes les chercheurs en métagénomique, la découverte de gènes orphelins dans le génome humain a, pour le coup, vraiment estomaqué ceux qui le séquençaient. Certaines choses deviennent plus mystérieuses, gagnent en épaisseur et en opacité, au fur et à mesure qu'on tente de les connaître. C'est un peu comme si vous vous enfonciez dans une forêt, au départ claire et parcourue de sentiers bien tracés, puis de plus en plus sombre et labyrinthique. La cartographie des lieux, loin d'aller en se simplifiant, devient de plus en plus difficile à dresser. Lorsque le génome humain a été complètement séquencé, les chercheurs ont d'abord retrouvé de vieilles connaissances, des gènes qui avaient déjà été identifiés. Et puis, ils ont trouvé 10 à 15 % de gènes inconnus. Inconnus, ici, ne veut pas dire seulement que l'on ne sait pas à quoi servent ces gènes mais encore qu'on ne les a jamais vus nulle part. On a d'abord pensé que la difficulté à identifier ces gènes était à mettre au compte d'un manque d'informations et que, très logiquement, plus on séquencerait de génomes humains, plus cette proportion de gènes inconnus irait en diminuant. Erreur !

### *Deuxième idée fausse : les espèces dérivent les unes des autres*

Cette proportion se retrouve chaque fois que l'on séquence un génome. Ce que cela signifie, c'est que nous sommes en face de gènes orphelins (dont on ne peut retrouver les «parents», ce sont des gènes nés sous X) et surtout, chaque fois, de gènes totalement nouveaux. Comment ont-ils été créés ? Par le compactage de différents morceaux de gènes, par la dégradation d'autres gènes ? Nul ne le sait. Ils sont de toute façon tellement loin de ce que l'on connaît qu'ils sont nécessairement totalement nouveaux. Cette impossibilité à identifier une bonne fois pour toutes tous les gènes, la persistance de cette part d'inconnu en dépit de la multiplication des séquençages, implique que de nouveaux gènes se créent en permanence. Avec le temps, ces gènes orphelins seront ou ne seront pas sélectionnés. Ils seront triés à l'aune notamment de leur fonctionnalité et, très probablement, ils seront un nombre infime à subsister. La majorité des fruits de cette créativité biologique est appelée à disparaître, de même que la plupart des fruits de la créativité littéraire et artistique, livres et disques, ne subsisteront pas au-delà d'un certain nombre d'années.

Nous ne sommes pas là devant un phénomène d'évolution mais de création. Contrairement à ce que pensait Darwin, le monde du vivant ne se contente pas d'évoluer : il est en permanence en train de créer des choses totalement nouvelles et de recréer des fonctions disparues.

### *Seul ancêtre commun admissible : le code génétique*

Les êtres vivants ayant de multiples origines (rappelez-vous, nous sommes des chimères à base notamment de gènes de virus et de bactéries), et la création de nouveaux gènes et nouvelles espèces se poursuivant tous les jours, il est impossible de remonter à un ancêtre commun. On ne peut pas l'identifier et le décrire pour la simple et bonne raison qu'il n'existe pas. Les arbres qui fleurissent dans les publications

scientifiques ont donc une valeur représentative et non pas scientifique. Le début de la vie et de l'évolution, on ne sait pas y remonter. Certains imaginent qu'elle a commencé avec une molécule d'ARN (acide ribonucléique) ayant la capacité de s'autoreproduire. La très grande variabilité (lorsqu'elle se duplique, l'information se copie avec des erreurs) de ces molécules aurait permis la variété des gènes. La transformation de l'ARN (peut-être par l'entremise de virus primitifs) en molécules d'ADN aurait ensuite favorisé la stabilisation de la transmission de l'information génétique. Pour d'autres, nos cellules eucaryotes résulteraient de l'association de bactéries, d'archaea et de virus à ADN. Ainsi, impossible non seulement d'identifier un ancêtre commun (qui n'existe pas), mais encore de prétendre de façon certaine remonter aux débuts de «la vie» (notion par ailleurs irréductible à une définition scientifique). Comme le dit Eric Bapteste<sup>8</sup>, dans le cadre de l'évolution, on ne peut pas plus décrire le passé que prédire l'avenir.

Le seul ancêtre commun que nous puissions accorder à Darwin, qui ne pouvait pas bien entendu le connaître, c'est le code génétique, l'ADN. Nous, vivants, parlons tous à peu près le même langage. C'est la raison pour laquelle j'ai tendance à penser que ce qui est vivant, c'est ce qui a des acides nucléiques.

Ce qu'il faut aussi porter à son crédit, c'est la notion d'évolution. Si Darwin heurtait profondément les créationnistes du XX<sup>e</sup> siècle, c'est que ces derniers pensaient que le monde était stable depuis sa création... cinq mille ans plus tôt !

En introduisant la notion d'évolution, après Lamarck, Darwin est venu bouleverser cette conception figée, et sans doute rassurante pour ses adeptes, de la vie.

L'Intelligent Design, qui postule que la création évolue,

---

8. Chargé de recherches en biologie, CNRS.

## *Deuxième idée fausse : les espèces dérivent les unes des autres*

mais selon un sens défini par un créateur omnipotent, est venu pour partie supplanter le créationnisme pur et dur.

Voltaire, déjà, ne disait pas autre chose lorsqu'il expliquait ne pas pouvoir imaginer qu'une horloge (l'Univers) fonctionne sans l'intervention initiale de l'horloger, comme Einstein se méfiait du hasard en disant qu'il ne croyait pas que la Nature joue aux dés.

Tout cela n'est pas l'affaire de la science. Son objet est le fonctionnement de l'horloge, pas l'identification d'un éventuel horloger.

Il n'y a pas d'évidence ou de vérité révélée en science ; il n'y a que des déductions et des preuves. L'introduction de gènes humains dans la bactérie de l'espèce *Escherichia coli* pour produire de l'insuline, par exemple, est la preuve, utilisée au quotidien dans l'intérêt de centaines de milliers de malades du diabète, d'un patrimoine commun entre les vivants (en l'occurrence entre la bactérie et nous). Cette preuve n'est pas le fruit d'une sorte d'évidence ou d'un sacro-saint bon sens mais d'une recherche rigoureuse, sans *a priori* et solidement nourrie des connaissances disponibles. En se basant sur nos sens et le bon sens, nous en serions encore à considérer que la terre est plate. S'il est une phrase à proscrire dans l'enseignement de la science, c'est : « Cela va de soi. »

## *L'arbre de la vie ? Oui, si on le retourne*

L'arbre darwinien, pour en revenir à lui, peut être sommairement décrit ainsi : un ancêtre commun en guise de racines ; des branches maîtresses qui se séparent comme se séparent de façon stable, et très tôt, les espèces et, enfin, d'autres ramifications engendrées par ces branches<sup>9</sup>. Les

---

9. Comme une espèce en engendrerait une autre par évolution, par adaptation au milieu puis sélection des modifications bénéfiques. Voir l'idée très répandue que « l'homme descend du singe ».

## Dépasser Darwin

branches mortes et tombées à terre sont les espèces disparues, tandis que les rameaux verts et bourgeonnants sont les plus jeunes produits de l'évolution, ceux que l'on peut encore voir aujourd'hui, nous notamment.

L'idée de l'arbre (l'idée que, entre vivants, nous avons beaucoup en commun) n'est pas mauvaise en soi. Simplement, pour qu'il corresponde à une réalité, il faut le retourner. L'arbre de la vie d'accord, mais un poirier alors : la tête en bas et les pieds en haut.

Si on renverse l'arbre de Darwin, on obtient la forme d'un arbre généalogique beaucoup plus conforme à ce que l'on sait maintenant de l'évolution. Nous avons donc des ancêtres divers et non pas un ancêtre commun.

**La vie n'est pas** : un premier être vivant (qui a donc de l'ADN au sens où on l'entend maintenant) qui engendre un certain nombre de descendants, lesquels s'adaptent à leur milieu et, très tôt (il faut comprendre très tôt à l'échelle de l'évolution, des centaines de milliers d'années), se séparent radicalement pour fonder des espèces totalement étrangères les unes aux autres.

**La vie est** : un échange intense entre vivants et aussi une création permanente qui rendent parfaitement impossibles l'idée d'un unique ancêtre universel commun comme l'idée que les espèces vivant actuellement ne sont nécessairement que les dérivés d'autres espèces (issues *in fine* de l'introuvable ancêtre commun).

### **Troisième idée fausse : certaines espèces sont archaïques, d'autres sont modernes**

Inutile d'accabler Charles Darwin, l'idée que certaines espèces sont archaïques (entendez moins, voire pas évoluées) n'est pas la sienne. Elle est simplement une énorme erreur très communément partagée, fondée sur une méconnaissance profonde de ce qu'est l'évolution. Qui n'a jamais entendu ou même dit : «Les crocodiles sortent tout droit de la préhistoire. Ils n'ont pas évolué depuis des centaines de milliers d'années»? Rendons justice aux crocodiles considérés comme des brutes mal dégrossies directement sorties de l'âge des cavernes : cette stagnation de l'évolution d'une espèce est tout simplement impossible.

#### *Pas de définition scientifique de l'espèce*

Non seulement, comme nous allons le voir, il n'y a pas, c'est une absurdité, d'espèce archaïque, mais encore, y a-t-il vraiment des espèces?

La notion d'espèce est très controversée. Pour ce qui concerne le monde du visible, la définition biologique communément répandue est : «Sont de la même espèce deux animaux capables de se reproduire ensemble et de créer un être fertile.» La limite de cette définition est qu'il est sans doute possible que deux animaux s'accouplent et

aient une descendance mais, s'ils vivent dans des lieux séparés, s'ils ne peuvent pas se rencontrer, ce phénomène ne sera jamais observé. Peut-être, par exemple, les ours blancs et les grizzlis pourraient-ils concevoir ensemble ? Comme ils ne se rencontrent pas, la question reste posée.

Ernst Mayr a donc introduit une grande révolution dans la conception de l'espèce en évoquant les notions d'allopatricité (isolement géographique) et de sympatricité (vie en communauté). Il a avancé que : «est une espèce ce qui est isolé génétiquement» ; soit pour des raisons géographiques, soit parce que, dans son écosystème, pour des raisons  $x$  ou  $y$ , elle ne rencontre pas les autres.

Voilà pour le monde du visible. Au niveau des micro-organismes, la définition des espèces apparaît comme beaucoup plus complexe. Il n'y a pas de définition réaliste. Au départ, on tentait de définir des espèces par identification de caractères biochimiques ou morphologiques particuliers. Depuis une trentaine d'années, on a, je crois, régressé en tentant de définir des espèces par des analyses génétiques qui ne rendent pas du tout compte de la réalité.

En effet, il y a des organismes qui sont génétiquement proches d'autres espèces mais qui, très différenciés et manifestant des comportements très particuliers, sont donc, à mon sens, des espèces différentes. Cette question fait l'objet d'un débat important dans la communauté scientifique. On considère par exemple qu'il y a plusieurs millions d'espèces d'insectes et huit mille espèces de bactéries. Erreur ! Il y a beaucoup plus de diversité chez les bactéries que chez les insectes ! Simplement, comme on ne sait pas évaluer cette diversité, on s'est basé sur des critères génétiques qui n'ont pas beaucoup de sens.

En réalité, on ne peut pas dire qu'il existe une définition scientifique de l'espèce, pas plus d'ailleurs qu'il n'y a de définition scientifique de l'organisme ou de la vie. La meilleure définition de la vie, à mon sens, nous la devons à William Shakespeare dans *Macbeth* : «La vie est une histoire

### *Troisième idée fausse : certaines espèces sont archaïques...*

racontée par un idiot, pleine de bruit et de fureur, et qui ne signifie rien.» Et comme médecin, j'ajouterais «qui se termine toujours mal».

La question est loin d'être close et il faudra sans doute trouver d'autres mots pour progresser dans un débat où chacun entend des choses différentes derrière le mot espèce.

Il ne faut pas pour autant s'encombrer de questions de sémantique en science. Si on attend de se mettre d'accord sur la définition de la vie ou de l'espèce pour avancer, la recherche n'est pas près de progresser. La définition doit suivre la découverte, pas l'empêcher.

### *Pas d'espèce archaïque*

Les espèces évoluant et se recombinaient en permanence (jusqu'à l'impasse évolutive), l'idée d'espèce archaïque n'a aucun sens. Pour comprendre à quel point cette idée est fautive, il faut bien voir que l'évolution interne des gènes s'effectue en majorité par des accidents de polymérase (la polymérase permettant la copie de l'ADN dans la reproduction). De la même manière qu'un copiste reproduisant un texte va régulièrement se tromper de lettre, la polymérase va régulièrement connaître des accidents dans son processus. Penser que le crocodile est une espèce n'ayant pas évolué, c'est penser que sa polymérase est infaillible. C'est tout simplement impossible. Cette conception largement répandue est à mettre au compte d'un manque de connaissances. Darwin, s'il a pu, comme on l'a vu, se tromper sur un certain nombre de points, avait cependant bien compris que les espèces ne cessaient jamais d'évoluer.

Pour un béotien, tous les crocodiles se ressemblent (de même que, vu d'un bateau, un dauphin peut passer pour un requin. Certains insectes, qui en ont l'apparence, peuvent passer pour des brindilles, etc.). Pour un spécialiste des crocodiles, en revanche, il y a énormément de variétés différentes

## *Dépasser Darwin*

issues de l'évolution de l'espèce. Bref, pour qui n'est pas spécialiste, les apparences sont trompeuses.

De manière théorique, les espèces évoluent toutes à la même vitesse, leurs gènes évoluant à la même vitesse. Il n'y a pas de raisons que la polymérase d'une espèce soit moins sujette à l'erreur que la polymérase d'une autre. D'un point de vue génétique, toutes les espèces présentes et proliférant à l'heure où vous lisez ce livre, quel que soit leur délit de sale tête préhistorique, sont aussi évoluées que vous. Le crocodile, la bactérie, vous, qui tous êtes aujourd'hui adaptés à votre écosystème, n'êtes pas plus ou moins évolués les uns par rapport aux autres. Tout change, tout le temps et, généralement, à la même vitesse.

Pour être tout à fait juste, en réalité, il peut y avoir ici et là des différences de vitesse d'évolution, en fonction de la stabilité de l'écosystème dans lequel évolue l'espèce; des écosystèmes, nous le verrons, maintenant assez largement bouleversés par l'homme.

## Quatrième idée fausse : ne se transmettent que les caractères utiles à l'espèce

### *Le gène égoïste*

*Le gène égoïste : vos gènes ne vivent que pour eux-mêmes, pas pour vous*

Jusqu'aux découvertes de la génétique, cette vision de l'arbre de la vie sur lequel figuraient des mondes très différents, séparés très tôt les uns des autres, s'est imposée à l'ère postdarwinienne.

Aujourd'hui encore, que ce soit dans l'esprit du grand public ou dans de très bonnes revues, cette idée reste très répandue; on a juste consenti à y faire une place pour les archaea, bactéries et eucaryotes.

En réalité, si on regarde maintenant les gènes, on parvient à une vision différente de l'évolution. C'est ce qu'a fait, il y a une vingtaine d'années, l'éthologiste Richard Dawkins qui n'a pas inventé mais a, en revanche, très bien développé la théorie du gène égoïste.

Il explique, en substance, que l'évolution ne se porte pas sur les organismes mais sur les gènes. Les conséquences pour les espèces des modifications génétiques ne seraient que le résultat de la stratégie des gènes pour se dupliquer le plus possible.

Tout se passe, en fait, comme si les gènes avaient une vie

## *Dépasser Darwin*

autonome et cherchaient, comme les organismes, à se dupliquer, à se reproduire dans les meilleures conditions possibles. A cette fin, ils s'associent entre eux de manière opportuniste; un peu à la façon des pays s'alliant entre eux dans tel ou tel but, à tel ou tel moment de l'histoire. La carte des pays n'est d'ailleurs pas plus stable que les espèces. La France, jusqu'en 1768, n'intégrait pas la Corse et, il y a une soixantaine d'années, elle comportait les départements d'Algérie.

En histoire comme dans la science du vivant, il faut dater les définitions; il faut préciser de quel moment on parle. La France de Pompidou n'est géographiquement pas la même que celle de Philippe le Bel. Il en va de même pour les espèces au fil du temps. Une espèce étudiée à un instant donné n'est, avec la théorie du gène égoïste, que le résultat ponctuel de l'association opportuniste de gènes cherchant à se dupliquer le plus et le mieux possible. De ce point de vue, la fonction que peut développer le gène au service de l'organisme dans lequel il s'est intégré devient pour lui le moyen de se perpétuer. Les gènes inutiles, en effet, en accumulant des mutations neutres finissent le plus souvent par disparaître. L'expression «gène inutile» peut surprendre mais il faut bien comprendre que le gène égoïste peut l'être (égoïste) au point que certains gènes n'ont strictement d'autre fonction que leur propre reproduction. Certaines bactéries ont jusqu'à 40 % de leurs gènes qui ne servent... à rien. En tout cas, à rien d'autre qu'à se dupliquer. On est loin de la vision darwinienne de la transmission sélective des caractères utiles à l'espèce. Cela peut sembler vexant mais, pas plus, nous le verrons plus loin, que le virus ou la bactérie qui vous infecte ne cherche à vous détruire, le gène ne collabore intentionnellement à votre bien. Il faut s'y faire, la nature est parfaitement indifférente à notre sort.

En particulier, certains gènes ont trouvé un système imparable, une sorte d'arme fatale pour ne pas disparaître en

### *Quatrième idée fausse : ne se transmettent...*

dépit de leur inutilité pour l'organisme. Ils fonctionnent en binôme ; l'un code une toxine et l'autre l'antidote ; l'antidote durant moins longtemps que le poison. Si vous décidez de les attaquer, la toxine finit par vous tuer puisqu'elle a une durée de vie supérieure à l'antidote ! Ces invulnérables couples toxine / antitoxine ne servent à rien d'autre qu'à leur propre survie.

Les gènes égoïstes sont des parasites dont certains peuvent proliférer au point de tuer la cellule qui ne parvient pas à les réguler ou qui tente de s'en débarrasser. Ils ne cherchent pas à tuer. Ils veulent juste se reproduire tranquillement, et si l'organisme vient à en mourir, ce sera une sorte de dégât collatéral. Pour paraphraser les mafieux de cinéma : « Ça n'a rien de personnel. » Et que dire des gènes de la bactérie *Wolbachia* qui s'intègrent massivement aux vers et mouches contaminés ? Les gènes sont pris la main dans le sac. Nous sommes là devant un flagrant délit de gènes égoïstes. Ceux-ci se sont dit : « Passons outre l'organisme bactérien et allons directement nous faire reproduire par les animaux contaminés. »

Plus globalement, la théorie de Dawkins est que tous les gènes (même utiles à l'organisme, contrairement au couple toxine / antitoxine) ne vivent que pour eux-mêmes. Un gène n'est pas altruiste ; ce n'est en aucun cas une petite sœur des pauvres. Il ne nous aime ni ne nous déteste. Simplement, il trouve parfois son intérêt à vivre dans des organisations. Comme certains d'entre nous aiment à vivre dans des mégapoles de dix millions d'habitants, certains gènes aiment à vivre dans des grosses cellules ou des organismes multicellulaires. D'autres, au contraire, préfèrent vivre dans des bourgs ou des petits villages.

Vus d'avion, ces villes et villages semblent des organismes très différents et autonomes, qui ne vivent que pour eux-mêmes. De plus près, on constate qu'ils sont composés d'humains qui se sont associés parce qu'ils estimaient qu'il

## *Dépasser Darwin*

valait mieux pour eux vivre à Bombay ou à Aumont-Aubrac. La collectivité fonctionne finalement plus dans l'intérêt de l'individu que l'individu ne vit pour la collectivité. On peut aussi trouver les mêmes types de personnes à Bombay ou à Aumont-Aubrac comme on trouvera le même gène dans des organismes différents.

### *La cellule altruiste*

Autant le gène peut être égoïste, autant, dans ces villages et mégapoles, dans ces sociétés organisées que sont les organismes, la cellule peut être altruiste.

Pour le bien de l'ensemble, en effet, certaines cellules s'autodétruisent (apoptose). L'embryon, notamment, se sculpte par apoptose. Une cellule infectée par un virus peut se «faire hara-kiri» pour éviter que le virus se propage dans l'organisme; un peu comme un soldat se ferait tuer sur place pour défendre le reste de son unité. La cellule, en un sens, se suicide pour sa famille (par famille on entend ce qui a un répertoire génétique similaire ou proche).

Si le gène, lui, est égoïste, l'organisme qui vit avec d'autres ne peut pas l'être complètement. Dans tout organisme complexe ou société, on observe que certains de ses membres se sacrifient pour le bien des autres, comme le soldat sur le champ de bataille.

Cette théorie du gène égoïste s'est trouvée très rapidement validée par la révolution que nous vivons actuellement, la séquence des gènes.

## *Quatrième idée fausse : ne se transmettent...*

### **Darwin, de quoi il retourne. Darwin, remise en cause : synthèse et récapitulatif**

#### **Darwin avance que :**

- Les espèces évoluent

Le terme d'évolution, d'abord, a un sens qui n'est pas vérifié. La seule chose que l'on puisse dire est que tout change, tout le temps. Ensuite, ce mot aura une connotation positive de progrès, d'orientation vers le bien de la nature, qui n'a pas de signification pour le scientifique.

- Elles évoluent parce qu'elles luttent pour l'existence au milieu d'une féroce guerre du vivant. Le résultat de cette lutte des plus aptes est la sélection naturelle. Sont retenues les espèces les plus performantes. La sélection va donc dans le sens du progrès.

#### *Les plus aptes aux sommets de l'évolution, vraiment ?*

Darwin considérait, ce qui est vrai relativement (dans un écosystème donné) mais inexact dans l'absolu, que la sélection favorisait les plus aptes. Les plus aptes, en l'occurrence, sont ceux qui se reproduisent et se multiplient le mieux.

A cette aune-là, les insectes, qui sont bien plus nombreux que nous, sont l'apogée de l'évolution. Quant à l'idée que l'homme est le plus adapté, elle est réduite dans le temps, très anthropomorphique et, surtout, fausse scientifiquement.

On sait bien, maintenant, que quantité d'hominidés (ressemblant aux humains comme Lucy) ont disparu purement et simplement, et pourtant, de notre point de vue, on imagine bien qu'ils étaient plus malins que des rats ou des fourmis.

Voyez aussi les grands singes qui, pour nous, sont les animaux les plus intelligents. Ils sont pourtant en passe de disparaître. Difficile, en ce cas, de penser qu'il y a toujours un avantage, du point de vue de l'évolution, à être plus intelligent (sauf pour nous, semble-t-il).

## Dépasser Darwin

*La sélection va dans le sens du progrès ? Lequel alors ?*

La sélection favorise le plus fort et va dans le sens du progrès ? La théorie de Darwin, plus précisément, est que l'évolution s'opère par des mutations hasardeuses et par la fixation des variations bénéfiques (tandis que sont éliminées les mauvaises). Elle est vraie, mais seulement en partie. Considérer que l'évolution va globalement dans le sens d'une amélioration permanente, c'est en avoir une vision très déterministe. A mon sens, les espèces vivant actuellement ne sont pas nécessairement plus évoluées que celles qui ont disparu il y a un million d'années. Ces espèces disparues n'étaient plus adaptées à leur écosystème, mais rien ne dit que si, par une expérience de type *Jurassic Park*, elles revenaient à la vie, elles ne seraient pas très bien adaptées à l'écosystème actuel. Une espèce qui a évolué puis disparu il y a des centaines de milliers d'années n'est donc pas nécessairement plus rustique, archaïque, inachevée, inaboutie, etc., qu'une espèce vivant en 2010.

En réalité, une espèce qui a perdu la « guerre du vivant » à une époque donnée et dans un contexte donné aurait très bien pu la gagner en d'autres temps et d'autres lieux. Bien avant l'arrivée des Espagnols en Amérique, les chevaux avaient disparu de ce continent. Leur réintroduction par les conquistadors a montré qu'ils étaient parfaitement adaptés à ce continent. Pourquoi avaient-ils disparu ? Nous n'en savons rien. Ce que nous constatons, c'est qu'une espèce qui a perdu une bataille de la « lutte pour la vie » à un moment peut gagner la guerre à un autre. Ce que dit Darwin de la sélection naturelle est donc vrai à un moment donné dans un contexte donné ; on ne peut pas en tirer une loi de progrès général. D'ailleurs, peut-on penser qu'un staphylocoque qui a maintenant un gène de résistance aux antibiotiques est (en tout cas pour nous) un progrès par rapport à un staphylocoque d'il y a cent millions d'années ? Cette idée de progrès, on le voit, n'a finalement pas vraiment de sens.

*Les évolutions sélectionnées sont toujours favorables à la survie de l'espèce ? Oui, mais non.*

Des rétrovirus se sont intégrés dans nos cellules il y a des centaines de milliers d'années. Ils ne sont pas radicalement différents du virus HIV que nous connaissons.

### *Quatrième idée fausse : ne se transmettent...*

Rien ne dit que ce virus, dans un temps indéterminé, ne se sera pas aussi intégré à notre patrimoine génétique. Darwin, quand il estimait que ne se transmettaient que les caractères les plus utiles, les plus efficaces pour l'espèce, n'avait pas connaissance du phénomène d'infection. Le gène de virus qui, par parasitisme, intègre un organisme puis se transmet de génération en génération n'a en aucune façon le souci de l'amélioration de cet organisme. Et que dire des bactéries dont la stratégie consiste à créer une addiction chez l'hôte? Une fois contaminé, l'hôte ne peut plus s'en passer. Au point que l'administration d'un antibiotique visant à tuer la bactérie éliminera dans certains cas aussi la cellule qui l'abrite. La théorie générale, en l'occurrence, est une théorie altruiste ou mutualiste qui veut que si la cellule infectée ne peut plus s'en passer, c'est que la bactérie lui apporte quelque chose de positif. On a effectivement des cas où la cellule ne sait plus fabriquer d'acides aminés, et c'est son symbiote, la bactérie qui l'a contaminée, qui va s'en charger à sa place. Si cette théorie altruiste se vérifie dans un certain nombre de cas, on ne peut pas pour autant en faire une généralité. Il faut à mon sens parler d'addiction mais pas nécessairement d'altruisme. La bactérie peut rendre son hôte dépendant mais sans lui apporter un quelconque bénéfice. Elle ne s'occupe en fait que de sa propre survie. C'est ce que nous sommes en train de démontrer dans mon laboratoire sur le couple toxine / antitoxine codé par les gènes d'une bactérie que nous étudions. Non seulement les gènes en question ont trouvé là le moyen imparable de subsister dans la bactérie, mais encore nous sommes sur le point de prouver que la bactérie elle-même se sert du couple toxine / antitoxine pour subsister dans son hôte. Pour résumer ce processus, que l'on ne peut en aucun cas qualifier d'altruiste, nous avons donc des gènes égoïstes qui trouvent le moyen de se rendre indispensables à une bactérie à laquelle ils n'apportent rien, et nous avons une bactérie qui en profite pour s'imposer à un hôte auquel elle n'apporte rien non plus. Plutôt que l'idée darwinienne d'une sélection visant à un progrès continu des espèces, l'évolution ce serait plutôt en l'occurrence : «Chacun pour soi et Dieu pour tous.» Ce à quoi on pourrait ajouter «et l'autre comme moyen de ma propre survie».

## Dépasser Darwin

Récemment en effet a été découvert le transfert d'un gène égoïste d'un parasite à son hôte.

On est vraiment, ici, dans la pure stratégie égoïste du «chacun pour soi». Le gène se moque éperdument de l'intérêt du parasite qui, lui-même, n'a que faire du devenir de son hôte.

- Les perfectionnements sont progressifs. La nature ne fait pas de sauts

Cette idée que l'évolution se fait toujours de façon très progressive est tout simplement fausse. Il y a des phénomènes rapides, chaotiques, rares et aux conséquences imprévisibles qui changent le destin de tel ou tel groupe d'êtres vivants. Par exemple? Par exemple, citons la création des mitochondries qui, se mettant dans des cellules que l'on pourrait appeler «pré-eucaryotes», ont donné, *in fine*, les cellules complexes qui forment les êtres visibles dont l'homme.

*Idem* pour Wolbachia. Cette bactérie qui s'est intégrée dans le chromosome d'un ver puis d'un moustique ne l'a pas fait de façon progressive. Elle n'a pas intégré ses gènes parcimonieusement, les uns après les autres. Elle l'a fait en une seule fois; le ver s'est retrouvé d'un coup doté de cinq cents à huit cents gènes supplémentaires. Pour lui, le moins que l'on puisse dire est qu'il ne s'agit pas d'une petite et lente mutation. Il s'agit là d'une transmission génétique non verticale et brutale, tout le contraire de l'évolution verticale et lente que supposait Darwin.

Darwin pensait que l'évolution se faisait de façon graduelle, par d'infimes et lents changements. On sait maintenant, comme l'a démontré Jay Gould, qu'elle s'opère aussi par des ruptures, des événements majeurs suivis de dérives. Les spécialistes n'ont pas fini de gloser sur l'impact qu'ont eu l'écrasement d'un astéroïde géo-croiseur dans la péninsule du Yucatan, il y a des millions d'années, et l'éruption du super volcan du Yellowstone, il y a un peu plus de soixante mille ans. C'est à la suite de ces ruptures que se déploie une nouvelle arborescence. L'évolution n'est donc pas uniquement graduelle mais aussi ponctuée.

- Les parents transmettent à leur descendance ces modifications acquises

L'idée que la transmission des caractères se fait exclusivement

### *Quatrième idée fausse : ne se transmettent...*

de façon verticale, de parent à enfant, et ce à partir d'un ancêtre commun, ne tient plus du tout la route face aux découvertes de ces dix dernières années qui indiquent que les gènes s'échangent allègrement en permanence tout autour de la planète. En revanche, on peut effectivement parler de cousinage entre les vivants. En cela, Darwin avait raison. De même qu'il faut lui reconnaître la justesse de ses intuitions quand il avance que les espèces ne sont pas figées et qu'elles luttent pour la domination de leurs écosystèmes.

### **Darwinisme : ne pas en faire une nouvelle religion**

Darwin a beaucoup apporté à la science à un moment donné, son analyse est tout à fait intéressante replacée dans son contexte (*idem* par exemple pour le marxisme ou la psychanalyse), mais il faut se garder d'en faire une nouvelle religion.

Les scientifiques ne sont pas des croyants. Par nature, ils sont des renégats.

Ils sont amenés à changer d'opinion en fonction de l'apparition de faits nouveaux.

«C'est évident» ou «ça tombe sous le sens» sont des assertions parfaitement antiscientifiques. En science, il y a ce que l'on connaît et ce que l'on ne connaît pas. Tant que les choses ne sont pas vérifiées, démontrées, on peut toujours avoir une opinion mais il faut se garder de la présenter comme une vérité révélée.

Si j'ai pu constater quelque chose au cours de ma carrière, c'est que, lorsqu'on parle de ce que l'on ne connaît pas, on se trompe toujours. Quand je donnais des cours il y a quelques années, je parlais de la prolifération des chats et de la disparition inéluctable des tigres dans le monde. Je connaissais mal le sujet et je ne savais pas que le hobby des classes aisées américaines était la possession de tigres d'appartement. Avec plusieurs milliers de leurs congénères vivant sous des toits américains, les tigres n'étaient pas si menacés que je le croyais et l'enseignais. Les chats, en revanche, stérilisés en masse par des sociétés protectrices d'animaux, ont peut-être un avenir moins prolifique que celui que je leur prédisais.

## *Dépasser Darwin*

La leçon que j'en ai tirée est qu'il ne faut pas parler de ce que l'on ignore et qu'il ne faut pas se hasarder à prédire l'avenir.

Un exemple récent de cette impossibilité à prévoir l'avenir d'une espèce ou l'avenir tout court? La panique autour de la grippe H1N1 est venue nous rappeler que nous ne sommes pas à l'abri des événements stochastiques que sont les épidémies.

Ces épidémies, d'ailleurs, ne sont rien d'autre que le résultat de la stratégie de survie et de prolifération d'espèces microbiologiques dont, comme nous allons le voir, nous pouvons, par nos comportements, assurer le succès. Nous pouvons, en fait, agir assez puissamment sur l'évolution des espèces (plantes, animaux, microbes). L'homme vit dans des écosystèmes, visibles et microscopiques, qu'il modifie profondément (concentrations urbaines, déplacements, guerres, nouveaux loisirs...), pas toujours à son avantage.

**L'homme dans son écosystème :  
l'évolution sous influence**



Nous le verrons plus loin, non seulement l'homme est une mosaïque mais il est aussi un écosystème à lui tout seul, un monde dans lequel cohabitent et quelquefois se battent furieusement des millions de micro-organismes. Cet écosystème ambulante évolue dans d'autres écosystèmes qu'il modifie et qui le modifient. Par là même, il se met à la merci de nouveaux microbes qu'il n'était pas censé rencontrer et, donc, de nouvelles maladies.



## Les nouvelles maladies liées aux animaux

Dans les tranchées, les poilus de la Grande Guerre ont connu une explosion épidémique des poux, notamment les poux de corps qui, contrairement aux poux de tête, donnent des maladies : typhus, fièvre récurrente et fièvre des tranchées. Dans des conditions d'insalubrité extrême (et on imagine bien que les soldats de 14-18 n'avaient pas pour principal souci de changer de vêtements tous les jours), la population de poux peut augmenter de 10 % par jour et atteindre rapidement des millions d'exemplaires. On estime que le typhus a tué au cours des derniers siècles, et à l'occasion des conflits armés, plus que les armes. Une mortalité considérable, due à ce phénomène, a ainsi été constatée au cours des guerres napoléoniennes mais également dans les camps de concentration allemands et le goulag russe où environ trente millions de personnes seraient mortes du typhus.

La maladie et la guerre sont intimement liées, au point que l'une peut présider à l'issue de l'autre. A Valmy, sans pour autant remettre en cause la valeur des conscrits de l'an II, il semblerait bien que la dysenterie ravageant les troupes prussiennes a aussi très efficacement servi les armées françaises. Les Prussiens, crottés, fourbus et surtout affamés, souffraient de pénibles diarrhées. Difficile pour un soldat de monter en ligne en se tenant le ventre.

## *Dépasser Darwin*

Sans même parler des poux, morpions, gale et autres sympathiques bestioles dont la compagnie n'est pas franchement recherchée par l'homme (et dont la présence donne une estimation des conditions de vie de la population), beaucoup d'animaux réputés plus amicaux nous transmettent des maladies. Les animaux familiers nous transmettent en fait quantité de maladies infectieuses ou parasitaires : maladie des griffes du chat, toxoplasmose et rage pour les plus connues.

Quand les virus animaux nous infectent mais sans contagion interhumaine, nous parlons alors de zoonose. Les modes de contamination peuvent être : le maître griffé par son chat, l'éleveur s'affairant dans son étable, sa bergerie ou son poulailler, le vendeur trônant au milieu de son étal, le consommateur mangeant une viande infectée, etc. On pense notamment que le virus HIV, avant de devenir une infection interhumaine, a commencé à infecter l'homme par la consommation de viande de singe. Assez probablement, les tabous alimentaires de certaines religions trouvent leur source dans le lien qui a été fait il y a déjà des siècles entre la consommation de viandes ou crustacés et l'apparition de maladies, pour autant que le délai entre la contamination et la survenue de l'infection soit court. Il a fallu, en d'autres termes, que le constat de l'agression intervienne assez rapidement après l'agression pour que le coupable (côte de porc, huître) soit identifié.

### *Chiens de prairie : petits, mignons... contagieux*

Des nouvelles maladies touchent l'espèce humaine, d'une part parce que, tout simplement, de nouveaux microbes apparaissent (la création, nous l'avons vu, est permanente), d'autre part parce que nous modifions nous-mêmes notre écosystème et entrons ainsi en contact avec des microbes que nous n'aurions jamais dû rencontrer. C'est ce qui se

## *Les nouvelles maladies liées aux animaux*

passé avec l'introduction dans nos habitations des animaux de compagnie, spécialement avec ce que l'on appelle les NAC (Nouveaux Animaux de Compagnie). Ces derniers nous mettent notamment au contact des POX virus (famille de virus dont est issue la variole). Les Américains, par exemple, se sont entichés des chiens de prairie. Ces petits animaux, contrairement à ce que leur nom pourrait indiquer, ne ressemblent pas du tout à des chiens mais plutôt à des marmottes. Petits, faciles à nourrir, à héberger et à caresser, ils se sont multipliés dans les foyers américains. On a vu apparaître alors chez leurs propriétaires une maladie jusqu'ici détectée uniquement en Afrique, le Monkey Pox, une zoonose transmise par les singes. Similaire en certains points à la variole (mais heureusement bien moins grave), ce virus se manifeste notamment par des lésions de la peau. Une enquête des services de santé américains a fini par révéler que les chiens de prairie avaient attrapé le virus en transitant dans des animaleries où ils avaient croisé des rongeurs africains porteurs du Monkey Pox.

En France, nous ne sommes pas non plus épargnés par ces nouvelles maladies. Les NAC, ce ne sont pas seulement de charmantes petites boules de poils comme le chien de prairie ou le chinchilla (rongeur ressemblant *grosso modo* à un lapin miniature), pas non plus toujours des oiseaux vivement colorés comme les perruches ou des animaux étranges comme les caméléons; ce peut être à la fois plus banal et plus inattendu.

Dans mon laboratoire, par exemple, nous avons reçu des prélèvements d'individus contaminés par un virus transmis par... des rats de compagnie, le même virus que celui de la vaccine<sup>10</sup>.

A propos de rats, rappelons que, contrairement à une idée très répandue, ce ne sont pas eux directement qui

---

10. Maladie proche de la variole, affectant les vaches et transmissible à l'homme.

## Dépasser Darwin

transmettaient la peste mais leurs puces. Piquant les rats infectés, elles allaient ensuite piquer les hommes qu'elles contaminaient. La peste n'est que très rarement contagieuse directement de façon interhumaine, ce qui ne l'a pas empêché d'afficher des scores de mortalité effarants. Selon certaines estimations, la peste de Justinien (qui éclata vers 542 après J.-C.) aurait fait (en deux cents ans) jusqu'à cent millions de victimes. Parmi elles, le pape Pélagé II, dont la mort mit à son comble la terreur des Romains.

Plus tard, en 1720, Marseille a chèrement payé, par la mort de 20 à 30 % de sa population, la rupture de quarantaine d'un bateau en provenance d'Orient. Parmi les récits horribles de ce martyre de Marseille, on trouve les célèbres pages du *Temps des Amours* de Marcel Pagnol qui évoquent une ville transformée en charnier : «*Devant la porte du drapier, juste à gauche, sa jardinière était arrêtée. Sur le siège, il n'y avait personne. Mais sur le plateau, la femme et les quatre filles étaient couchées les unes sur les autres. Elles avaient des visages noirs et rouges, et horriblement enflés : la mère serrait encore dans ses bras la plus petite, qui avait l'air d'une poupée goudronnée.*» La mémoire de cette grande peste a longtemps hanté les rues de Marseille; un peu trop au goût de certains, si l'on en croit Stendhal dans ses *Mémoires d'un touriste* : «*Je dois aborder maintenant une tâche ennuyeuse. Il faut parler de la peste qui désola Marseille en 1720. On n'en parle que trop à Marseille : et c'est ici, pour la première fois, que j'ai compris l'expression "ennuyeux comme la peste".*»

Récemment, enfin, nous avons montré, avec mon équipe, que les gènes du bacille de la peste pouvaient jouer les Hibernatus en dormant tranquillement dans le sol, pendant plusieurs années. Certaines bouffées épidémiques de peste signalées à Madagascar pourraient donc trouver leur origine dans la cérémonie dite du retournement des morts (ou Famadihana). Tous les cinq ans, les défunts sont extraits de

## *Les nouvelles maladies liées aux animaux*

leurs sépultures, le temps d'une danse et d'une « conversation » amicale avec leurs descendants. Le bacille de la peste peut en profiter pour s'inviter à la fête et, bien vivant lui, contaminer les participants.

### *La cystite, ou quand l'infection nous vient des poulets*

Très répandues de par le monde et touchant surtout les femmes, les infections urinaires ont longtemps été imputées au seul manque d'hygiène. Et puis, il y a quelques années, on s'est aperçu que l'on retrouvait chez des centaines de milliers de patientes la présence d'une bactérie résistant à l'antibiotique le plus couramment prescrit dans les cas d'infection urinaire. Les travaux d'analyse ont alors montré que cette bactérie présentait le même profil et, donc, avait la même souche, tout autour du monde. Nous voilà donc non plus seulement confrontés à un problème d'hygiène personnelle mais à une épidémie massive et mondialisée ! Cette énorme épidémie est pourtant longtemps passée inaperçue ; personne n'ayant soupçonné son existence et à plus forte raison son implication dans l'infection urinaire. Une fois la bactérie débusquée, les scientifiques se sont attelés à la découverte de son mode de transmission. Là encore, nous avons eu des surprises. L'hypothèse actuelle, en effet, est que cette épidémie prend sa source chez les poulets d'élevage. Leurs conditions de vie – entassés dans des espaces restreints – en font la cible idéale pour de nombreuses épidémies. Dans certains élevages, on a retrouvé jusqu'à 40 % de poulets infectés. Il est donc tout à fait probable qu'une grande partie des infections urinaires soit en fait le fruit d'une zoonose, contamination de l'animal à l'homme par contact direct, en l'occurrence par simple ingestion de la viande de poulet. Personne n'aurait pu penser spontanément cela. C'est pourquoi il faut toujours, en science, se garder des « évidences » et rester ouvert à toute nouvelle

## *Dépasser Darwin*

découverte, même et surtout si celle-ci va à l'encontre de ce qui est communément admis. Ce que l'on sait à un moment donné n'est jamais que le résultat d'une connaissance partielle. Beaucoup de choses nous échappent, et nous échapperont sûrement longtemps encore, dans le fonctionnement des micro-organismes.

### *Alimentation industrielle et globalisation du tube digestif*

Les épidémies qui surviennent dans les élevages d'animaux ont donc le potentiel de déclencher secondairement des milliers, voire des millions d'infections par la consommation alimentaire et la colonisation du tube digestif. Pour les virus, il semble qu'il s'agisse d'un problème comparable. Ainsi, la source du nouveau virus de l'hépatite (l'hépatite E) dans les pays développés semble provenir de foies de porc intégrés dans des saucisses mal conservées ou mal cuites, ce qui a entraîné une véritable épidémie en Europe. Par ailleurs, le travail de Forest Rohwer a montré que le tube digestif humain comprenait un très grand nombre de virus de plantes. La source toutefois de ces virus de plantes était mal identifiée. Récemment, enfin, nous avons pu mettre en évidence que les produits industrialisés de type Tabasco étaient tous contaminés à un très haut niveau par le virus du piment, et nous avons montré qu'il existait un lien statistique entre la présence de ce virus à haut niveau (qui est toujours vivant et cultivable) et des signes cliniques dont la fièvre, le prurit et des douleurs abdominales. Dans ce travail, nous avons pu montrer que les produits industriels, par la mutualisation générale qu'ils induisaient, avaient un taux de contamination plus important que les produits locaux ou les produits de tradition semi-familiale. Ces éléments indiquent que nous sommes face à une globalisation d'une partie de la population du tube digestif, du fait de l'existence de produits industrialisés qui homogénéisent les micro-organismes que nous ingérons. Cette globalisation

## *Les nouvelles maladies liées aux animaux*

peut aussi être appelée épidémie quant elle favorise le succès foudroyant de la bactérie responsable de l'infection urinaire, comme nous l'avons vu; et peut-être de micro-organismes responsables de l'obésité, comme nous allons le voir plus loin.

Cependant, il faut se garder de trop rapidement conclure à une globalisation générale. Celle-ci ne concerne que ceux qui vivent dans des territoires gagnés par la mondialisation et qui consomment des produits industriels. Ceux qui restent aux marges de cette mondialisation présentent une population microbienne qui reste spécifique de l'aire dans laquelle ils vivent et où circulent des micro-organismes qui ne sont pas, pour l'instant, de distribution globale, telle qu'en Afrique.

## La mondialisation : au bonheur des épidémies

### *L'homme appauvrit son écosystème*

La présence de l'homme a tendance à appauvrir, assez massivement, l'écosystème dans lequel il évolue. Dans l'eau bordant les îles habitées, on observe une importante paupérisation de la diversité biologique (y compris de la diversité des virus), paupérisation que l'on ne constate pas autour des îles désertes. L'homme modifie très profondément son écosystème parce qu'il l'homogénéise. Les organismes se faisant concurrence, la prolifération de l'un d'entre eux se fait toujours au détriment des autres. Les espèces qui s'adaptent le mieux à la mondialisation de l'écosystème imposée par l'homme prennent la place d'autres espèces plus fragiles.

La faune visible est beaucoup moins diverse dans les zones habitées que dans celles qu'il n'occupe pas. Il suffit d'aller dans une réserve animalière pour s'en convaincre. Afin de conserver de la diversité, nous en sommes réduits à instituer ces réserves et à construire des zoos.

On ne crée pas de zoos pour les micro-organismes, mais ce constat d'homogénéisation est aussi valable pour le monde de l'invisible.

De la même manière que l'on peut s'alarmer de la prolifération sur les rivages marins d'algues dites nitrophiles (ces marées vertes sont directement liées à l'activité humaine

### *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

et au rejet de nitrates dans les cours d'eau), les biologistes constatent la prolifération, en quelques années, d'une bactérie responsable d'infections urinaires chez les femmes. Bactérie, comme nous venons de le voir, apparemment transmise par la consommation de poulets d'élevage. Cette bactérie, résistante à l'antibiotique le plus communément utilisé, s'est répandue comme une traînée de poudre dans les populations.

Dans les deux cas, ce sont l'activité et la concentration humaine qui président à l'expansion de ces espèces conquérantes.

La mondialisation se solde donc souvent par une diminution de la biodiversité, l'espèce conquérante, celle qui s'adapte le mieux à la nouvelle donne, s'imposant au détriment de multitudes d'autres.

On peut comparer cette homogénéisation des espèces à celle du langage.

Si l'anglais (issu d'une chimère : la fusion du français et de l'allemand) s'est à ce point imposé de par le monde, c'est que la richesse de son vocabulaire (doublée, il est vrai, de la puissance économique des pays qui en sont le berceau) lui confère une supériorité stratégique écrasante sur les autres langues qu'elle tend, ici et là, à faire reculer.

### *Chikungunya : success story de la mondialisation*

A titre d'exemple encore, voyez le caractère «épidémique» de la prolifération des plantations de tabac. Cette plante a littéralement envahi le monde, les terres agricoles et les comportements des individus dont elle capte une partie des ressources. Et ce, au détriment d'autres plantes et d'autres comportements. D'une plante quelconque poussant en Amérique, elle est devenue résidente envahissante et incontournable des cinq continents.

Il en va de même pour les maladies infectieuses. Un virus

peut subsister pendant très longtemps dans une partie limitée du monde avant, tout d'un coup, de partir caracoler à la conquête de ce monde. Le virus du Chikungunya, par exemple, s'est répandu sur la planète en quelques années à la faveur d'une mutation. Au départ, ce virus était circonscrit à l'Afrique noire. En mutant, il a pu prendre comme vecteur un moustique originaire de l'Asie du Sud-Est surnommé «le petit tigre». Ce moustique se trouve particulièrement à son aise dans les villes où il prise fort les flaques et autres eaux stagnantes.

Il se déplace dans le monde depuis une trentaine d'années comme passager clandestin à bord des cargaisons, le plus souvent de pneus (dans lesquels stagne facilement l'eau de pluie). Le virus a ainsi atteint les quatre coins du monde où il flambe ici et là (Inde et Afrique particulièrement).

Le Chikungunya a par ailleurs pour particularité de développer une concentration dans le sang extrêmement élevée. De tous les virus que nous connaissons, c'est celui qui produit le plus de copies chez le sujet infecté. Pour sa survie et son expansion, cette concentration est une très bonne chose. En effet, même quand un moustique ne prélève qu'un peu de sang chez un sujet infecté, il y aura toujours dans cette infime quantité de sang des copies du virus. De façon générale, les maladies dites à vecteur (le vecteur étant ici le moustique) présentent toutes cette forte concentration (de virus, de bactéries ou de parasites) dans le sang de l'hôte.

La plus connue et aussi actuellement la plus meurtrière des maladies transmises par le moustique est le paludisme, aussi appelé malaria.

Le mot paludisme vient du latin *palus*, le marais, tandis que malaria vient de l'italien *mal'aria*, autrement dit le mauvais air.

Avant que l'on comprenne, au XIX<sup>e</sup> siècle, que ce sont les moustiques qui transmettent le paludisme, les marais, lieu de villégiature privilégié de ces moustiques, avaient déjà été identifiés comme foyers de l'infection. Si certains de nos

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

marais sont maintenant des réserves protégées où s'épanouissent le touriste qui s'amuse et la fauvette qui zinzinule, ils ont longtemps été considérés comme des lieux malsains, voire maléfiques.

Les follets ou feux follets ont pour une part contribué à cette réputation quasi démoniaque des marais. Phénomènes lumineux issus de la combustion spontanée de méthane et de phosphore au contact de l'air, ils passaient alors pour des âmes échappées du purgatoire et de l'enfer pour venir tourmenter les vivants égarés. On en trouve cette description dans *La Petite Fadette* de George Sand : *« Il se jeta alors sur l'herbe, et regarda le follet qui poursuivait sa danse et son rire. C'était vraiment une vilaine chose à voir. Tantôt il filait comme un martin-pêcheur, et tantôt il disparaissait tout à fait. Et, d'autres fois, il devenait gros comme la tête d'un bœuf, et tout aussitôt menu comme un œil de chat; et il accourait auprès de Landry, tournait autour de lui si vite, qu'il en était ébloui; et enfin, voyant qu'il ne voulait pas le suivre, il s'en retournait frétiller dans les roseaux, où il avait l'air de se fâcher et de lui dire des insolences. »* En France, l'assèchement des marais (et donc la destruction de l'habitat des moustiques) et le drainage des zones humides puis, au <sup>XX</sup><sup>e</sup> siècle, la pulvérisation de DDT ont contribué à faire régresser le paludisme.

Dans les pays les plus pauvres, ceux de l'Afrique subsaharienne pour l'écrasante majorité, il tue de un à trois millions de personnes par an. Il aurait par ailleurs, selon des analyses génétiques réalisées en 2010 sur la momie de Toutankhamon, infecté et contribué à tuer le jeune pharaon vers 1300 avant notre ère. La discipline qui consiste à traquer des microbes ayant infecté les populations il y a des décennies ou des siècles de cela s'appelle la paléomicrobiologie. Avec mon équipe nous avons, par exemple, analysé ce qui restait de dépouilles de soldats de l'armée napoléonienne enterrés à Vilnius (Lituanie) et avons montré qu'ils

## *Dépasser Darwin*

souffraient, pour un tiers environ, de maladies transmises par les poux (typhus notamment).

Pour en revenir à l'expansion du Chikungunya, il se trouve que, pendant qu'il mutait, le moustique qui lui servait de véhicule s'implantait sur des territoires toujours plus grands à la surface du globe. Ce qui, au départ, n'était qu'une zoonose circonscrite aux forêts d'Afrique est ainsi devenu une maladie humaine répandue à l'échelle mondiale; à la faveur à la fois d'une mutation du virus et de la croissance des flux humains et de marchandises.

Depuis que l'homme se déplace, d'abord en petits groupes puis en masse, il emporte comme passager clandestin des maladies infectieuses qui, sans lui, ne «verraient pas autant de pays».

Qu'il s'agisse de pèlerinages (la méningite, avant que soit mise en place une vaccination systématique, a longtemps fait tous les ans le pèlerinage rituel à La Mecque), de commerce (le choléra a commencé à se déplacer «à dos de chameau» en suivant la mythique route de la soie, du Gange vers l'Europe), de guerres (les croisés rapportèrent la peste qui mit à genoux l'Europe) et maintenant de tourisme, l'homme s'est toujours déplacé avec ses microbes. S'ils en avaient, les virus pourraient se frotter les mains de la modification de nos modes de vie. Non seulement nous voyageons beaucoup plus (il y a encore un siècle le déplacement dominical au chef-lieu de canton pouvait prendre l'allure d'une épopée familiale. Aujourd'hui, si vous dites : «Je reviens de Bangkok et l'été prochain je pars au Caire», vous n'impressionnez plus personne), mais encore les villes concentrent la majorité de l'humanité. En somme, notre époque offre aux maladies infectieuses à la fois des autoroutes pour circuler et des aires d'autoroute pour se multiplier tranquillement.

*La mondialisation : au bonheur des épidémies*

***Infections respiratoires : la grande peur de la grande grippe***

*Concentrations urbaines : une aubaine pour les virus*

Si l'évolution des espèces peut procéder par glissements, de façon assez lente et d'abord peu perceptible, elle s'effectue aussi par le biais d'événements stochastiques imprévisibles; autrement dit par de grands bouleversements : glaciations, éruptions, grandes épidémies, etc. C'est ce qui est communément avancé pour expliquer la disparition des dinosaures.

La sélection par le chaos ne donne pas, *in fine*, les mêmes vainqueurs que la sélection par glissements progressifs. Les espèces et sociétés les plus adaptées à un milieu donné dans un temps donné, c'est-à-dire les plus efficaces et apparemment les plus évoluées, se révèlent aussi les plus vulnérables aux situations chaotiques. La spécialisation des sociétés humaines (chacun ayant une tâche très précise à accomplir et chacun dépendant complètement d'autrui pour sa vie et sa survie) se traduit notamment par une extraordinaire concentration urbaine; plus de la moitié de l'humanité vit maintenant dans des villes<sup>11</sup>. Cette concentration humaine nous rend extrêmement vulnérables aux événements imprévus (et aux mouvements de panique collective qu'ils peuvent déclencher) et surtout aux épidémies pour lesquelles ils constituent une véritable aubaine. Il est possible que cela soit à l'origine de la disparition des grandes civilisations urbaines du passé. Les infections les plus contagieuses que nous ayons connues, la variole et la rougeole, ont un taux de transmission de plus de vingt points. En d'autres termes,

---

11. Et souvent au bord de la mer, ce qui nous laisse augurer des jours difficiles si le niveau de la mer monte de façon importante. On pourra toujours créer des polders là où le rivage le permet, mais pas partout, loin s'en faut.

## *Dépasser Darwin*

une personne contaminée en contamine elle-même environ une vingtaine d'autres ! La variole, à la fois très contagieuse et très létale, aurait notamment tué en un temps record plus des trois quarts des Amérindiens (qui ne l'avaient jamais rencontrée et étaient donc vierges de toute immunité) lors de la découverte du Nouveau Monde par les Espagnols. Par comparaison, une personne grippée contamine en moyenne deux autres personnes, dix fois moins que pour la variole donc. Dans le cas de la grippe, inutile de jouer à se faire peur en faisant du métro ou des grands rassemblements des foyers de contamination géants. C'est en effet à la faveur d'une véritable promiscuité (famille, bureaux) que se répand ce virus.

### *Grippe, sida, Chikungunya... : une éradication difficile*

En revanche, si on a pu éradiquer la variole par des campagnes massives de vaccination, impossible d'espérer en faire autant pour la grippe. Cela tient à la différence de nature de ces virus. Les virus à ADN, comme la variole, sont des virus très stables. La copie de l'ADN est un processus très sécurisé qui laisse peu de place à l'erreur. Le virus a donc peu de chances de muter de façon significative. Une fois qu'il a été identifié, il devient possible pour les laboratoires de produire un vaccin efficace. Pour les virus à ARN, en revanche, la copie de l'information produit cent fois plus d'erreurs. La grippe, par exemple, est un virus à ARN. Plus généralement, tous les virus actuels que l'on peine, voire ne parvient pas à contrôler, sont des virus à ARN : gripes, sida, dengue, Chikungunya...

Ces virus sont instables au point que, alors même qu'ils nous infectent et se multiplient dans notre organisme, ils créent des sous-espèces qui peuvent ensuite aller infecter d'autres organismes. L'instabilité et, donc, la grande variabilité du virus à ARN expliquent pour partie la situation

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

d'échec vaccinal dans laquelle nous nous trouvons face au sida.

Dans le cas de la grippe, ce qui rend les choses compliquées, c'est que ce virus est segmenté en plusieurs morceaux, et quand un virus de la grippe rencontre un autre virus de la grippe, ils peuvent en fait échanger des morceaux et devenir des chimères. On se retrouve alors avec un virus de la grippe composé d'un peu de virus porcin, un peu de virus aviaire, un peu de virus humain, etc. Ce qui a abouti en 2009 à... H1N1, aussi appelé virus de la grippe A.

Ce virus de la grippe est en effet une chimère, un composite de virus grippaux. Si deux virus entrent dans la même cellule, celui qui va en ressortir pourra être une combinaison des deux; il y a en permanence de nouvelles combinaisons qui se forment au sein de la cellule.

Le plus souvent, les micro-organismes qui nous rendent malades viennent de notre environnement proche; on parle alors de virus humain. Chez les animaux, on parle d'épizootie, avec des épidémies effroyables comme celle de la grippe aviaire qui a déjà causé la mort de millions de volatiles. Cette forme de grippe terrorise les populations par son impressionnant taux de mortalité, mais si d'aventure, un jour, elle se transforme en une infection humaine, c'est qu'elle aura muté, que le virus sera un nouveau virus dont nul ne peut prédire la sévérité. En mutant, il peut parfaitement perdre en agressivité.

La peur panique que provoque le SRAS<sup>12</sup> ne peut pas cependant être qualifiée d'irrationnelle dans la mesure où les infections respiratoires, au premier rang desquelles la grippe, sont la première cause de mortalité dans le monde. L'inquiétude du milieu médical à l'apparition d'un nouveau virus peut paraître, après coup, comme exagérée, mais il faut bien réaliser que : oui, nous pouvons un jour nous retrouver confrontés à un virus de la grippe à la fois très

---

12. SRAS : Syndrome Respiratoire Aigu Sévère.

## *Dépasser Darwin*

agressif et très contagieux, capable de tuer 10 % de la population. Ce n'est ni une triste prérogative du Moyen Age ni un scénario tout juste bon à alimenter les films catastrophes. La grippe espagnole de 1918-1919, qui a fait entre vingt et cinquante millions de morts (à l'issue d'une guerre qui en avait fait vingt millions), était aussi un virus de type H1N1. En quelques mois, elle a mené à la tombe des millions d'hommes jeunes, ceux, pourrait-on dire, qui avaient échappé aux massacres des tranchées.

Dans nos pays industrialisés, il est vrai que la mortalité de la grippe va en diminuant, et ce de façon régulière. Les autopsies des victimes de la terrible grippe espagnole indiquent que les trois quarts des décès étaient dus à une surinfection bactérienne pulmonaire. Une cause que l'on ne retrouve que dans 10 % des décès liés à la dernière épidémie en date, H1N1. Pourquoi ? Parce que non seulement nous disposons maintenant d'antibiotiques (tueurs de bactéries), mais encore du vaccin contre le pneumocoque (une bactérie très agressive; une serial-killeuse dans son genre). A lui seul, ce vaccin a sans doute sauvé plus de vies que le vaccin contre la grippe. La surinfection bactérienne est donc moins à craindre que par le passé. Ceux qui sont morts de H1N1 n'ont, pour la plupart, pas succombé à une surinfection mais à une inflammation des poumons. Là encore, la médecine travaille à faire reculer le taux de mortalité d'une épidémie grippale. L'épisode H1N1 a vu, en effet, se mettre en place de nouvelles pratiques dans les hôpitaux. Quand les poumons sont trop atteints par l'inflammation, on prend le parti d'oxygéner le sang de façon extracorporelle. On pratique des dérivations dans le système sanguin, comme cela se fait pour certaines opérations du cœur. A la différence près que, au lieu d'oxygéner le sang quelques heures, on le fait pendant plusieurs jours, le temps que les poumons se remettent de l'inflammation et reprennent leur travail. Bien entendu, cette façon de sauver des vies n'est imaginable que dans les

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

hôpitaux très équipés de pays industrialisés. La mortalité de la grippe restera bien supérieure dans les pays plus pauvres.

### *Les enjeux de la vaccination*

Le terme de vaccination, pour la petite histoire, vient de la vaccine, maladie proche de la variole, affectant les vaches et transmissible à l'homme, pour qui elle est le plus souvent bénigne. A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, un médecin anglais, Edward Jenner, partant de l'observation que les trayeuses de vaches ne contractaient généralement pas la variole, a eu l'idée d'immuniser les individus contre la variole en leur inoculant la vaccine. Ce qui fut fait, avec succès. La variole, aussi appelée petite vérole, était un fléau redoutable et redouté. Elle tuait un malade sur cinq (chez les adultes, près d'un malade sur trois). Quand elle ne tuait pas, elle laissait souvent un visage grêlé, défiguré à vie<sup>13</sup>. Elle était et reste encore hors de portée d'un traitement efficace.

Dans les années soixante, la France est devenue très conservatrice en matière de vaccination. Elle a à la fois beaucoup de mal à arrêter des vaccinations devenues inutiles (nous avons été parmi les derniers à cesser de vacciner contre la variole, vaccination en outre mal tolérée par l'organisme et qui occasionnait de nombreuses complications) et plus de mal encore à intégrer de nouveaux vaccins. A l'heure actuelle, on vaccine encore contre la poliomyélite, ce qui ne sert plus à grand-chose. Il reste bien une poche de poliomyélite en Afrique noire, qu'il faut à tout prix encercler et éradiquer, mais ici le risque de contamination est très faible. En revanche, rien à faire pour développer en France la vac-

---

13. Mirabeau en est une victime célèbre. Chateaubriand, dans ses *Mémoires d'outre-tombe*, le décrit ainsi : « Les sillons creusés par la petite-vérole sur le visage de l'orateur, avaient plutôt l'air d'escarres laissées par la flamme. La nature semblait avoir moulé sa tête pour l'empire ou pour le gibet [...] Au milieu de l'effroyable désordre d'une séance, je l'ai vu à la tribune, sombre, laid et immobile. »

## *Dépasser Darwin*

cination contre le danger, pour le coup bien réel, que représente l'hépatite B. La controverse qui a eu lieu autour de la vaccination contre H1N1 n'est d'ailleurs pas près d'arranger les choses et de diminuer la prévention des Français à l'encontre de toute nouvelle vaccination. La politique de la peur et de l'urgence, à grand renfort de mobilisation générale, de réquisitions de stades et autres salles polyvalentes, ne saurait tenir lieu de politique générale de vaccination. Ne serait-ce que parce que personne, aucun pays, ne peut vacciner trente millions de personnes en un seul mouvement. C'est tout simplement inorganisable.

Il va bien falloir que se tiennent un jour en France des états généraux de la vaccination, que l'on remette tout à plat : Pourquoi vacciner? Qui vacciner et contre quoi? Quels bénéfices pour soi et pour la société? Pour soi ET pour la société et non pas pour soi OU pour la société. L'individualisme galopant et la prévention générale contre la vaccination tendent en effet à faire oublier que ce n'est que par des vaccinations massives que se musèlent les épidémies jugulables par ce moyen. Si chacun attend de l'autre qu'il fasse cette démarche, *in fine*, tout le monde est perdant. Il en va de même pour l'idée que les épidémies qui déciment les pays pauvres ne nous concernent pas. Les virus et bactéries se jouent des frontières; pas besoin d'être altruiste pour considérer qu'une épidémie à l'œuvre à des milliers de kilomètres est aussi notre problème.

### *H1N1 : les leçons de la crise*

#### *Comparer ce qui est comparable*

Une forme de déduction ou prévision raisonnable c'est, par exemple, en météorologie quand vous pouvez établir des probabilités à partir de l'observation de phénomènes

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

passés. Si vous avez la conjonction de tel, tel et tel phénomène, il s'est passé ceci dans 20 % des cas, et cela dans 70 % des cas, etc. Nous avons donc tant de chances pour cent que tel phénomène produise telle conséquence à tel endroit.

Essayer en revanche de faire des prévisions sur un phénomène nouveau, une nouvelle grippe par exemple, est une démarche absurde. Tout au plus peut-on tenter des rapprochements avec des phénomènes connus présentant de fortes similitudes, mais la manœuvre reste très aléatoire. Comparer la grippe saisonnière à un mutant comme H1N1 est un exercice qui trouve ses limites dans de nombreuses différences : d'abord H1N1 n'est pas saisonnier ; ensuite il a disparu quand il a commencé à faire vraiment froid, ce qui, pour une grippe, est un comportement pour le moins inhabituel. Pour ce qui est de la mortalité, là encore nous sommes face à un schéma insolite. Dans le cas de la grippe saisonnière, nous avons l'habitude d'observer une mortalité dite en U, avec les enfants et les personnes âgées comme principales victimes. La grippe espagnole présentait une mortalité dite en W avec des décès constatés non seulement chez les enfants et les personnes âgées, mais encore chez les hommes jeunes. Ici, nous nous retrouvons face à une mortalité que nous pourrions appeler «en dos d'âne», c'est-à-dire épargnant les très jeunes et les très vieux. Pour les enfants, pas d'explication encore. Pour les personnes âgées, on imagine qu'elles bénéficient d'une forme d'immunité acquise au contact d'un virus de la même famille. Quant à la mortalité des jeunes adultes, nul ne se l'explique. C'est en tout cas la première fois qu'une grippe est à ce point observée sous toutes les coutures, et nous sommes donc en train d'apprendre beaucoup de choses.

En ce qui concerne les gripes autres que H1N1, les premières constatations confirment que les jeunes enfants en sont effectivement les cibles et vecteurs privilégiés.

## *Dépasser Darwin*

Pourquoi? Probablement parce que, même si nous ne sommes pas complètement immunisés d'une grippe sur l'autre, au fur et à mesure, nous acquérons tout de même quelques défenses. Les enfants, eux, sont vierges de ces défenses. Ils ont aussi une vie sociale bien différente de celle des adultes. Il suffit d'observer des enfants dans une crèche pour s'en convaincre : ils se touchent les uns les autres en permanence, se mouchent, crachent, mettent leurs doigts partout, etc. Une véritable aubaine pour le virus qui peut ainsi se répandre tout à son aise. La conclusion que l'on pourrait en tirer – et c'est une réflexion en cours dans le milieu médical –, c'est que la priorité, en cas d'épidémie, devrait être la vaccination des jeunes enfants. Ce n'est pas en effet le paisible retraité qui va pouvoir représenter pour le virus une telle opportunité de propagation.

### *Virus et bactéries : association de malfaiteurs*

Ce que l'on a pu constater aussi, mais que l'on n'explique pas, c'est l'interférence des virus entre eux. Quand les rhinovirus (virus du rhume) se sont mis à circuler, le virus de la grippe a semblé accuser le coup et a perdu en intensité. A l'inverse, quand la grippe a repris sa progression, ce sont les rhinovirus qui ont commencé à battre en retraite. On voit bien là que nous ne sommes pas seuls face à un virus; ce n'est pas une sorte de duel d'homme à homme dans une ruelle du Far West; nous nous inscrivons dans un écosystème complexe où les intervenants sont multiples. Dans mon laboratoire, nous avons montré que les virus (en l'occurrence le virus respiratoire Syncythial et le Cytomégalo-virus) n'étaient pas uniquement en concurrence mais pouvaient s'associer, en un sens se donner la main, pour provoquer des maladies plus graves. Nous travaillons aussi beaucoup en ce moment pour comprendre de quelle manière l'association d'un virus et d'une bactérie provoque

l'apparition d'une diarrhée que ni l'un ni l'autre ne pourrait provoquer seul. Il semble que le virus prépare le terrain en fragilisant le système intestinal pour que la bactérie puisse ensuite donner sa pleine mesure et déclencher la diarrhée. C'est un peu ce qui se passe dans le cas de la rougeole : le virus fragilise l'arbre respiratoire, et les bactéries de passage en profitent pour attaquer et favoriser l'apparition de pneumonies mortelles, ce qu'elles n'auraient pas les moyens de faire sans le travail de sape effectué en amont par le virus de la rougeole. Nous sommes en quelque sorte devant une « association de malfaiteurs », association que l'on retrouve dans de très nombreuses maladies digestives et pulmonaires. Le travail des chercheurs s'en trouve compliqué puisqu'on ne peut plus associer de façon simple tel microbe à telle maladie. Nous sommes de toute façon très loin de comprendre qui fait quoi et pourquoi dans le monde microscopique. Les bactéries elles-mêmes sont contaminées par des virus. Que leur font-ils et que nous font-ils ? Que nous font les milliards de virus de plantes que nous ingérons quotidiennement ? Globalement, ces milliards d'hôtes participent d'une manière ou d'une autre à l'équilibre de notre écosystème, mais leur rôle reste un mystère pour la majorité d'entre eux. Notre écosystème interne est en permanence au contact de milliards de microbes qui s'y introduisent par les portes d'entrée que sont l'alimentation, l'air respiré, les voies génitales, les lésions de la peau et tout ce que nous touchons tout au long de la journée avant de porter les mains à nos yeux ou à notre bouche. Si dans les transports en commun, pendant l'épidémie de grippe A, le malheureux qui se mettait à tousser était fusillé du regard, il ne faut pas oublier que la probabilité de contamination, en l'occurrence, était beaucoup plus grande par le contact des mains. On s'est beaucoup gaussé des campagnes incitant à une plus grande hygiène personnelle et au lavage fréquent de mains. L'humour est peut-être une arme efficace contre le caractère anxigène des épidémies, mais il reste que ces mesures bar-

## *Dépasser Darwin*

rières ont une véritable utilité. Leur efficacité a été démontrée à la faveur d'une très belle étude menée au Pakistan sur la prévention de la gastro-entérite. L'étude s'est attachée à suivre des foyers dans lesquels les membres de la famille avaient pour consigne de se laver quotidiennement les mains au savon et d'autres foyers où cette pratique n'existait pas et n'a pas été demandée. Les enquêteurs ont constaté une incidence de l'hygiène des mains non seulement sur la prévention de la gastro-entérite mais encore sur celle des infections respiratoires. C'est, à ce jour, la seule mesure dite barrière dont l'efficacité a réellement été démontrée. Pour les masques, leur rôle dans la prévention de la propagation de l'épidémie reste plus flou, exception faite de ceux dont se sert le personnel hospitalier pour ne pas être contaminé. Je suis en revanche dubitatif sur les masques vendus au tout-venant, dans un souci estimable de ne pas contaminer autrui certes, mais qui restent difficiles à porter correctement et de façon constante. De plus, dans une épidémie finalement peu contagieuse comme H1N1, le risque que quelqu'un vous infecte en éternuant ou en postillonnant s'avère assez mince. *A contrario*, si vous passez deux heures avec quelqu'un, ne serait-ce qu'à discuter autour d'une table, vous allez toucher tous les deux énormément de choses sur lesquelles le virus peut survivre assez longtemps. Bref, si cette épidémie a un mérite, c'est d'avoir rappelé une règle de base : lavez-vous les mains !

### *Mesures barrières et infections nosocomiales*

Le lavage de mains, justement, est un art pratiqué surtout en milieu hospitalier où ce simple geste (pas si simple et plutôt très long en fait si on veut vraiment éliminer toute possibilité d'infection manuportée) joue un rôle crucial dans la prévention des infections dites « nosocomiales ». Une fois encore, en créant des hôpitaux, l'homme modifie son écosystème. Si déjà en s'installant dans les villes il favorise la

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

propagation d'épidémies, en rassemblant les malades au même endroit, il accentue la concentration et la transmission possible, en milieu clos, des microbes parmi les plus agressifs (on hospitalise rarement pour une légère gastro-entérite ou une banale rhinite). L'hôpital n'a d'ailleurs pas toujours été la « Machine à guérir » que réclamait Tenon dans les mémoires sur les hôpitaux de Paris. En France, l'édit royal fondant l'Hôpital général le 27 avril 1656 précise qu'il est destiné à enfermer *« les pauvres, mendiants valides et malades pour être employés aux ouvrages, manufactures et autres travaux »*. Dès le XVII<sup>e</sup> siècle, pourtant, on trouve cette description de l'hôpital : *« Il n' y a pour ainsi dire personne dans la ville entière qui ne préfère, lorsqu'il tombe malade, être soigné à l'hôpital plutôt que chez lui. Les malades, même nombreux, ne s'y sentent pas à l'étroit et par conséquent mal à leur aise. Ces hôpitaux sont fort bien installés, équipés de tout ce qui peut contribuer à une guérison. »* Et où se trouve cet établissement idéal ? A Utopia, ville sortie tout droit de l'imagination de sir Thomas More au XVI<sup>e</sup> siècle.

Le patient, fragilisé, fatigué, déjà blessé, piqué, perfusé, transfusé, opéré, voit ses barrières naturelles de protection (la peau surtout) antimicrobienne mises à mal tous les jours, tandis que l'administration d'antibiotiques bouleverse son écosystème interne. Il n'est jamais aussi vulnérable qu'à l'hôpital (hospitalisation qui peut lui sauver la vie au demeurant ; mon propos n'est pas de contester le bien-fondé des hôpitaux). Si on ajoute à cela la pratique assez fréquente de transfert des patients d'un établissement à un autre, on comprend bien comment la propagation des microbes peut devenir assez rapidement un vrai casse-tête à l'échelle nationale pour les hôpitaux.

L'hygiène des soignants (par ailleurs les plus exposés en cas d'épidémie ; au contact permanent des malades, ils sont en première ligne, au point qu'ils font office de sentinelles

## *Dépasser Darwin*

sur le front de l'apparition d'épidémies : si on constate une surmortalité des médecins, infirmiers ou aides-soignants à tel ou tel point du globe, l'épidémie couve) est fondamentale dans la prévention de ces épidémies, souvent graves, propres au milieu hospitalier. L'image du chirurgien qui se lave consciencieusement les mains est entrée dans les mœurs, à la faveur notamment des séries médicales américaines où les intrigues professionnelles et sentimentales se nouent et se dénouent devant les robinets et le savon coulant à flots. Reste que, si le chirurgien peut prendre le temps de se laver les mains avant une intervention susceptible de durer plusieurs heures, un médecin des soins intensifs (qui devra aussi veiller à changer et laver régulièrement sa blouse, laquelle peut devenir un véritable vecteur d'infection) peut-il prendre le temps de ce geste rituel entre chacun de ses quelque cent ou cent cinquante gestes médicaux quotidiens ? A raison de trois à quatre minutes consacrées à ce geste, il y passerait plusieurs heures par jour. Les solutions hydro-alcooliques, largement popularisées par H1N1, sont déjà une forme de solution.

### *Microbe contre microbe : diviser pour mieux régner*

Si virus et bactéries peuvent se donner la main pour nous rendre plus malades encore, nous pouvons également jouer la carte de l'un contre l'autre. Les virus comme médicaments ? C'est possible. Il existe des virus dits bactériophages qui, comme leur nom l'indique, tuent les bactéries. Avant même les antibiotiques, on les a employés pour lutter contre les infections bactériennes. Depuis le milieu du xx<sup>e</sup> siècle, nous avons abandonné leur utilisation, sauf dans les pays de l'Est qui ont poursuivi leur « collection » de ces bactériophages. Si, de notre côté, nous leur avons préféré les antibiotiques, c'est que l'efficacité de ces virus reste limitée. En effet, pour entrer en action, le virus bactériophage a besoin d'identifier une cible sur la bactérie, bactérie qui a beau-

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

coup plus de facilité à changer cette cible qu'à changer la cible des antibiotiques.

Pour imaginer ces phénomènes, imaginons que la bactérie que l'on veut anéantir est une personne de forte corpulence habillée en rouge. Le mercenaire nommé virus, lancé à sa poursuite, a pour ordre de tirer sans sommation sur toute personne habillée en rouge. Le mercenaire nommé antibiotique a, lui, pour consigne de s'attaquer aux personnes en surpoids. Notre bactérie aura évidemment plus vite fait de changer de tenue et de choisir une autre couleur que de perdre ses kilos en trop. Dans cette chasse à l'homme, on comprend que c'est l'antibiotique qui a le plus de chances de remplir son contrat. La résistance des bactéries aux virus bactériophages apparaît donc beaucoup plus rapidement (parfois même au cours du traitement) que la résistance aux antibiotiques.

### *La résistance aux antibiotiques, de quoi s'agit-il ?*

La résistance des bactéries aux antibiotiques est soit naturelle, soit acquise. On parle de résistance acquise lorsque la bactérie, au départ vulnérable aux antibiotiques, finit par trouver les moyens de s'en défendre du fait de la présence de l'antibiotique dans son écosystème. Il s'agit, pour une partie, de sélection naturelle. Assez logiquement, en effet, les bactéries, présentant une mutation génétique leur permettant de survivre à l'administration d'antibiotiques, continuent à se reproduire plus et mieux que leurs consœurs moins bien armées. Elles transmettent à leur descendance leurs gènes de résistance, ce qui, assez rapidement, favorise une génération de bactéries résistantes ou multirésistantes (porteuses de plusieurs gènes de résistance à plusieurs antibiotiques). On observe d'autres formes de résistance, notamment par transfert de gènes venant de sources extérieures.

La France, avant de s'attaquer avec un certain succès au

## *Dépasser Darwin*

problème, a détenu le record de la résistance aux antibiotiques. Elle détenait aussi le record de la prescription de ces antibiotiques, trop souvent sans que cette prescription soit justifiée. Le lien entre le développement des résistances (pouvant mener à d'inquiétantes impasses thérapeutiques si de nouvelles classes d'antibiotiques ne sont pas mises sur le marché, ce qui ne semble pas se profiler dans un futur proche) et la surprescription n'a pas été établi de façon irréfutable mais il est assez probable. A quoi faut-il imputer cette passion française pour les antibiotiques ? Peut-être à la grande confiance que leur accordent les patients qui les réclament systématiquement à leur médecin ? Quoi qu'il en soit, le danger, en l'occurrence, est que nous aboutissions à une sorte de mithridatisation à l'envers. La légende veut, en effet, que le roi Mithridate VI, pour se prémunir des tentatives d'empoisonnement des intrigants de tout acabit convoitant son trône, se soit immunisé contre le poison en avalant tous les jours une faible dose. Battu par Pompée, il aurait tenté de mettre fin à ses jours en absorbant une grande quantité de poison. Devant l'échec de cette tentative, c'est un de ses mercenaires qui aurait accepté de lui porter le coup fatal.

### *Microbes contre les hommes : les armes bactériologiques*

#### *Les microbes armes de guerre, armes du pauvre*

- Une menace ancienne et réelle

En 2003, à la demande du ministre de la Santé, j'ai rédigé un « Rapport sur le bioterrorisme et les maladies infectieuses ».

La crainte du bioterrorisme n'est ni nouvelle ni fantasmagorique. Dans nos sociétés modernes, Cassandre est toujours l'objet de sarcasmes ; on l'accuse de crier « Au loup ! » trop facilement. Pourtant, il faut bien comprendre, sans non

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

plus sombrer dans la paranoïa, que cette menace repose sur des faits réels.

La première utilisation connue des micro-organismes comme agents de guerre n'a pas attendu l'ère des laboratoires de pointe et des blouses blanches. Elle remonte à 1347, lorsque les Mongols ont catapulté par-dessus les murailles de Caffa (une colonie génoise de Crimée) des cadavres pestiférés pour infecter la population défendant la ville assiégée. Le stratagème réussit au-delà des espérances des Mongols puisque, non seulement les Génois épouvantés quittèrent la ville avec armes et bagages, mais encore, dans ces bagages, emportèrent avec eux la peste qui ne tarda pas à se répandre dans tout le bassin méditerranéen. C'était là le début de la grande épidémie de peste noire qui ravagea l'Europe au XIV<sup>e</sup> siècle.

L'historien Varillas raconte que, en 1422, au siège de Carolstein, outre des corps de soldats, ce fut aussi le contenu de deux mille charretées d'excréments humains qui aurait été jeté par-delà les remparts.

Enfin, un médecin italien, Andrea Cesalpino, révèle que pendant la campagne de Naples (1495) les soldats espagnols abandonnèrent aux Français du vin contaminé par du sang prélevé chez des lépreux.

Depuis, de nombreux micro-organismes ont pu être proposés et ont bénéficié d'un début d'utilisation comme arme biologique. Cela inclut, entre autres, les bactéries du typhus, de la brucellose, de la tularémie, du charbon et de la peste. Le traité de non-prolifération de 1972, signé par un grand nombre de pays, pouvait laisser espérer une disparition de l'usage de ces micro-organismes comme arme de guerre. Hélas, il a été constaté, en 1979, que les Russes avaient poursuivi leurs études sur le charbon. Cette violation du traité a été découverte à l'occasion d'une épidémie de charbon ayant entraîné une centaine de morts dans une ville russe

## Dépasser Darwin

(Sverdlovsk, actuellement nommée Iekaterinbourg) qui abritait un laboratoire militaire.

Les symptômes du charbon varient selon la voie d'infection, mais ils apparaissent dans les deux à cinq jours qui suivent l'exposition. L'infection cutanée (de loin la plus courante; elle s'attrape au contact direct d'animaux contaminés) se caractérise par l'apparition de bosses irritantes comparables à des morsures d'insecte, suivie d'une ulcération et de la formation d'une escarre noire indolore. Si les spores de la bactérie sont inhalées, forme la plus grave de la maladie, l'infection peut d'abord être confondue avec un gros rhume ou une grippe (fatigue, toux, fièvre, douleur musculaire). Les symptômes s'aggravent rapidement et, en l'absence d'un traitement rapide, l'issue est presque toujours fatale. Enfin, le charbon gastro-intestinal (causé par la consommation de viande contaminée), très rare, est également mortel.

Russie toujours, c'est en mer d'Aral, en 1971, que plusieurs cas de variole ont été diagnostiqués à bord d'un navire croisant en face de l'île de Vozrojdenie; île qui abritait, les Russes l'ont ensuite reconnu, des laboratoires militaires dédiés à la recherche sur les armes bactériologiques. Ces cas de variole étaient extrêmement graves, il s'agissait d'une forme hémorragique de la maladie, de loin la plus sévère puisque affichant un taux de mortalité de presque 100 %. En l'occurrence, elle a entraîné la mort de sujets vaccinés, sans que ces patients aient eu des contacts directs avec un sujet varioleux. Tout laisse à penser qu'ils ont été victimes d'un aérosol émanant du laboratoire militaire en question, et que ce virus varioleux était particulièrement virulent. Il s'agissait d'une contamination accidentelle mais les services secrets soviétiques ont aussi sciemment utilisé l'arme biologique, notamment dans le célèbre coup du parapluie bulgare. Cette méthode tient son nom de l'empoisonnement (en 1978) de l'écrivain et dissident Georgi Markov par les services secrets bulgares, *a priori* à l'aide d'un parapluie

transformé en une sorte de seringue. Le produit employé était de la ricine, poison hautement toxique pour lequel il n'existe pas d'antidote.

Les Russes ne sont pas les seuls, loin s'en faut, à avoir développé des armes de guerre biologiques. Dans les années trente, le Japon, sous couvert de travailler à «la prévention des épidémies et la purification de l'eau», développa au sein de l'Unité 731 des programmes de mise au point d'armes bactériologiques testées sur des cobayes humains. Entre 1940 et 1944, l'armée impériale japonaise est accusée d'avoir largué sur des villes chinoises des bombes à fragmentation infectées de virus de la peste et du choléra.

Le choléra, pour en dire rapidement quelques mots, est une infection intestinale qui se transmet par contact direct avec les malades et par l'ingestion d'eau ou d'aliments souillés. La forme la plus grave de la maladie se caractérise par l'apparition soudaine d'une diarrhée aiguë qui entraîne une déshydratation sévère et une insuffisance rénale pouvant être mortelles. La période d'incubation très courte (de quelques heures à quelques jours) favorise les flambées explosives. Selon l'OMS, 200 000 à 300 000 cas sont déclarés chaque année par différents Etats. Or, l'OMS estime que cela ne correspondrait qu'à 10 % des cas réels. Entre deux et trois millions de personnes seraient donc atteintes. Le choléra reste une menace pour la santé publique à l'échelle mondiale et l'un des principaux indicateurs du développement social. Dans *Le Hussard sur le toit*, Jean Giono s'inspire de l'épidémie de choléra ayant ravagé Marseille et la Provence en 1834. La description qu'il en donne ne rend pas vraiment justice à la réalité de la contagion puisque le hussard en question, redescendu de son toit, se démène comme un beau diable au service d'une religieuse et des victimes du choléra, sans protection aucune et sans attraper la maladie. Le roman donne aussi à voir des foules en colère, cherchant à lyncher ceux qu'elles accusent d'avoir empoisonné les fontaines.

## *Dépasser Darwin*

Les théories du complot se propagent aussi vite que les épidémies qui les font naître.

La dernière rumeur en date accusait les Etats-Unis d'avoir créé le virus de la grippe A afin de soutenir son industrie pharmaceutique. Rien de nouveau sous le soleil puisque les Etats-Unis (à tout seigneur tout honneur ; le statut de première puissance mondiale de l'Oncle Sam le met aussi en première ligne sous le feu des complotistes) ont aussi été accusés d'avoir créé le virus du sida pour décimer le continent africain ou encore mêlé au vaccin contre la polio des substances visant à rendre stériles les populations. Dans l'Europe médiévale, ce sont les Juifs, les mendiants ou encore les lépreux qui ont le plus souvent fait les frais de ces rumeurs d'empoisonnement. A Paris en 1832, ce sont en revanche les riches qui ont été accusés de propager le choléra. Les récits qui courent les rues évoquent des hommes en noir vidant subrepticement des fioles remplies de poudre ou de liquide dans les fontaines publiques.

L'acte de naissance du bioterrorisme moderne a été dressé au Japon, avec la secte Aum. Celle-ci a non seulement utilisé le gaz Sarin dans le métro (causant la mort de treize personnes et en blessant six mille trois cents autres), mais elle a aussi tenté d'utiliser du charbon, de la fièvre Q et de la toxine botulique. La toxine botulique, sécrétée par la bactérie *Clostridium botulinum*, n'est rien de moins que le plus puissant poison connu. A côté, le célèbre cyanure ferait presque figure de neurotoxique amateur. Les contaminations accidentelles résultent le plus souvent de la consommation de conserves familiales mal préparées. La toxine, en bloquant la transmission entre les neurones et les muscles, paralyse la victime. Les premiers signes sont souvent des troubles de la vue et une sécheresse de la bouche avec une grande difficulté à avaler. S'ensuivent une grande fatigue et des difficultés à respirer qui peuvent aller jusqu'à la mort

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

par arrêt cardio-respiratoire. La prolifération de la bactérie pouvant entraîner une accumulation de gaz dans la conserve infectée, une des mesures de prévention du botulisme par voie alimentaire consiste à jeter toute boîte de conserve bombée.

Des informations récentes ont pu montrer que le réseau Al-Qaïda se proposait d'utiliser un certain nombre d'agents infectieux au service de ses actions terroristes.

En 2001, des lettres contaminées au bacille du charbon ont été envoyées à des médias et des sénateurs américains. Bilan : cinq morts et quantité de mouvements de panique provoqués par des petits plaisantins qui, pur canular ou intention de nuire, se sont amusés à envoyer des lettres contenant du sucre glace ou du talc. L'expéditeur des lettres réellement contaminées a été identifié : il s'agissait d'un retraité d'un laboratoire militaire américain, situé à Fort Detrick.

Enfin, la découverte en 2003 d'un stock de la toxine du ricin en Angleterre est venue étayer la réalité du risque bio-terroriste.

Cette menace est d'autant plus plausible que le coût de production des armes biologiques est, à efficacité comparable, deux mille fois inférieur à celui des armes conventionnelles. Plus concrètement, pour toucher 50 % des habitants d'une zone d'un kilomètre carré, il en coûterait deux mille dollars avec les armes traditionnelles, huit cents dollars pour l'arme nucléaire et... un dollar avec l'arme biologique.

- Les voies du bioterrorisme

Les agents du bioterrorisme peuvent être utilisés par différentes voies.

- Par aérosol

Les modes de diffusion peuvent être : les climatiseurs, l'épandage par avion ou hélicoptère ou la dispersion consécutive à l'explosion d'une bombe. Le charbon, la tularémie, la fièvre Q, le typhus, la variole, la peste et peut-être la

toxine botulique sont tous susceptibles d'être répandus par aérosol.

— Par l'eau et les aliments

L'introduction de toxines (en particulier la toxine du ricin<sup>14</sup> et la toxine botulinique) dans les réservoirs d'eau potable ou de boissons consommables pourrait entraîner des conséquences catastrophiques. C'est aussi le cas pour grand nombre de bactéries alimentaires : *Escherichia coli* et tous les agents de toxi-infections alimentaires.

— La voie cutanée

Elle peut être la source de l'infection pour le charbon, pour la tularémie<sup>15</sup> et pour la variole. En termes de contagion interhumaine, le seul agent dont on soit certain qu'il puisse réellement se diffuser est la variole, qui constitue donc le danger le plus important ; sans oublier les agents des fièvres hémorragiques virales (Ebola, Marburg) dont le risque est plus un risque naturel que lié au bioterrorisme.

Les agents du bioterrorisme doivent faire l'objet d'une analyse prudente. Dans l'état actuel des choses, il est facile et peu coûteux, avec de faibles bases scientifiques, de produire des spores de charbon et de la toxine botulique. Il n'est pas beaucoup plus compliqué de produire la bactérie responsable de la peste ou celle responsable du choléra, sans oublier de nombreuses autres pathologies moins connues mais dangereuses comme la tularémie ou la brucellose. Les capacités de culture et de manipulation des souches pathogènes par les pays non contrôlables sont inconnues ; impossible d'empêcher l'accès à la biologie des futurs terroristes

---

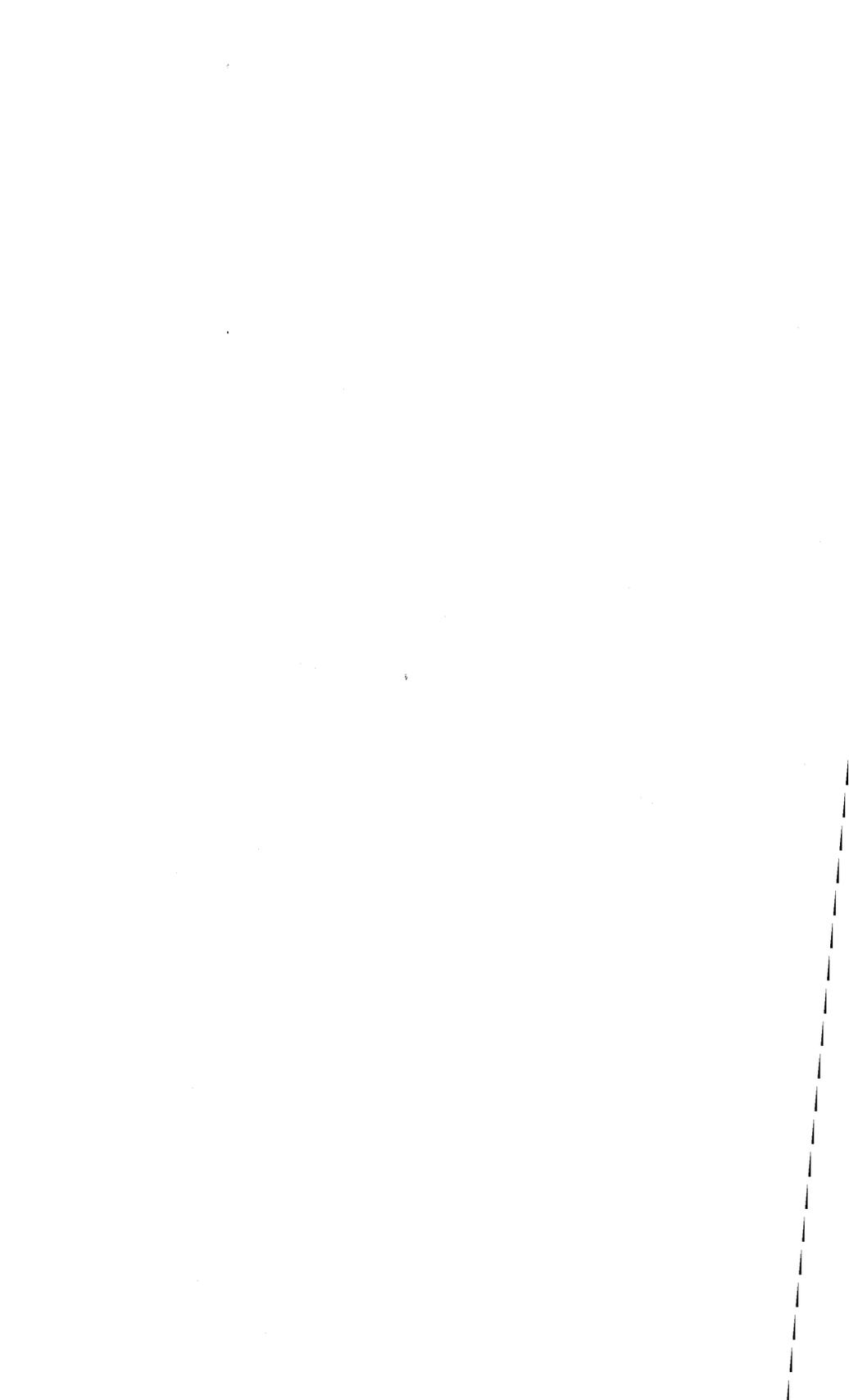
14. La ricine est une toxine extraite de la graine de ricin, potentiellement utilisable dans un but de malveillance en raison de son caractère hydrosoluble. Elle peut être utilisée par voie digestive ou aérienne : la voie digestive est environ mille fois moins toxique que l'inhalation car elle est peu absorbée et/ou inactivée par les enzymes digestives.

15. La tularémie est une maladie infectieuse, liée à la bactérie *Francisella tularensis*.

## *La mondialisation : au bonheur des épidémies*

(l'expérience a montré que certains étaient de nationalité française ou américaine). Seule la course scientifique en avant permettra aux Etats démocratiques de conserver un avantage technique associé à une surveillance des sites suspects, mais le risque de développement de ces armes ira croissant.

Nous fournissons, avec la vaccination ou la prévention des infections nosocomiales, des armes pour lutter contre les microbes. Mais, en un sens, l'envahisseur est déjà dans la place; le cheval de Troie est entré par la grande porte dans la ville. Ils ont intégré notre génome, nous l'avons vu, mais ils vivent aussi déjà en nous, par millions. Certes, nous vivons dans un écosystème, au contact d'espèces dont nous modifions le destin, mais nous sommes aussi un écosystème, habité, peuplé, pour ne pas dire colonisé.



**L'homme, terre de peuplement.  
La lutte pour la vie et l'évolution... en nous**



Nous ne sommes pas seuls ! Il ne s'agit pas ici de spéculer sur la possibilité de vies extraterrestres dans l'univers mais de réaliser le foisonnement de la vie à l'intérieur même de notre corps. Pour chacune de nos cellules, nous abritons au moins cent bactéries et mille virus. Autant dire que nous sommes «minoritaires» dans notre propre organisme.

L'homme est un écosystème à lui tout seul et les espèces qui l'habitent s'appellent microbes. Comme dans le monde du visible, nous abritons des populations qui se cherchent une place et, parfois, se font la guerre. Quand elles gagnent, elles prolifèrent ; la maladie survient.

Mais, qui sont ces invités forcés (et pour certains essentiels) de notre organisme, comment les a-t-on débusqués ?



## Découverte des micro-organismes : quand la France régnait sur la recherche

Le XIX<sup>e</sup> siècle découvre un nouveau monde, celui des êtres vivants microscopiques, baptisés «microbes» par un ami de Louis Pasteur (qui popularisera ce nom), le chirurgien Charles Emmanuel Sédillot. En somme, peut être appelé microbe ce qui s'observe au microscope. Avec un microscope standard, on multiplie environ par mille la vision, c'est-à-dire que l'on peut voir un tiers de micron<sup>16</sup>.

Au microscope, on voit deux sortes de choses : celles qui ont un noyau et celles qui en sont dépourvues ; les eucaryotes<sup>17</sup> et les procaryotes<sup>18</sup>. Avant, on classait sommairement le vivant en deux catégories : les êtres multicellulaires (composés de plusieurs cellules) et les êtres unicellulaires (une seule cellule). En allant explorer au cœur de la cellule, on en est venu à différencier celles qui ont un noyau et celles qui n'en ont pas (les bactéries en fait).

Et c'est là encore un Français, Edouard Chatton, au début du XX<sup>e</sup> siècle, qui va les distinguer.

En effet, les Français, s'ils ne sont pas toujours très pragmatiques, sont en revanche assez bons théoriciens. Sans faire

---

16. Un micron : 0,000001 mètre.

17. Organisme vivant possédant un noyau isolé du cytoplasme par une membrane et qui contient de l'ADN.

18. Etre vivant dont la structure cellulaire ne comporte pas de noyau ni d'autres organites.

## Dépasser Darwin

de généralisation, on constate qu'ils sont souvent plus créatifs que leurs confrères anglo-saxons. En tout cas, ils l'étaient. Actuellement, la recherche française est trop souvent comme pieds et poings liés par la généralisation et l'abus du principe de précaution. Si le XIX<sup>e</sup> siècle a pu se montrer beaucoup trop scientifique, jusqu'à faire de la science une sorte de religion, notre époque épouse l'extrême inverse, la défiance permanente.

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, la France dominait outrageusement la recherche. Elle ne produisait pas moins de 40 % de la connaissance écrite en biologie et médecine ! Elle atteint maintenant à peine un modeste 4 %. Nous nous sommes d'abord fait doubler par la Grande-Bretagne et l'Allemagne puis par les Etats-Unis, qui ont fait la course en tête tout au long du XX<sup>e</sup> siècle. Actuellement, on voit émerger l'Inde, la Chine et tous les pays du Sud-Est asiatique qui, contrairement à nous, ne s'embarrassent pas d'états d'âme. En fait, avec 4 % de contribution à la connaissance scientifique, nous nous rapprochons dangereusement de notre poids démographique mondial (environ 1 %).

Nous attendons que de plus audacieux que nous, les Américains notamment, fassent des expériences (et éventuellement, c'est le prix à payer, des erreurs) avant de nous mettre à leur remorque. Cette attitude timorée est d'autant plus regrettable que ce sont les philosophes postmodernes français qui, au XX<sup>e</sup> siècle, ont révolutionné l'approche de la recherche. A mon sens, nous devons beaucoup, en effet, aux philosophes de la déconstruction : Foucault, Deleuze et Derrida.

La déconstruction a ceci de bon qu'elle permet de revenir à une véritable observation des choses. Souvent, paralysés par des théories construites *a priori*, et même en disposant des nouveaux outils qui permettraient de s'en libérer, nous avons une difficulté intellectuelle à sauter le pas, à détrôner le dogme scientifique en vigueur. La déconstruction, en faisant *tabula rasa* de ce que l'on croit savoir et tient trop vite

## *Découverte des micro-organismes...*

et trop fermement pour acquis, permet cette audace créatrice.

Pour en revenir à nos eucaryotes et procaryotes, les cellules sans noyau ont d'abord été définies comme «n'ayant pas encore de noyau»; comme si elles étaient incomplètes, inachevées. On pensait qu'elles étaient destinées à progresser vers ce qui nous semblait le sommet de l'évolution : les eucaryotes, dont nous sommes. Cette définition traduit une vision faussée des choses, qui considère l'homme comme l'organisme vivant nécessairement le plus évolué. Tout ce qui nous paraît proche de nous est labellisé «évolué», tandis que le reste est estampillé «archaïque».

Ce réflexe se vérifie aussi entre sociétés humaines. Nul doute que les Européens découvrant les us et coutumes, l'alimentation notamment, des Indiens d'Amérique latine ont dû les taxer de barbares. Pourtant, force est de constater aujourd'hui que le maïs, la plupart des légumes (dont les pommes de terre) ou encore les tomates, qui figurent à nombre de nos menus, nous viennent de ces populations dites archaïques.

Cela rejoint une autre idée communément répandue qui veut que les êtres les plus complexes soient aussi les plus évolués. Les découvertes récentes tendent au contraire à montrer que l'évolution va, non pas systématiquement mais pour le moins souvent, vers la simplification. Idée reçue toujours, nous avons souvent tendance à considérer que les êtres vivants les plus gros ont de meilleures stratégies et chances de survie que les plus petits. Les parieurs ont toujours misé sur le géant Goliath plus que sur le jeune et frêle David.

Pour finir avec l'idée que nos définitions et nos conceptions du monde des vivants sont souvent trop sommaires, vous pensez certainement qu'une cellule, par définition, c'est très petit et donc inobservable à l'œil nu? Pourtant, avez-vous besoin d'un microscope pour observer le jaune d'œuf qui finit de cuire dans votre poêle? Le jaune d'œuf,

## *Dépasser Darwin*

en effet, est une cellule unique qui, si elle avait été fécondée, et après de multiples divisions, aurait donné une poule ou un poulet.

### *Un nouveau venu : l'archaea*

Si la distinction eucaryote/procaryote était déjà une étape importante dans l'exploration du monde de l'invisible, restait en fait à identifier un troisième larron : l'archaea.

Dans les années soixante-dix, contre toute attente, on découvre des bactéries (et donc des procaryotes, organismes à cellules dépourvues de noyau) là où on pensait que la vie ne pouvait pas se développer, dans des milieux extrêmes réputés hostiles à la vie : sources chaudes, vapeurs de soufre, fond des océans, etc. Elles ont été appelées bactéries extrêmophiles. Plus que la majorité des espèces, les bactéries sont en fait des organismes particulièrement résistants. La *Deinococcus radiodurans* (nom latin signifiant littéralement : l'étrange baie résistante aux radiations), aussi appelée par ses admirateurs Conan la Bactérie, peut supporter une irradiation de 3 millions de rads. A titre de comparaison, pour un être humain, une dose de 500 à 1 000 rads suffit à nous faire passer l'arme à gauche. Quant à la bactérie *Escherichia coli*, une variété très présente dans notre système digestif, elle peut, placée dans un récipient clos, supporter sans broncher une explosion de nitroglycérine.

Pour en revenir à nos bactéries extrêmophiles, on s'est aussi aperçu que non seulement elles avaient le même code ADN que tous les autres vivants, mais encore qu'elles avaient, à quelques légères variantes près, le même ribosome; le ribosome étant l'usine à traduire l'ADN en protéine (pour plus de détails, se reporter à l'Annexe). Toutes les cellules ont en partage cet outil créé il y a sans doute des milliards d'années. Si on regarde les plans de l'usine, on arrive, théoriquement, à voir comment les uns et les autres

## *Découverte des micro-organismes...*

ont évolué à partir de ces plans, comment chaque espèce les a transformés et adaptés dans son coin.

Un scientifique américain, Carl Woese, a entrepris d'étudier les trente-cinq gènes du ribosome de ces étonnantes bactéries spécialistes de la survie en milieu hostile.

En les observant, Woese s'est rendu compte qu'il n'examinait pas des bactéries mais des organismes génétiquement non identifiés. Il ne fallait plus compter uniquement avec les eucaryotes et les procaryotes mais aussi avec les archaea, une branche microbienne jusque-là restée inaperçue. Observés au microscope, en effet, les archaea passent aisément pour des bactéries<sup>19</sup>. Pour prendre une comparaison martiale, non seulement elles forment une sorte d'unité d'élite entraînée à la survie en milieu hostile, mais encore, à l'instar des meilleures unités de renseignement, elles se sont longtemps camouflées au sein de la population des bactéries.

Il a fallu les progrès de la génétique pour les démasquer. La science avance au fur et à mesure qu'elle se dote de nouveaux outils.

### *Les nouveaux outils font les grandes découvertes*

Karl Popper, un des grands philosophes des sciences du xx<sup>e</sup> siècle, a d'ailleurs bien expliqué comment les définitions scientifiques valables à un moment donné sont basées sur les outils dont on dispose à ce moment précis.

Si vous vivez, sans contact avec le monde extérieur, dans les immenses plaines de Mongolie et que vos yeux sont vos seuls outils, votre théorie sera que la terre est plate comme la main. Si vous vivez dans la station spatiale internationale, nul doute que votre théorie sera radicalement différente.

---

19. Les archaea sont similaires aux bactéries par beaucoup d'aspects de leur structure cellulaire et de leur métabolisme. Cependant, les mécanismes et les protéines impliqués dans les processus de réplication, de transcription et de traduction présentent des traits similaires à ceux rencontrés chez les eucaryotes.

## *Dépasser Darwin*

Si vous changez d'outils, vous ne voyez plus la même chose et vous êtes obligés de repenser vos théories. Pour les sciences pratiques comme la biologie ou la physique, les théories doivent en effet s'adapter à la connaissance perçue, au contraire des sciences plus dématérialisées comme les mathématiques. Non seulement les contraintes du biologiste et du mathématicien ne sont pas les mêmes, mais encore des enquêtes sociologiques tendent à montrer que les individus sont assez différents. Elles indiquent que plus le chercheur navigue dans le concept (les mathématiques par exemple), plus il sera enclin à être un croyant (peut être le mathématicien voit-il dans les mathématiques une sorte de langage caché de l'Univers?); plus le chercheur se coltine à la matière (géologues, paléontologues, biologistes...), moins il a tendance à lever les yeux au ciel.

Karl Popper a joué un rôle majeur dans la définition des théories scientifiques, pour les différencier des croyances indémontrables, en créant le principe de falsifiabilité.

Il postule que si une théorie ne peut jamais être fausse, c'est qu'elle relève de la croyance. Ses écrits, dans les années trente, comptent au rang de ces théories-croyances : le marxisme, la psychanalyse et l'évolutionnisme darwinien.

Pour les sciences qui ont le plus les deux pieds dans la glaise, une très bonne théorie, en somme, permet de rendre compte de tout ce que l'on observe à un moment donné seulement. La théorie du vivant a d'abord été fondée sur le monde visible, avant de se baser sur ce que l'on voyait au microscope<sup>20</sup> (les cellules en grande partie) puis sur la connaissance du gène.

---

20. L'exception fait la règle : il existe une bactérie, la plus grande jamais découverte, dont on peut voir les cellules à l'œil nu : la *Thiomargarita namibiensis*, ce qui signifie assez poétiquement « la perle de soufre de Namibie ».

## *Découverte des micro-organismes...*

Avec l'outil microscope on ne pouvait différencier les archaëa des bactéries, tandis qu'avec la séquence des gènes, avec la lecture de ces plans d'usine à protéines, on a conclu qu'il n'y avait pas deux (eucaryotes et procaryotes) mais trois grands domaines de la vie : bactéries, archaëa et eucaryotes.

Et les virus dans tout cela ? N'étant visibles qu'au microscope, ils sont donc à caser au rayon «microbes», mais, sortis de ce rayon, difficile d'en donner une définition claire et consensuelle, d'autant qu'ils n'ont pas de ribosome.

Parasites (ne pouvant vivre hors d'un hôte), molécules chimiques (molécules cristallisables et donc pas des êtres vivants), micro-organismes (présence d'ADN et d'ARN) ? Ils sont tout cela séparément et à la fois. Le débat reste ouvert, tant ils sont complexes, variés et changeants.

### *Et les virus dans tout ça ?*

«Il n'y a pas d'amour, il n'y a que des preuves d'amour», affirme le dicton populaire. Pour les virus, les choses en ont d'abord été ainsi.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, il y avait des choses qu'on ne voyait pas mais dont on constatait les effets (la rage observée par Pasteur, notamment) parce qu'ils étaient virulents. Avant de les voir, on supposait l'existence de microbes non visibles et filtrables (les filtres faisant à peu près 0,2 micron) que l'on a appelés les ultravirus.

Et puis, au XX<sup>e</sup> siècle, arrive le microscope électronique. Si le microscope standard permet de multiplier par mille la vision, le microscope électronique, lui, permet, pour les plus performants, de grossir le sujet étudié jusqu'à 2 millions de fois ! Des microscopes permettent même maintenant d'observer les molécules d'ADN.

Avec ce nouvel outil, on a pu enfin voir les virus dont on soupçonnait jusque-là l'existence. Ils sont apparus d'abord comme de tout petits microbes, puis on s'est rendu compte

## *Dépasser Darwin*

qu'ils étaient capables d'avoir de l'ADN ou, et ils sont les seuls dans ce cas, directement de l'ARN comme réservoir de message. Les gros virus peuvent avoir ADN et ARN, et pour moi sont aussi «vivants» que les bactéries.

Cela ne résout pas le fait que certains morceaux d'information (ADN ou ARN) du virus ne sont pas à l'intérieur des virus. On ne sait donc pas très bien les qualifier. Un peu comme un goal volant sur un terrain de football, ils se baladent librement d'une cellule à l'autre et peuvent les coloniser mais, entre-temps, ne résident pas dans un corps, dans un objet définissable (le virus étant, lui, en dépit de sa complexité, un objet identifiable). Les virus, leurs gènes et leurs stratégies de prolifération restent pour une bonne part énigmatiques. Nous n'avons pas fini de nous frayer un chemin à la machette et à la boussole dans cette forêt luxuriante que constitue le monde viral.

## Le déséquilibre microbien : quand la maladie survient

Dans le monde du visible, les organismes et organisations se livrent une lutte pour la conquête du territoire. Les nations campent sur leurs frontières et de temps à autre lorgnent de l'autre côté; les entreprises se disputent âprement des parts de marché; les espèces se supplantent l'une l'autre. Il en va de même dans le monde microscopique.

Notre organisme abrite des dizaines de milliers d'autres organismes. Pour se tailler une place, non pas au soleil en l'occurrence mais au chaud, ils doivent souvent lutter les uns contre les autres.

Avec les antibiotiques naturels, les hommes ont su mettre à profit cette lutte des micro-organismes entre eux. La pénicilline n'est rien d'autre que le produit d'un champignon assez commun qui sécrète des produits toxiques pour empêcher les bactéries de s'implanter.

Les bactéries se tuent les unes les autres mais aussi peuvent s'encourager mutuellement.

Elles jouent entre elles le rôle de sergent recruteur *via* des estafettes, des molécules appelées Quorum Sensing. En cas, elles s'envoient des messages disant en substance : « Ici c'est un bon endroit pour se multiplier. L'accueil est bon, la nourriture abondante et la concurrence peu féroce. Venez me rejoindre! » La communication des micro-organismes est très complexe et ces mêmes molécules Quorum Sensing

## *Dépasser Darwin*

peuvent aussi collaborer à des visées nettement plus inamicales. Elles peuvent en effet servir à stimuler un virus présent au sein d'une bactérie afin de réduire la population des bactéries présentes.

Ce faisant, elles permettent une redistribution massive des gènes des bactéries qui infectent ces virus et participent à la création de bactéries plus résistantes.

Une maladie infectieuse traduit un déséquilibre entre un micro-organisme et son hôte.

La plupart du temps, nous vivons en bonne intelligence avec les milliers de micro-organismes qui vivent dans notre tube digestif, sur notre peau, etc. La prolifération d'une bactérie peut finir par tuer son hôte. Toutefois, le micro-organisme n'est pas intelligent, il n'a pas de stratégie machiavélique. Contrairement à ce que laissent imaginer les images utilisées dans certaines campagnes de sensibilisation, il ne réfléchit pas dans sa petite tête de virus sournois au meilleur moyen de vous attaquer, le couteau entre les dents, pour mieux vous rendre malade. Comme disait Henri Michaux : *«Le microbe, lui, n'a pas le temps d'examiner le biologiste.»* Tout ce qu'il veut, c'est se multiplier. S'il finit par tuer l'écosystème dans lequel il se répand, tant pis pour l'hôte et tant pis pour son encombrant invité. Le microbe n'était pas adapté à son environnement; c'est là le principe même de l'évolution. *Vae victis!*

De la même manière, lorsque, ici ou là, nous saccageons notre planète, ce n'est pas par haine de cette planète, c'est pour satisfaire un besoin à court terme. Le comportement des micro-organismes n'est pas plus délibérément destructeur ou suicidaire que le nôtre.

## L'obésité est une épidémie

### *Les bactéries, une nécessité pour la digestion*

Il y a au moins cent fois plus de bactéries dans le tube digestif que de cellules que nous appelons «humaines». Nous les nourrissons avec ce que nous ingérons mais elles nous nourrissent aussi. Sans elles, nous sommes incomplets. En effet, nous ne disposons pas naturellement des enzymes nécessaires à la digestion d'une partie (en moyenne 25 %) de ce que nous absorbons, notamment les végétaux. Nous avons donc besoin de l'aide des bactéries capables de les digérer et de les transformer en calories.

Cette question est devenue un enjeu intellectuel massif, avec des éléments très controversés.

En étudiant la composition des bactéries du tube digestif d'un homme à un autre, on remarque un certain nombre de variations, notamment géographiques. L'écosystème des bactéries des Américains n'est pas le même que celui des Chinois ou celui des Africains. Très logiquement, ce que nous mangeons détermine en partie cet écosystème. Il ne sera pas le même si vous vous nourrissez de salades grecques ou de chili con carne. Les régimes alimentaires à base de végétaux sont ceux qui favorisent la plus grande biodiversité bactériologique intestinale. Cela est aussi valable pour les animaux. En somme, la biodiversité bactériologique d'un

herbivore est supérieure à celle d'un omnivore, elle-même supérieure à celle d'un carnivore. Rien de difficile pour nous dans la digestion de la viande ; nous disposons naturellement de toutes les enzymes nécessaires à son assimilation. Le plus simple, en fait, ce qui en tout cas nécessiterait le moins de diversité bactériologique, c'est le cannibalisme ! Avec pour bémol que le cannibalisme favorise le développement d'une maladie à prion (comme la maladie dite de la vache folle) appelée Kuru. Cette maladie a été diagnostiquée chez les peuples qui s'adonnaient à des rites anthropophages en Nouvelle-Guinée. Kuru signifie «trembler de peur», et, effectivement, les victimes de cette maladie souffraient de troubles neurologiques se manifestant par des tremblements. La démence puis la mort étaient l'aboutissement de cette pathologie aujourd'hui disparue.

### *Obésité : la diversité bactériologique en question*

En étudiant la flore intestinale des minces et des obèses, on s'aperçoit que la flore de ces derniers est considérablement appauvrie (pas en nombre total de bactéries mais en diversité, en variété).

Chez un homme lambda, la flore se constitue à 80 % de bactéries Firmicutes et à 20 % de bactéries Bacteroidetes. Chez un obèse, on ne retrouve plus que 5 % de Bacteroidetes, alors que ce sont elles qui fournissent le plus grand nombre d'enzymes facilitant la digestion.

L'idée initiale des études menées il y a quelques années par le Dr Jeffrey Gordon sur ces bactéries était de démontrer que les personnes obèses avaient plus d'enzymes pour digérer et convertissaient mieux les aliments en calories.

Elles devaient donc présenter une flore intestinale plus riche, plus variée. Le résultat des études a démontré exactement l'inverse.

La variation du rapport Firmicutes/Bacteroidetes est

## *L'obésité est une épidémie*

donc fortement liée à la prise de poids. Mais restait à déterminer si cette différence de flore était la cause ou la conséquence de l'obésité. Pour le savoir, l'équipe de Jeffrey Gordon a donc fait suivre des volontaires obèses ayant des régimes basses calories ou des régimes sans hydrates de carbone. Au bout de deux ans, les obèses ayant bien suivi leur régime avaient une flore plus variée, redevenue proche de celle des minces. Cette expérience tend à prouver que l'alimentation détermine la composition du microbiote intestinal. Là où les choses se compliquent, c'est qu'une autre expérience, menée sur des souris, indique... l'inverse ! A des souris élevées dans un environnement stérile (et donc sans flore microbienne), Jeffrey Gordon a transféré, greffé pourrait-on dire, un microbiote d'obèse ou un microbiote de mince. Résultat : les souris auxquelles avait été transféré le microbiote d'obèse sont devenues obèses ; les autres sont restées minces.

L'obésité est donc en partie une conséquence de la variation du microbiote intestinal, elle-même conséquence de l'obésité. Plus encore, le diabète lié à l'obésité semble aussi se transmettre par le microbiote chez les souris prédisposées.

Causes et conséquences s'interpénètrent trop pour offrir une lecture simple du phénomène.

### *Les probiotiques, aliments à la mode, sont-ils inoffensifs ?*

Mon équipe et moi-même avons travaillé sur un nouveau membre des bactéries appelé *Lactobacillus*.

Cette espèce nouvelle est soupçonnée de donner des maladies graves aux oiseaux.

Le résultat de l'expérience nous a conduits sur des chemins bien différents de ceux que nous pensions emprunter. De façon générale, je me méfie des hypothèses, sauf quand le résultat est aux antipodes de ce que l'on attendait. Quand

on a tout fait pour prouver quelque chose et que le contraire se produit, il y a de fortes chances que le résultat obtenu soit le bon. En l'occurrence, donc, je travaillais sur cette méga-bactérie envoyée par un ami ; bactérie qui avait pour particularité de tuer les autruches en leur bouchant l'estomac. N'ayant pas d'autruche sous la main, j'ai donné cette bactérie à des poules et, avec mon équipe, nous nous sommes mis à les observer. Au lieu d'avoir une mortalité importante de poules, nous nous sommes retrouvés avec des poules géantes pondant des œufs géants. Poursuivant l'expérience, nous avons donné d'autres formes de *Lactobacillus* à des poules qui, toutes, ont grossi plus que leurs congénères à qui nous n'en avons pas donné.

Ce résultat m'a conduit à m'intéresser de plus près à l'alimentation animale. Depuis un bon demi-siècle, en effet, le microbiote intestinal des animaux d'élevage est manipulé de façon à accélérer leur croissance et leur prise de poids. Pour ce faire, on leur donne des probiotiques<sup>21</sup>, les fameuses bactéries Firmicutes (les *Lactobacillus* entre autres). Aux Etats-Unis (en Europe cela a été interdit en 2006), on leur donne aussi des antibiotiques, non pas dans le seul but de prévenir les épidémies mais comme facteurs de croissance et d'engraissement. Il me semble donc pertinent que la communauté scientifique se pose la question suivante : si les antibiotiques favorisent l'engraissement des animaux, pourquoi ne se préoccupe-t-on pas de ce qu'ils font chez les enfants ? Non seulement il faudrait s'interroger sur les effets de la prescription abondante d'antibiotiques, mais encore il faudrait peut-être s'inquiéter de la nouvelle mode des alicaments et autres probiotiques, qui ne sont rien d'autre que des bactéries (*Lactobacillus* ou *Bifidobacterium*). En somme, on donne à nos enfants ce qui est utilisé dans l'élevage intensif. On les engraisse peut-être comme sont engraisés les veaux, vaches, cochons, couvées dans les fermes !

---

21. Des micro-organismes vivants : bactéries ou levures.

## *L'obésité est une épidémie*

Avec les antibiotiques et les probiotiques (qui tous deux peuvent tuer ou renforcer la flore associée à la prise de poids), on change l'écosystème interne de l'être humain. Avec quelles conséquences sur la prise de poids ?

Nous avons mis au point, avec mon équipe, une technologie permettant de quantifier les *Lactobacillus*. Sur des prélèvements de flore intestinale envoyés par des médecins, nous avons trouvé qu'il y avait plus de *Lactobacillus* chez les obèses que chez les individus non obèses. Impossible cependant d'affirmer péremptoirement que les *Lactobacillus* sont les grands responsables de l'obésité. Il serait toutefois bien étrange que les humains soient les seuls mammifères qui ne prennent pas de poids en ingérant des probiotiques. Impossible, d'un autre côté, pour leurs promoteurs, de démontrer que les probiotiques sont bénéfiques pour la santé.

Il serait en tout cas bon et largement temps de s'y intéresser. On observe une sorte d'épidémie mondiale de la prise de poids et personne, jusqu'à ce jour, ne s'était posé la question de l'implication des traitements antibiotiques et de la mode des probiotiques dans ce phénomène de masse. Sans être un chaud partisan du principe de précaution, j'estime que nous avons assez d'éléments pour ouvrir sérieusement le dossier.

Reste qu'il est toujours difficile de faire revenir les gens sur des opinions bien ancrées, martelées depuis des années par de puissants lobbies industriels et confortées par des présupposés psychologiques comme par exemple l'idée de pureté associée à la couleur blanche. Les probiotiques et le lait sont nécessairement des « alliés de votre santé », comme disent les slogans publicitaires, puisqu'ils sont blancs donc purs : CQFD. Il y a fort à parier que des produits grumeleux et marron remporteraient nettement moins de succès auprès des consommateurs.

Cette vision des microbes médicaments, des « gentils » microbes, relève en partie pour moi de la vision « Blanche-

## *Dépasser Darwin*

Neige» de la nature relayée par le marketing bio. D'une part, nous aurions les médicaments issus de l'industrie pharmaceutique, des produits chimiques donc, et en tant que tels forcément suspects. D'autre part, voici les microbes, des organismes vivants issus de la fermentation, donc labellisés «naturels» et inoffensifs.

Les microbes en soi ne sont ni bons ni mauvais. Ils sont en revanche beaucoup plus complexes et malaisés à connaître que les produits chimiques.

Une tendance passéiste assez à la mode voudrait que la nature soit bonne par principe. La nature, la science l'a en partie domptée pour l'empêcher de nous tuer ! Il me souvient avoir entendu parler de randonneurs qui, dans un parc naturel, avaient consommé des champignons trouvés sur place et en étaient morts. Ils ont été, à mon avis, victimes d'une sorte de fantasme qui fait de la nature un Eden bienveillant et de la science le grand méchant loup perturbateur de ce paradis originel. Il s'agit là d'un écologisme naïf et finalement dangereux pour ses adeptes. Moi-même spécialiste des écosystèmes, je suis ce que l'on peut appeler un écologiste. Mais je ne prête pas à la nature des intentions bienveillantes. Je la connais trop bien.

### *L'obésité est contagieuse*

La qualité de l'alimentation, la nature des bactéries de notre flore intestinale mais aussi leurs interactions jouent un rôle dans l'obésité, sans oublier le facteur génétique. Reste que, pour l'instant, la meilleure parade trouvée à l'obésité, ce sont les femmes françaises qui la pratiquent le mieux : se peser quotidiennement. La balance entre l'entrée et la dépense de calories est à gérer très régulièrement. Il suffit en effet de prendre un kilo par an, soit moins de trente grammes par jour, pour devenir obèse en quelques années. On constate aussi, sans que vienne pour l'instant l'expliquer

## *L'obésité est une épidémie*

une théorie scientifique, que l'obésité est contagieuse. Avoir un proche obèse multiplie les chances de le devenir. Faut-il imputer à cette contamination des causes alimentaires (repas pris en commun), sociologiques (dérive progressive des normes corporelles), psychologiques (imitation), microbiennes (dérèglement de l'écosystème intestinal)? Nul ne le sait. Quoi qu'il en soit, l'obésité est transmissible. Nous sommes même maintenant confrontés à une véritable pandémie et nous ne pouvons plus nous satisfaire des explications fournies jusqu'ici : alimentation trop calorique et sédentarisation. En d'autres termes, on ne peut plus se contenter d'incriminer le pop-corn devant la télévision. En effet, les Américains n'ont pas changé leurs habitudes alimentaires depuis une trentaine d'années. Ils n'ont pas non plus modifié leur pratique du sport. Pendant ce temps-là, la courbe de croissance de l'obésité, elle, ne cessait de grimper de façon vertigineuse. Qu'on le veuille ou non, l'alimentation n'est pas seule en cause. La génétique non plus ne saurait répondre entièrement à cette problématique. Une communauté chinoise, dont une partie s'est expatriée en Californie, a été étudiée sous l'angle de la prise de poids. Tous les membres de la famille installés en Californie ont grossi plus que ceux restés en Chine! L'obésité est donc bien, d'une manière ou d'une autre, transmissible. C'est une véritable épidémie.

Il existe par ailleurs des travaux suggérant qu'un virus adénovirus serait associé chez l'homme à l'obésité. Il peut en tout cas rendre les souris obèses.

## Le cancer ; quand virus et bactéries sont en cause

On peut aussi parler d'épidémie pour le cancer. Une récente campagne de prévention du cancer, pour le moins anxiogène, le dit assez bien : «Un Français sur deux a ou aura un cancer.» Pierre Desproges tentait de mettre à distance l'angoisse du cancer quand il déclarait, avant d'y succomber : «Moi, le cancer, je ne l'aurai pas, je suis contre !» «Le crabe» reste la première de nos inquiétudes, plus que les maladies infectieuses. Et pourtant...

Les premiers cancers (le plus souvent des leucémies) dont on a compris la cause étaient liés à des expositions physico-chimiques (radiations, benzène, etc.). Ce sont encore ces causes qui restent la préoccupation majeure dans l'esprit du grand public. Elles entrent en résonance avec la vision terrifiée que beaucoup d'entre nous ont actuellement de la physique et de la chimie. Il n'est que de voir la virulence des débats sur les antennes téléphoniques, poteaux électriques et autres pesticides pour s'en convaincre. Les causes infectieuses, elles, ne connaissent pas la même célébrité. Pourtant, dès le début du xx<sup>e</sup> siècle, a été identifié (chez la souris) un cancer viral, le sarcome de Rous. Plusieurs des derniers prix Nobel de médecine ont été attribués à des chercheurs se consacrant aux causes infectieuses du cancer. La science avance en effet énormément sur ce sujet. Il reste que les gens

## *Le cancer; quand virus et bactéries sont en cause*

sont, pour la plupart, toujours persuadés que l'ulcère gastrique et le cancer de l'estomac sont à porter au compte du stress.

### *Ulcère gastrique et cancer de l'estomac*

Le coupable désigné n'est pas le bon. Le fauteur de trouble, en l'occurrence, est la bactérie *Helicobacter pylori*. Robin Warren et Barry Marshall, deux chercheurs australiens, ont obtenu en 2005 le prix Nobel de médecine pour cette découverte. Face au scepticisme général, Marshall décide un jour de 1985 de jouer les cobayes. Il avale une dose d'*Helicobacter pylori* et, effectivement, tombe rapidement malade. Il sera efficacement soigné par un traitement antibiotique. Ce n'était pas la première fois qu'un scientifique décidait de devenir son propre cobaye (lui ou sa famille), avec des issues plus ou moins heureuses. En 1898, sir Patrick Manson fait piquer son fils par un moustique apporté de Rome afin de prouver le mode de transmission du paludisme chez les hommes (après l'avoir abondamment testé chez les oiseaux). Le fils-cobaye guérit avec de la quinine. Dans les années 1970, aux Etats-Unis, dans le but de trouver un vaccin contre le paludisme, Clyde se fit piquer 2 700 fois par des moustiques en quelques jours. Plus dramatique est l'histoire de l'étudiant péruvien Daniel Carrión<sup>22</sup>, tombé au champ d'honneur de la médecine infectieuse en 1885. S'étant inoculé une maladie appelée verruga du Pérou, il développa les symptômes d'une autre maladie, la fièvre d'Oroya, prouvant ainsi que les deux maladies avaient une

---

22. Un proverbe français dit que «les jeunes médecins font les cimetières bossus». En d'autres termes, que leur incompétence fait passer leurs patients de vie à trépas. Il faudrait ajouter que les médecins, s'ils font les cimetières bossus, c'est aussi parce qu'ils sont aux avant-postes de la lutte contre la maladie. En cas d'épidémie émergente, ils sont les premiers touchés. Le Réseau Sentinelles, en France, porte en ce sens bien son nom.

## *Dépasser Darwin*

origine commune (en l'occurrence la bactérie *Bartonella bacilliformis*). Une quarantaine de jours après l'inoculation, non sans avoir soigneusement consigné par écrit les progrès de la maladie chez lui, il succomba à sa propre expérience. Dans un registre moins dramatique, dans les années trente, un couple de chercheurs polonais et leurs techniciens cultivaient sur eux-mêmes des... poux de corps. Il fallait, en effet, environ un millier de poux pour produire une dose de vaccin contre le typhus.

Pour en revenir à la bactérie *Helicobacter pylori*, mieux vaut donc soigner un ulcère gastrique avec des antibiotiques qu'avec des séances de yoga. Dans les pays riches, les cancers liés à *Helicobacter pylori* tendent à diminuer. Dans les pays les plus pauvres, la transmission de cette bactérie est liée à un manque d'hygiène. Le défaut d'installations sanitaires et de traitement des eaux usées favorise la contamination des populations par les bactéries présentes dans les matières fécales. Le nombre de morts liées à ce que l'on appelle «le péril fécal» est impressionnant. Le touriste occidental peut en avoir un vague et désagréable aperçu lorsqu'il subit ce que l'on appelle communément une tourista. Ce nom qui fleure bon les vacances sous le soleil désigne en fait une diarrhée aiguë. On l'attrape notamment en consommant des fruits et légumes lavés par de l'eau souillée ou manipulés par des mains à l'hygiène douteuse et par la salive.

Plus généralement, l'OMS estime que 80 % des maladies des pays en développement sont liées à l'eau : elles font chaque année près de 1,7 million de morts. L'accès à l'or bleu est un enjeu majeur pour les sociétés humaines qui se sont toujours implantées et développées autour de points d'eau. On ne compte plus le nombre de sources ayant été considérées comme sacrées, et, aujourd'hui, cette sacralisation se manifeste à travers le business très rentable des eaux minérales auxquelles on ne finit pas de prêter des vertus qui restent à prouver. Pour ne prendre qu'un exemple de catas-

## *Le cancer; quand virus et bactéries sont en cause*

trophe sanitaire engendrée par cette question cruciale de l'eau, rappelons le désastre qu'a été l'introduction massive du lait en poudre en Afrique noire dans les années soixante. Non stérilisée et souvent même non potable, l'eau qui a servi à diluer le lait en poudre contenait des microbes que les jeunes enfants n'auraient dû rencontrer que bien plus tard dans la vie. Le lait en poudre qui devait sauver des vies en a finalement abrégé beaucoup. L'eau stagnante est partout un véritable réservoir à bactéries et maladies diverses comme elle est aussi une véritable pouponnière à moustiques (qui transmettent le paludisme, la dengue, la fièvre jaune, etc.). Même votre piscine n'est pas exempte de dangers. Pas de méduses et pas de requins dans cet espace de baignade créé par l'homme mais, en revanche, quelquefois (rarement) des amibes libres responsables de méningites et, beaucoup plus souvent, des virus (papillomavirus) donnant des verrues. Quand l'homme modifie son écosystème (en l'occurrence création d'un plan d'eau), il peut sans le vouloir favoriser le développement d'organismes vivants. C'est ainsi que le chlore favorise le développement de certaines algues qui, contrairement aux yeux rougis des nageurs, semblent apprécier tout particulièrement cette tentative de stérilisation des piscines. Il en va de même pour cryptosporidium, un parasite unicellulaire qui a développé rapidement par sélection une résistance à la majorité des désinfectants, y compris le chlore. Par la fréquentation des piscines il s'est massivement répandu, provoquant de véritables épidémies. La pathologie qu'il déclenche, la cryptosporidiose, se manifeste notamment par d'importantes diarrhées, potentiellement très dangereuses pour les individus au système immunitaire affaibli.

### *Cancer de l'utérus*

Le cancer de l'utérus est lui aussi lié à un virus, le papillomavirus. Harald zur Hausen, qui a établi le lien entre ce

## *Dépasser Darwin*

virus et le cancer du col de l'utérus, a obtenu en 2008 le prix Nobel de médecine pour ses travaux. Depuis longtemps, on soupçonnait le caractère sexuellement transmissible de ce cancer. C'est récemment, en revanche, qu'a été établi que 70 % des cancers de la gorge étaient aussi liés au même virus. A mon sens, pour éradiquer en grande partie ces cancers, il faudrait songer à mener une campagne de vaccination massive des populations, à la fois hommes et femmes, car il s'agit d'une MST (Maladie Sexuellement Transmissible).

### *Lymphome*

Toujours dans la (finalement assez large) catégorie des cancers transmissibles, on trouve le lymphome. Dans 25 % des cas, ce cancer du système lymphatique est dû au virus de la mononucléose infectieuse. Voilà donc un virus responsable de cancer facilement transmissible puisque passant par la salive.

### *Hépatites et cancers du foie (l'exception française)*

Les cancers du foie, pour leur part, ne sont pas uniquement imputables à l'alcool qui ne serait ici qu'un cofacteur. Le virus de l'hépatite serait le facteur majeur de ces cancers. En France, mille cinq cents personnes meurent tous les ans des conséquences de l'hépatite B. Les rumeurs qui ont voulu que le vaccin contre l'hépatite B soit responsable de scléroses en plaques ont, en fait, surtout servi la cause de ce dangereux virus. Arrêter de vacciner les populations, c'est baisser les bras devant sa propagation. La sclérose en plaques étant une maladie dont la cause n'est pas connue, les familles veulent absolument lui trouver un responsable. C'est le vaccin contre l'hépatite qui a fait les frais de cette

*Le cancer; quand virus et bactéries sont en cause*

chasse au coupable, en France seulement. Le vaccin est souvent la victime expiatoire des peurs collectives, ce qui s'explique notamment par le fait que la vaccination est un acte médical très répandu. Si l'on cherche un dénominateur commun aux personnes atteintes de telle ou telle maladie, nul doute qu'on en trouvera toujours un : la vaccination. Pourtant, le niveau de sécurité des vaccins s'est considérablement élevé au cours du xx<sup>e</sup> siècle et leur dangerosité est sans commune mesure avec celle, réelle, des premiers vaccins. Le vaccin contre la rage, par exemple, était cultivé sur du tissu nerveux de lapin et pouvait donc attaquer le système nerveux humain. Les Français sont les seuls à croire à un lien entre la sclérose en plaques et le vaccin contre l'hépatite. Notre pays compte donc autant de victimes de la sclérose en plaques mais plus de victimes de l'hépatite B que les autres pays.

## Stratégies microbiennes, le choix des armes

Nous sommes donc un écosystème très peuplé, et les maladies infectieuses qui nous touchent sont des querelles entre les habitants de cet écosystème. Un virus comme celui du sida ne cherche pas autre chose que la conquête d'un territoire pour assurer sa propre multiplication. S'il se fait au départ assez discret, ne rendant pas très malade au début de son expansion, c'est afin de pouvoir se multiplier tranquillement le plus longtemps possible. C'est une des multiples stratégies des virus. Pour certains scientifiques – les scientifiques ayant tendance à avoir beaucoup de théories sur tout –, cette relative non-agressivité primordiale témoigne d'un haut niveau d'adaptation du virus. En somme, ceux qui passeraient une sorte de «pacte» avec l'organisme hôte seraient les plus évolués. C'est une théorie; je n'y crois pas. Certains virus, la variole par exemple, sont incroyablement agressifs; ils se multiplient beaucoup, très vite et tuent à une vitesse folle. Cette stratégie marche aussi très bien.

Je ne crois pas que l'on puisse décréter que telle stratégie est meilleure que telle autre. Sur le champ de bataille de ce que l'on peut appeler la guerre économique, il y a des entrepreneurs qui ont basé leur stratégie sur la vitesse et l'agressivité, d'autres sur la lenteur et la coopération. Les deux tactiques peuvent s'avérer payantes. Chacun peut tirer son épingle du jeu avec des armes différentes.

## **L'homme, pour résumer**

**Est un écosystème** (pour chaque cellule eucaryote, on compte environ cent bactéries et mille virus) **complexe, vivant dans des écosystèmes complexes.**

Nous abritons des milliards de micro-organismes qui peuvent varier en fonction des zones géographiques où nous vivons, et nous rencontrons tous les jours des milliards de bactéries et virus qui, eux aussi, varient en fonction de l'endroit où nous habitons. Avec mon équipe, par exemple, nous avons identifié chez des Africains des bactéries du tube digestif que l'on ne retrouve pas chez les Européens. Quels rôles peuvent jouer ces bactéries dans les infections, l'obésité ou la protection du tube digestif ? Si nous n'avons pas encore de réponse à cette question, en revanche, nous savons qu'il reste beaucoup, pour ne pas dire immensément, à découvrir sur les interactions entre notre propre écosystème et ceux dans lesquels nous évoluons.



**Demain, quelle évolution pour quelles espèces ?**



## Prévoir les écosystèmes de demain : une absurdité, un fantasme

Si on remarque, d'une part, l'appauvrissement de l'écosystème dans lequel l'homme vit, on observe actuellement, d'autre part, un flux des espèces de la zone intertropicale vers les zones tempérées et froides. La zone intertropicale, chaude et humide, constitue un réservoir de créativité biologique nettement plus important que les zones tempérées. C'est en quelque sorte l'incubateur des organismes de demain ; c'est là que se mélangent le plus les espèces, là que se trouve la plus grande fertilité. Il est d'ailleurs possible que le réchauffement de la planète entraîne une plus grande fertilité des espèces. Possible, mais pas certain. Nul ne peut dire ce que sera l'avenir. Les modélisations qui tentent de le prévoir sont, à mon avis, vouées à l'échec tant il y a de paramètres (non seulement scientifiques mais aussi humains et sociaux) à prendre en compte. Reste que les êtres humains ont une telle angoisse du changement qu'ils sont prêts à croire tous les Nostradamus qui voudront bien lever le voile sur leur avenir. Ils manifestent aussi une étonnante capacité à transformer la science en sorcellerie ; ainsi l'astronomie en astrologie. Si les astronomes ont eu autant d'influence, s'ils étaient si bien en cour auprès des princes et monarques de toutes sortes, c'est que, capables de prédire une éclipse, ils étaient donc en partie capables de prédire l'avenir. Mais,

pouvoir annoncer un phénomène qui obéit à des lois physiques, ce n'est pas être en mesure de prévoir l'issue d'un conflit armé ou d'une intrigue sentimentale. Selon Voltaire, «l'astrologie est née quand le premier charlatan a rencontré le premier physicien».

Cependant, on ne peut pas tracer une frontière imperméable et évidente entre scientifiques et charlatans. Certes, il existe des charlatans patentés qui n'ont aucun rapport, de près ou de loin, avec la science, mais on a aussi de magnifiques escroqueries scientifiques, conscientes ou inconscientes. Nous l'avons dit, les astrophysiciens, capables de prédire les éclipses et donc l'avenir, ont très rapidement été consultés pour tout autre chose que leur seule science des astres. Si les astrophysiciens ont maintenant déserté les couloirs des palais pour regagner leurs observatoires, ils ont été remplacés dans leur rôle de devins officiels par la modélisation mathématique prédictive.

*La modélisation prédictive :  
l'illusion de pouvoir tout contrôler*

Certains mathématiciens, en effet, construisent des modèles pour prédire l'avenir. Ils prétendent par exemple pouvoir augurer la propagation de telle ou telle épidémie.

Leur chef de file, notamment, publie tous les ans des prévisions qui ont ceci de constant qu'elles ne sont strictement jamais vérifiées. Avec une belle régularité, il annonce des choses dont on peut être certain qu'elles ne se produiront jamais comme il les décrit.

Certes, on ne peut pas refuser à ces mathématiciens la qualité de scientifiques mais ils peuvent aussi être qualifiés de charlatans dans la mesure où ils utilisent des outils scientifiques à des fins qui n'en sont pas. L'avenir n'est pas réductible à nos prédictions ; les paramètres à prendre en compte dépasseront toujours nos possibilités de calculs.

## *Prévoir les écosystèmes de demain...*

Même des revues scientifiques réputées ouvrent leurs colonnes à ce type de prédictions; la recherche du sensationnel ne concerne pas que les magazines vendus en kiosque.

On comprend aisément le besoin qu'ont les gouvernants de se doter d'analyses, d'études prospectives et autres outils pour tenter de maîtriser l'avenir. Vouloir estimer l'ampleur et l'impact de tel ou tel phénomène n'est pas une mauvaise chose en soi mais, une fois que les autorités sanitaires ont en main une étude donnant une fourchette allant de deux à trente millions d'individus potentiellement touchés par une épidémie, en quoi sont-ils plus avancés ?

Quand je parle de charlatanisme scientifique, je ne parle pas nécessairement d'une volonté consciente de duper la communauté scientifique et le grand public. La passion de la science peut s'avérer tout aussi dangereuse et dévorante, voire plus, que les relations coupables entre certains lobbies et les chercheurs. Autant on peut tuer ou mourir pour une passion (y compris scientifique), autant un escroc (y compris scientifique) ne donnera pas sa vie pour de l'argent. Pour quelques vrais tricheurs, on compte infiniment plus d'individus honnêtes mais aveuglés par leur désir forcené d'aboutir à un résultat escompté, de confirmer leurs hypothèses.

### *Neutralité : le pays où l'on n'arrive jamais*

Imaginons que, pour valider le résultat d'une expérience, il faille la répéter trois ou quatre fois. Si une des tentatives ne donne pas le résultat escompté, le chercheur aura spontanément tendance à vérifier la validité de l'expérience pour cette tentative décevante mais pas pour les autres.

Rien n'étant jamais parfait, il trouvera presque toujours des raisons (méthodologiques, techniques, etc.) justifiant que ce résultat, qui ne va pas dans son sens, soit écarté du

résultat final. Pas de malhonnêteté dans cette démarche, juste une tendance naturelle à écarter ce qui ne correspond pas à nos attentes. De toute façon, les résultats sont toujours peu ou prou biaisés (au moins par le «biais d'observations»). Il n'y a pas de résultat neutre, cela n'existe pas.

C'est la raison pour laquelle j'estime qu'il faut au moins deux équipes de chercheurs, travaillant sur le même sujet mais indépendantes l'une de l'autre, pour qu'une conclusion (analysée enfin par une troisième équipe) soit considérée comme crédible. Avant de la valider, il faut que ces deux équipes trouvent la même chose avec des résultats significatifs sur des chiffres conséquents et non sur des résultats susceptibles de quantité d'interprétations. Pour moi, la science n'est pas subtile, elle ne doit pas l'être. Les finasseries, les arguties et querelles jésuitiques sur d'infimes pourcentages ne sont pas notre affaire; elles laissent trop la part belle aux errements de l'interprétation subjective.

Pendant des décennies, dans ma discipline, les maladies infectieuses, la méthode dominante de recherche était la vérification de l'hypothèse. En somme, le chercheur fonctionnait ainsi : «Je pense savoir assez de choses pour avoir une opinion. Cette opinion, je la formule, et je vais réunir les conditions pour permettre de démontrer que j'ai raison.» Alors, bien sûr, c'est la base de notre métier, le chercheur va mettre des témoins (négatifs et positifs), mais jamais assez finalement pour contrebalancer le fait qu'il a monté cette expérience à seule fin de prouver qu'il avait raison.

Cette méthode de recherche basée sur l'hypothèse a largement et longtemps été la plus encouragée. A tort à mon avis, puisque les projets ainsi financés sont largement biaisés et ont pour inconvénient non négligeable qu'ils... ne se réalisent pas. Ce problème a généré en réponse une phase actuelle de la science, la méta-analyse, qui implique que les chercheurs étudient dix, douze, quinze études différentes! En se penchant notamment sur la qualité méthodologique des ces études. Puis ils tirent des conclusions de la diver-

## *Prévoir les écosystèmes de demain...*

gence ou de la convergence des résultats obtenus. Si la majorité des études donne un résultat similaire, il y a alors de fortes chances pour que ce résultat soit valide.

### *Hypothèse et curiosité; à chacune son heure*

Pour moi, le scientifique mû par la curiosité est un pêcheur qui jette ses filets et étudie tous les poissons qu'il a ramenés, sans rejeter à la mer ceux qu'ils ne s'attendaient pas à trouver. C'est ainsi, et seulement ainsi, que l'on peut découvrir de nouvelles espèces de poissons. Le scientifique qui ne fonctionne que par hypothèses et ne remet jamais en cause la théorie dominante se condamne pour sa part à traquer toujours la même espèce, là où il sait pouvoir en trouver des bancs entiers, mais sans se donner la chance de découvrir des choses dont il ne soupçonnait même pas l'existence.

Je n'ai pas d'hostilité de principe à l'encontre de la théorie; je sais trop bien qu'il faut toujours, à un moment donné, rassembler les connaissances que l'on a engrangées pour en faire la synthèse et pouvoir continuer à avancer. Cependant, j'estime que le moment de la science que nous vivons, qui est une période foisonnante d'accumulation de données, n'est pas encore le temps de la synthèse. Pour prendre une comparaison, disons qu'en matière de géographie, il y a d'abord le temps des découvreurs puis celui des cartographes. Avec la révolution génomique, nous en sommes encore au temps des découvreurs. Les cartographes auront leur heure, plus tard. Avec le séquençage du génome nous sommes à l'aube de découvertes que nous ne pouvons même pas imaginer. La génétique est d'ores et déjà venue bousculer beaucoup de nos représentations, et notamment celles issues du darwinisme.

## Que nous dit la science d'aujourd'hui?

Globalement, la recherche fondée sur l'hypothèse perd du terrain et, contrairement à ce que l'on peut entendre ici ou là, la science, depuis une dizaine d'années, est incroyablement productive. La science actuelle tend enfin à favoriser la «recherche exploratoire», à l'aide de nouveaux outils. Cette recherche se fonde sur l'audace, la curiosité et l'utilisation de nouveaux outils dans des secteurs où ils n'avaient pas encore été employés. Dans ce domaine, les Asiatiques sont en train de réaliser une avancée spectaculaire, en particulier les Chinois. Quant aux Indiens, ils sont en train de créer des moyens humains d'une puissance inégalable; dans leurs nombreuses écoles, ils «produisent» des ingénieurs en série.

Les nouveaux outils informatiques, la place de plus en plus prégnante d'Internet, en l'espèce, favorisent aussi l'essor d'une nouvelle presse scientifique plus audacieuse. Un nouveau groupe de presse américain, PLOS, met en ligne gratuitement ses journaux. *Plos One*, plus précisément, couvre les domaines de la biologie et de la médecine.

Chaque chercheur paye pour publier son article. N'est évaluée que la qualité scientifique du texte, mais pas son audimat potentiel. Le résultat en est que les papiers les plus

## *Que nous dit la science d'aujourd'hui ?*

intéressants, les plus révolutionnaires s'y trouvent. Ils vont bientôt damer le pion à des titres plus institutionnalisés.

### *Craig Venter : héros épique de la science moderne*

Nous sommes dans une phase de bouillonnement intense, dans une sorte de Far West, avec ses héros épiques comme Craig Venter. Celui-ci a fondé la première entreprise privée de séquençage du génome. Pour tenter de le doubler dans cette course au séquençage, les plus puissants gouvernements se sont alliés. Le résultat est un match nul entre ce David de l'industrie et le Goliath étatique. Pour la communauté scientifique, Venter est une sorte de héros et sa vie un feuilleton. Il a aussi acheté un bateau avec lequel il est allé en mer des Sargasses ramasser un maximum de microbes dont il a séquencé tous les gènes. C'est là, tout simplement, la première expérience de «méta-génomique», c'est-à-dire l'observation de l'ADN de communautés entières de microbes sans même chercher à identifier les microbes en question. Il s'agit d'un champ entièrement nouveau pour la recherche. Au compte de ses «exploits», il faut aussi porter la création du premier virus de synthèse, le premier virus artificiel, et de la première bactérie artificielle (qui porte le joli nom de *Mycoplasma Laboratorium*).

Loin de l'image communément répandue de Professeur Nimbus maladroit et rêveur, c'est un chef d'entreprise milliardaire et un aventurier de la science. A ce titre, il ne s'est pas fait que des amis. Soit que certains le jalouent, soit que d'autres (les mêmes ?), compte tenu de son style et de ses méthodes non conventionnelles, lui déniaient la qualité de scientifique.

De toute façon, il est rarement bon d'avoir raison trop tôt. Pytheas, grand navigateur marseillais de son état, aux alentours du III<sup>e</sup> siècle avant J.-C., a raconté que, au cours

## *Dépasser Darwin*

d'un de ses périple, il avait croisé des montagnes de glace (banquises) et surtout atteint des terres où il n'y avait plus d'alternance entre le jour et la nuit ; ce qui était parfaitement impensable dans les zones géographiques tempérées. Personne ne l'a cru, et il a fallu attendre la Renaissance pour que ses découvertes soient reconnues. Hommage posthume de la science, son nom a été donné à un cratère lunaire et à une rue de Marseille.

Dans mon laboratoire, nous avons aussi une étudiante qui fait preuve de cet esprit d'audace de la science actuelle. Elle a choisi de s'intéresser à des sortes de poches d'eau situées dans le désert du Sahara. Datant de l'époque où le Sahara n'était pas un désert, ces poches abritent une population microbienne qui n'a pas frayé avec d'autres milieux depuis des millénaires. Nous ne savons pas encore ce que nous allons y trouver comme nouveaux virus, mais nous allons en trouver, c'est certain.

### *Les temps de la science : création, académisation, momification*

Avec l'exploration de ces *terra incognita*, la microbiologie vit ce qu'a pu vivre la marine aux XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles quand elle découvrait des continents.

Cette période de découvertes tous azimuts entraîne inmanquablement son cortège de tensions et d'amertume. Certains, comme dans les grandes compétitions sportives, sont contraints à se retirer de la course. La période étant aventureuse, la compétition est rude.

Devant le foisonnement de nouveautés, il devient plus que difficile d'en faire la synthèse, sans compter que, d'année en année, les choses s'accélèrent. Si, actuellement, séquencer un génome humain coûte environ dix mille dollars, cela signifie que dans quelques années nous aurons

## *Que nous dit la science d'aujourd'hui ?*

séquencé des dizaines de milliers de génomes humains. L'heure sera alors à la méta-analyse de ce séquençage, et qui peut dire ce qu'il en sortira ? Qui sait ce que nous allons trouver ?

Une fois encore, et c'est Kuhn qui a bien développé cette idée, tout cela est une affaire de cycles. La création de nouveaux outils, à mon sens, précède et favorise les révolutions scientifiques et artistiques. A une période d'intense création succède une période de développement de ces nouveautés, suivie d'une académisation (pour ne pas dire dogmatisation, momification, sclérose) de la discipline.

Si j'ai pu entendre dans certains médias que la science actuellement patinait, n'avancait plus, c'est en fait que nous vivons dans une société d'enfants gâtés qui veut tout, tout de suite. Le problème, au contraire, viendrait plutôt d'une avancée trop rapide. En effet, songez à quel point l'espérance de vie a augmenté ces dernières années ! Les problèmes de nos sociétés – déficit de la sécurité sociale et batailles sur l'âge de la retraite en tête – viendraient plutôt de l'efficacité de la médecine sur la qualité et la durée de vie. Les gens n'ont pas de mémoire et oublient qu'il y a peu de temps les femmes mouraient en couches, le taux de mortalité infantile était effrayant et les épidémies faisaient des ravages. Trop habitués à l'augmentation faramineuse de l'espérance de vie (qui n'a finalement guère plus d'un siècle), ils voudraient, en fait, ne jamais mourir et rester toujours jeunes. Il faut rendre à la science sa juste place. Ni magique ni incompétente. L'écrivain Georges Bernanos disait déjà dans la première moitié du <sup>XX</sup>e siècle : « La science ne saurait être rendue responsable de l'illusion des imbéciles qui prétendent, on ne sait pourquoi, qu'elle doit assurer leur bonheur. »

*Ne pas insulter l'avenir*

Parmi les archaea, on trouve des bactéries très importantes, les méthanogènes, qui transforment les ions acides en méthane. Plus simplement, ces habitants de notre tube digestif sont responsables de nos émissions de gaz, les nôtres et ceux de tous les mammifères. Les ruminants, surtout, en produisent en grande quantité. Au point qu'on sait maintenant que les troupeaux ont plus de responsabilité dans l'émission des gaz à effet de serre que toutes les énergies fossiles brûlées par nos voitures ! Un certain nombre d'écologistes militent d'ailleurs maintenant pour que nous devenions végétariens. Les archaea méthanogènes nous sont cependant très utiles puisqu'ils nous aident à digérer. Sans eux, notre intestin serait nettement trop acide. L'abattage massif des troupeaux que préconisent certains écologistes radicaux ne me semble pas une bonne solution. La peur est mauvaise conseillère. Je crois plutôt – une fois encore sans faire de la science un nouveau dogme – que l'homme a la capacité de trouver des solutions par l'innovation. Ceux qui pourfendent les OGM oublient que l'agriculture en fait depuis des siècles en croisant les espèces : maïs, tomates, riz, etc. Les chiens de berger, les chiens de garde ? Des espèces créées par l'homme ; *idem* pour les chiens d'appartement destinés à tenir compagnie aux personnes âgées. Une partie de notre pharmacie ? Des espèces de bactéries créées par l'homme. Les OGM, boucs émissaires de toutes les angoisses futuristes, pourraient même servir la cause des nostalgiques du passé. Lors de l'épidémie de phylloxera qui a ravagé les vignes européennes dans le derniers tiers du XIX<sup>e</sup> siècle, les viticulteurs ont fini par trouver la parade en créant des hybrides entre des plants français et des plants importés d'Amérique, spécialement sélectionnés pour leur résistance au phylloxera. L'échange génétique a permis, dans ces conditions, de conserver, en partie, le goût des vignes françaises et de les doter de la résistance des vignes américaines. Il est possible qu'un jour on propose de créer des organismes

## *Que nous dit la science d'aujourd'hui ?*

génétiqnement modifiés basés sur les plans français non greffés auxquels on aura rajouté un gène de résistance au phylloxera, ce qui permettra de retrouver pleinement le goût des vins du XIX<sup>e</sup> siècle.

En matière de sciences et de pathologies, la messe n'est jamais dite. J'ai connu une jeune femme de trente-cinq ans souffrant de mucoviscidose, maladie gravissime et *in fine* mortelle que l'on peut détecter *in utero*. Dans son cas, la maladie n'avait pas été dépistée, personne n'a donc proposé d'avortement thérapeutique. Et c'est sa chance, puisqu'elle a pu bénéficier d'une greffe cœur-poumons qui lui permet de mener une vie riche et épanouie; non sans complications certes, mais une vraie vie tout de même. Faire des prévisions à la Nostradamus en affirmant que tel phénomène va se dérouler de telle manière est, nous l'avons vu, une démarche antiscientifique. Désespérer à l'avance des possibilités de découvertes et de traitements en est une autre. Il est ironique de constater que ceux qui nous accusent de nous prendre pour Dieu parce que nous avons confiance dans les possibilités de la science sont en général les mêmes qui décrètent, comme s'ils étaient Dieu eux-mêmes, que telle ou telle situation n'aura jamais d'issue.

### *Le potentiel immense de la génétique*

Le décryptage du génome nous place à l'aube de découvertes, notamment thérapeutiques, dont l'ampleur nous dépasse encore. La découverte qui a le plus surpris les chercheurs quand le génome humain a pour la première fois été entièrement décrypté, c'est le faible nombre de gènes que nous avons. Notre orgueil en a pris un coup, même si on savait déjà que la taille du génome n'a rien à voir avec la complexité de l'organisme. On a aussi découvert que notre matériel génétique était à 98 % semblable à celui des grands singes.

## *Dépasser Darwin*

J'ai beau être postdarwinien, et en dépit des nombreuses différences que l'on peut aussi relever, cette découverte conforte l'idée d'une grande proximité de nos espèces. Enfin et surtout, le décryptage du génome a ouvert la voie à des perspectives thérapeutiques incalculables. Longtemps on s'est demandé pourquoi certaines maladies étaient si rares alors que leurs microbes étaient si virulents. On peinait aussi à comprendre pourquoi certaines maladies semblaient avoir une prédilection pour les membres d'une même famille, au point que l'on pouvait parler de maladie familiale. Les réponses sont dans le génome des individus, avec des gènes qui favorisent ou au contraire bloquent telle ou telle pathologie. Une maladie comme l'herpès, une des plus courantes qui soient, provoque pour une personne sur cent mille une infection du cerveau. Chez ces personnes, on a finalement réussi à identifier deux particularités génétiques qui les distinguent des millions d'autres qui ont de l'herpès sans manifestation plus grave que de disgracieuses éruptions buccales. Depuis environ dix ans, la génétique a ouvert les portes d'une véritable révolution scientifique dont nous commençons à peine à prendre la mesure. La thérapie génique en est à ses balbutiements ; elle fait ses premiers pas, mais nul doute qu'un jour nous la verrons courir le marathon. La thérapie génique, pour parler simplement, consiste à remplacer un gène défectueux par un autre. En l'occurrence, on peut utiliser le concours de virus qui vont s'introduire dans les cellules et y apporter le gène réparateur. Ils jouent en quelque sorte le rôle de coursier pour le gène. Nous ne sommes qu'aux débuts de cette méthode mais ses résultats sont assez prometteurs.

### *Merveille de la génétique : mise au point d'un vaccin volant*

Pour lutter contre la malaria (plus connue sous le nom de paludisme), des chercheurs japonais ont récemment mis au point un vaccin... volant. Pour en arriver là, les chercheurs

## *Que nous dit la science d'aujourd'hui ?*

ont dû modifier génétiquement un moustique. Les glandes salivaires de ce dernier produisent en fait une protéine efficace contre le développement du parasite dans l'organisme. Avec la modification génétique, lorsque le moustique pique un individu, sa salive est directement injectée dans le sang et provoque une réponse immunitaire de l'organisme. L'ironie de l'histoire, en l'occurrence, est que le moustique, vecteur de la malaria, en deviendrait (le conditionnel est de mise, nous en sommes encore au stade de l'expérimentation) le premier médecin.

### *La génétique au service de la microbiologie.*

#### *Tuberculose et sida : ce que nous révèlent les gènes*

Spécialiste des maladies infectieuses, je ne suis pas généticien mais ma discipline a tout à gagner à s'appuyer sur l'étude des gènes des microbes et ceux des patients. Déjà, la génétique nous a donné de réviser certaines de nos convictions. Elle nous a par exemple permis de découvrir que la plupart des maladies ont eu une évolution locale, et seulement locale. La tuberculose en est un des exemples les plus frappants : 90 % des bactéries de cette maladie (qui tue encore deux millions de personnes par an dans le monde) ont une signature génétique et géographique identifiable. En d'autres termes, la bactérie de la tuberculose de l'Afrique de l'Ouest n'est pas la même que celle de la tuberculose du Maghreb, qui n'est pas la même que celle de la tuberculose européenne, etc. Seuls 10 % des bactéries de la tuberculose se « promènent » à l'échelle internationale et sont donc réellement épidémiques tandis que l'écrasante majorité a un ancrage géographique précis. La plupart des bactéries de la tuberculose pourraient être qualifiées de casanières. Elles campent solidement sur leurs positions, dans la niche écologique qui leur est favorable, sans circuler au niveau mondial. Avant le génotypage, on voyait la tuberculose comme une épidémie mondiale, faisant fi des fron-

tières et frappant indistinctement sur tous les continents. On avait tort. Les nouveaux outils scientifiques, une fois encore, viennent mettre à mal nos certitudes. Certes, on avait depuis longtemps constaté que les victimes de la tuberculose en Afrique souffraient de formes plus graves de la maladie, avec des lésions plus importantes des poumons, mais ces différences étaient mises uniquement sur le compte de diagnostics plus tardifs qu'en Europe. Il faut dire qu'à l'époque on en était réduit aux conjectures puisqu'on ne disposait pas des outils permettant de différencier les bactéries. L'histoire de la tuberculose, d'ailleurs, témoigne bien en elle-même de l'idée que la science n'est jamais que ce que l'on sait ou pense savoir à un moment donné. Décrite depuis l'Antiquité, elle était considérée au début du <sup>xx</sup>e siècle comme une maladie héréditaire menant au tombeau des êtres fragiles, sensibles, dévorés par la passion<sup>23</sup>. Frédéric Chopin compte au nombre de ses victimes. Ceux que l'on appelait alors les poitrinaires, les yeux brillants, amincis, livides, avaient tout des héros romantiques en vogue à l'époque<sup>24</sup> (voir *La Dame aux camélias* d'Alexandre Dumas fils). Ensuite, avec la propagation massive de l'épidémie dans les classes dites laborieuses (voir la mort de Fantine dans *Les Misérables* de Victor Hugo), elle perd son aura romantique et est enfin considérée comme un véritable fléau contagieux. Ce n'est qu'en 1882 que le médecin et microbiologiste allemand Robert Koch isole le bacille qui en est responsable, et

---

23. On parlait d'ailleurs de phtisie (terme qui vient du grec et signifie « déperissement ») et de consommation (de « consumer »).

24. Chateaubriand, dans *Mémoires d'outre-tombe*, décrit ainsi sa grande amie Pauline de Beaumont : « Son visage était amaigri et pâle ; ses yeux, coupés en amande, auraient peut-être jeté trop d'éclat, si une suavité extraordinaire n'eût éteint à demi ses regards en les faisant briller languissamment, comme un rayon de lumière s'adoucit en traversant le cristal de l'eau. Son caractère avait une sorte de raideur et d'impatience qui tenait à la force de ses sentiments et au mal intérieur qu'elle éprouvait. Ame élevée, courage grand, elle était née pour le monde d'où son esprit s'était retiré par choix et malheur. »

## *Que nous dit la science d'aujourd'hui ?*

c'est en 1921 que fut mis au point le premier vaccin efficace. Étudiée depuis des décennies, c'est avec la génétique que la tuberculose continue de livrer ses secrets ; le dernier en date étant donc qu'il n'y a pas une mais des bactéries, avec des signatures géographiques et génétiques différentes, responsables de ce qui fut à une époque LA maladie romantique.

Les écosystèmes étant instables par nature, les choses peuvent changer. Une des bactéries responsables de la tuberculose pourrait très bien quitter sa niche géographique pour partir à la conquête du monde, à la faveur notamment de l'épidémie du sida qui est un des grands vecteurs de la tuberculose.

La façon dont se répand le sida, justement, pourrait aussi trouver une explication dans le génome des individus. Si l'infection se fraye moins facilement un chemin en Europe qu'en Afrique, c'est peut-être en partie dû au fait que les populations européennes sont porteuses d'une mutation génétique (sur le gène CCL5) que l'on retrouve significativement moins en Afrique. Une de mes hypothèses, en l'occurrence, est que les individus porteurs de cette mutation ont, à l'époque des ravages de la peste en Europe, beaucoup mieux résisté que ceux qui ne l'avaient pas. La peste, en somme, aurait sélectionné des individus dont les descendants résistent mieux maintenant au sida. L'Afrique n'ayant pas subi la colossale épidémie de peste qu'a connue l'Europe, ses habitants ne présentent pas la mutation génétique salvatrice dans les mêmes proportions.

*« Ce que je sais, c'est que je ne sais rien... ou pas grand-chose »*

Il y a quinze ans, ce sont deux mille bactéries qui étaient identifiées. Aujourd'hui, nous en connaissons plus de dix mille. Demain, nous nous attendons à en distinguer au moins

## Dépasser Darwin

cent cinquante mille. Nous en saurons donc beaucoup plus que dix ans plus tôt, mais on pourra encore moins en tirer de conclusions explicatives. Plus nous apprenons, plus nous mesurons l'étendue de ce qui nous reste à apprendre. Le chercheur qui tente de pénétrer les mystères du vivant doit renoncer à trois illusions :

- Les choses sont simples : nous vivons dans des écosystèmes complexes composés de chimères. Nous sommes nous-mêmes des chimères.

- Les choses sont stables : depuis Héraclite, on sait que ce n'est pas vrai – «*Ceux qui descendent dans les mêmes fleuves surviennent toujours d'autres et d'autres eaux*<sup>25</sup>.» La création est permanente, les écosystèmes sont mouvants.

- Les choses sont accessibles par la connaissance : on en sait beaucoup plus qu'il y a quelques années, infiniment moins que dans les années qui viennent.

Loin d'être décourageants pour le chercheur que je suis, ces constats montrent à quel point la science reste une aventure pleine de promesses pour qui a su garder un esprit curieux. Quand je me suis penché sur le plus gros virus au monde découvert dans mon laboratoire, Mimivirus, c'est à peu près avec le même esprit que celui de l'enfant qui démonte le jouet qu'il a reçu à Noël. L'envie de savoir ce qui se cache dedans. Et il se cache et se cachera toujours beaucoup plus qu'on ne peut l'imaginer.

---

25. Héraclite, *Fragments*.

## Notre avenir : une nouvelle manière de penser

### *Changer nos définitions pour changer notre manière de penser*

Les philosophes français de la deuxième moitié du xx<sup>e</sup> siècle ont profondément influencé l'école de pensée aux Etats-Unis plus qu'en France. Certains s'étiquetaient post-modernes (Deleuze, Guattari, Lyotard, Derrida); d'autres, sans accepter l'étiquette, faisaient partie du même mouvement (Foucault, en particulier). Estimant que les mots enferment les concepts d'une manière irrémédiable et les figent, ils ont contribué essentiellement à la déconstruction des mots et du langage. Souvent, en effet, il n'y a pas d'autres solutions que de détruire les mots pour pouvoir faire émerger des concepts nouveaux, pour contrecarrer la puissance de l'habitude et de l'évidence qui semblent découler du concept institutionnalisé, bien assis, comme «embourgeoisé».

Dans bien des cas, seule cette attaque radicale de la définition permet de faire évoluer la conception générale des données. Par ailleurs, Deleuze s'est attaqué très directement à la structure, héritée de notre culture grecque, d'une organisation verticale, dichotomique et hiérarchique de la pensée et de notre vision de l'ordonnement du monde qui

## Dépasser Darwin

en découle (par exemple, les célèbres classifications de Linné<sup>26</sup>).

La déconstruction, malgré les récentes critiques adressées aux successeurs des pionniers de cette philosophie, est l'outil dont nous avons besoin pour faire face au mouvement majeur que connaît la science actuellement.

Kuhn définit ces changements comme des changements de paradigme<sup>27</sup>; ceux-ci ne peuvent pas ne pas être associés à des changements de définition, et je voudrais ici donner quelques éléments expliquant la nécessité de cette déconstruction à l'issue de laquelle nous pourrions opérer une reconstruction intégrant toutes les données de la poussée technologique monstrueuse à laquelle nous sommes en train de faire face et qui bouleverse notre connaissance. Ainsi, si nous avons identifié huit mille espèces bactériennes, nous savons qu'il en existe plusieurs millions que nous ne savons pas encore qualifier ni identifier proprement. Je voudrais à cet égard prendre quelques définitions et tenter de montrer qu'elles n'ont plus de pertinence.

Les **virus** ont été initialement décrits sur leur petite taille. Cet axiome de base – le virus est toujours un « objet » de petite taille – a amené à organiser toute la pensée autour des virus de petite taille dotés de génomes de petite taille. Même les technologies scientifiques les plus modernes permettant

---

26. En biologie, d'une manière générale, la classification classique désigne la classification scientifique traditionnelle, basée sur une analyse comparée des caractères morphologiques des espèces. Le botaniste suédois Carl von Linné (1707-1778) en fut l'initiateur, en essayant de l'appliquer à tous les êtres vivants qu'il connaissait. Il avait beau en tenir pour une classification rigide, il n'était sans doute pas pour autant dénué d'humour, ou en tout cas d'ironie, puisqu'un de ses détracteurs s'appelait Siegesbeck et que Linné a baptisé une « mauvaise herbe » *Siegesbeckia*.

27. Un paradigme est une manière de voir les choses, un modèle cohérent de vision du monde qui repose sur une base définie.

de les recueillir sont basées sur l'axiome qu'ils sont de petite taille.

Ces œillères amènent à négliger une part importante des «virus». Par ailleurs, la multiplication des travaux faits sur ces virus isolés de petite taille a amené à développer des concepts faisant des virus, non pas des micro-organismes comparables au reste du vivant mais à de «simples» biomolécules, ce que confortait sans arrêt l'expérience basée sur l'axiome de base.

Notre contribution, avec la découverte et la description du génome et de ses réorganisations chez les virus géants, remet brutalement en cause la définition même de virus et oblige à redéfinir complètement le concept pour le rendre compatible avec l'observation actuelle. Ce bouleversement du concept amène à reconsidérer la définition même de ce que sont les organismes et de ce qu'est la vie, et c'est bien ce qui suscite les débats les plus violents.

Les **procaryotes**<sup>28</sup> ont été définis sur l'apparence des bactéries les plus communes et des unicellulaires eucaryotes<sup>29</sup> les plus communs. L'existence de compartiments à l'intérieur de la cellule chez les eucaryotes et leur absence chez les procaryotes est à la base de leur nom (*karyos* veut dire noyau). Ces noms comportent dès le départ un biais anthropocentrique. Les eucaryotes (dont les cellules humaines) seraient à la fois normaux et évolués, tandis que les procaryotes seraient restés bloqués à un stade primitif de développement.

Outre que cette distinction manque de sens sur le plan scientifique, elle est en plus sérieusement mise à mal par des exceptions : le premier embranchement des bactéries,

---

28. Etre vivant dont la structure cellulaire ne comporte pas de noyau ni d'autres organites.

29. Organisme vivant possédant un noyau isolé du cytoplasme par une membrane et qui contient de l'ADN.

## *Dépasser Darwin*

qui comporte des Planctomycetes<sup>30</sup> et des Chlamydia<sup>31</sup>, comprend des formes ayant des compartiments internes et des noyaux. Cette définition nous a empêché longtemps de rechercher (et de trouver) des noyaux chez les bactéries.

Il en est d'autres, dans d'autres groupes bactériens. Ainsi le noyau n'est-il pas un privilège, un attribut des seuls eucaryotes, ce qui doit nous amener à remettre en cause la définition «eucaryotes» et à revoir complètement la séparation dichotomique eucaryote/procaryote basée sur l'existence ou l'absence de ce noyau.

Par ailleurs, chez les «procaryotes», l'analyse des ribosomes (les machines à traduire les ARN en protéines) a montré qu'il existait deux groupes très distincts, aussi distants l'un de l'autre par leur ribosome que des eucaryotes. Il fallait, nous l'avons vu, compter avec une nouvelle famille : les archaea.

Il est à noter que ce nom d'archaea est aussi complètement impropre. Les micro-organismes classés dans ce groupe ont évolué d'une façon aussi diversifiée et aussi permanente que les deux autres groupes (bactéries et eucaryotes). Les baptiser d'un nom suggérant l'archaïsme oriente la pensée dans un sens qui est radicalement faux, basé sur l'opinion que les premiers micro-organismes vivaient dans des conditions extrêmes, ce dont sont capables effectivement certaines archaea (mais pas toutes), mais aussi certaines bactéries. Ce nom devrait passer aux oubliettes, comme celui de «procaryotes» ou celui de «virus».

---

30. Bactéries aquatiques que l'on trouve dans les eaux saumâtres.

31. Bactérie responsable notamment d'infections sexuellement transmissibles

***L'exemple des probiotiques : de la nécessité de déboulonner les idoles modernes***

Un autre point très caractéristique des besoins de déconstruction est le terme de «probiotique».

Le terme de probiotique sous-entend en effet que, par nature, certaines bactéries que l'on donne à l'homme ou aux animaux sont bonnes. Cette vision des choses est profondément antiscientifique puisque rien, par nature, ne peut être entièrement bon ou entièrement mauvais.

On l'a vu, les probiotiques posent des problèmes : ayant été utilisés récemment pour éviter les infections chez des patients en réanimation, leur prescription a entraîné une augmentation très significative de la mortalité, et cet essai a dû être immédiatement arrêté. Après des investigations sur le contexte de cet essai, il est apparu clairement que l'on n'avait jamais parlé aux patients des effets adverses qui avaient été déjà décrits avec l'utilisation des probiotiques. L'expression des opinions minoritaires a été négligée dans ce travail ; elle est pourtant essentielle.

En pratique, on a dit aux patients qu'on ne connaissait que de bonnes choses avec ces probiotiques et qu'il n'y avait donc aucun risque pour eux. Ce n'était pas vrai.

Plusieurs études avaient décelé des cas d'infections plus importantes liées à l'utilisation des probiotiques mais, n'ayant pas atteint le seuil de significativité, elles n'ont pas été mentionnées. Cela constitue une attitude inacceptable scientifiquement.

Par ailleurs, ces probiotiques sont utilisés comme facteurs de croissance depuis un demi-siècle chez les animaux, chez qui ils entraînent une prise de poids significative. Cette réalité est pourtant bien connue.

Comment cet élément majeur peut ne pas faire l'objet d'un questionnement d'envergure sur son rôle chez l'homme est un point qui m'échappe. Je l'ai déjà dit, nous avons commencé à produire des éléments montrant que, dans un cer-

## *Dépasser Darwin*

tains nombres de cas, le *Lactobacillus* est associé à une prise de poids importante. Ce simple constat a déclenché des tirs de barrage extrêmement violents, ce qui montre bien à quel point il est difficile de déboulonner les idoles et credo modernes : les yaourts sont bons par définition, les *Lactobacillus* sont des probiotiques et sont donc bénéfiques. CQFD.

Remettre en cause cette vulgate revient à arracher des idées puissamment enracinées dans le terreau de l'opinion publique. Pourtant, à la bêche, à la charrue, au tracteur ou à coups de marteau, comme le disait Nietzsche<sup>32</sup>, d'une manière ou d'une autre, il va falloir retourner la terre (ne serait-ce que pour l'aérer; un peu d'air frais ne fait pas de mal à l'esprit soumis à la claustration des idées reçues) et changer le nom de probiotique.

De manière ironique, les probiotiques aux Etats-Unis sont nommés «GRAS», ce qui veut dire «Generally Regard As Safe», soit «généralement considéré comme sûrs».

### *«Rhizome of Life» : retourner l'arbre de la vie pour mieux le comprendre*

Il n'est pas douteux que Darwin, après Lamarck, a été une étape essentielle dans l'évolution de la pensée, en particulier en décrivant «l'évolution» (à laquelle je préfère le mot «changement» qui a une tonalité moins progressiste) pour contrer l'idée de stabilité qui était contenue dans la lecture littérale des récits de la création dans la Bible et le Coran.

De ce fait, il est devenu l'objet d'un double mythe : le mythe du diabolique pour les créationnistes, ceux qui pensent que tout s'est créé en une semaine; le mythe des scientistes

---

32. *Crépuscule des idoles ou Comment philosopher à coups de marteau*, publié en 1888.

qui croient que tout ce que dit Darwin est vrai et qui, finalement, font de *L'Origine des espèces* le nouvel Évangile.

Or, comme chacun de nous, Darwin avait une vision des choses très dépendante de son époque. Il était très imprégné par les idées et les classifications en cours au XVIII<sup>e</sup> et au XIX<sup>e</sup> siècle, classifications marquées par une structure hiérarchique, verticale et dichotomique.

De ce fait, sa représentation de l'arbre (qui est un paradoxe en soi puisqu'il représente l'arbre de l'évolution comme étant inverse de l'arbre généalogique) a représenté à la fois un progrès et une simplification dangereuse. Les temps pionniers de la génétique, avec l'obtention du code génétique et des séquences, ont d'abord semblé confirmer les éléments darwiniens.

Ils ont amené les chercheurs à réaliser, grâce à des outils de plus en plus performants, des arbres phylogéniques<sup>33</sup> (déterminant l'origine) darwiniens portant tous les gènes, de toutes les espèces, et tous les micro-organismes. J'ai largement participé à la « plantation » de cette forêt d'arbres phylogéniques. Et puis, l'expérience a finalement montré que nous mélangions des choses qui n'étaient pas mélangeables. Nous faisons des arbres de « mayonnaise ».

En pratique, quand on mélange plusieurs gènes, on les oblige à fonctionner ensemble. Mais, dans l'analyse d'un seul gène, on néglige le fait que ce gène lui-même peut être le résultat d'une mosaïque liée à des échanges (recombinaison) entre gènes très proches à l'intérieur d'une même cellule. Ces éléments montrent qu'en réalité il n'y a pas deux arbres de gènes qui soient exactement comparables et que cette représentation est une représentation à abandonner (sauf pour des éléments didactiques, afin d'évaluer les distances avant analyse entre deux organismes dont on connaît les gènes).

---

33. La phylogénie est l'étude de la formation et de l'évolution des organismes vivants en vue d'établir leur parenté.

En pratique, dès le début de la génomique microbienne, Ford-Doolittle<sup>34</sup>, un biochimiste américain, a mis en évidence l'importance considérable du transfert latéral de gènes et donc de l'héritage horizontal par rapport à l'héritage vertical. Cette notion existait très clairement depuis bien longtemps avec la description des bactériophages (virus des bactéries) qui s'était développée tout au long du XX<sup>e</sup> siècle. Nous savons depuis longtemps maintenant, grâce à l'utilisation des plasmides<sup>35</sup>, recombinaison entre eux des organismes.

La bactérie *Escherichia coli* nous sert d'usine à processeur des gènes d'origines différentes depuis très longtemps, y compris les gènes humains. En dépit de tous ces éléments, le concept lié à l'arbre était d'une telle puissance qu'il était difficile d'en sortir, sauf à reconnaître des exceptions marginales. Seule la génomique massive a réussi à faire remettre en cause cette organisation essentiellement verticale de la transmission des caractères.

La remise en cause d'une transmission purement héréditaire des gènes et des qualités a été l'objet d'un des plus grands drames scientifiques du XX<sup>e</sup> siècle, l'affaire Lyssenko<sup>36</sup>.

Cet agronome affirmait avoir mis au point des méthodes permettant d'imposer des caractères héréditaires voulus à des plantes. Il s'agissait, en l'occurrence, de sauver la Russie soviétique de la famine en essayant de faire pousser du blé dans la toundra sibérienne. Son intuition que les caractères des êtres vivants peuvent se transmettre de façon latérale et non descendante était juste mais non étayée scientifiquement. Certains des contradicteurs de Lyssenko, favorables

---

34. Né en 1942 à Urbana dans l'Illinois, Etats-Unis.

35. Un plasmide désigne en microbiologie ou en biologie moléculaire une molécule d'ADN surnuméraire distincte de l'ADN chromosomique, capable de répllication autonome et non essentielle à la survie de la cellule.

36. Trofim Lyssenko (1898-1976).

aux thèses de Darwin et de Gregor Mendel<sup>37</sup>, et taxés de promouvoir une génétique bourgeoise (privilegiant l'inné plutôt que l'acquis), ont fini leurs jours au Goulag.

L'affaire Lyssenko est restée pendant des décennies l'archétype de la manipulation scientifique, de la pseudoscience au pouvoir. Reste que les données scientifiques actuelles montrent qu'une partie de ce que se présomait Lyssenko est exact. Certains gènes peuvent être acquis de manière latérale et ensuite transmis à sa descendance, y compris chez l'homme.

Le cas a été décrit récemment avec un virus (HHV6) qui s'intègre aux chromosomes de la personne infectée et peut être transmis à ses enfants. Par ailleurs, l'expression épigénétique des gènes est modifiée par l'environnement et certaines de ces modifications peuvent être transmises à la descendance; il s'agit précisément de ce que prétendait Lyssenko.

Encore une fois, la sur-simplification «un gène donne une protéine et le tout est transmis verticalement» ne peut plus être acceptée. Pas plus que l'axiome de Jacques Monod : «Tout ce qui est vrai pour le colibacille est vrai pour l'éléphant» (cela s'appelle du réductionnisme).

L'arbre de la vie, de ce fait, perd beaucoup de sa pertinence. Le chercheur Eric Baptiste a fait un très joli travail de thèse («Au-delà de l'arbre du vivant : pour une phylogénie postmoderne») pour montrer que l'on pouvait toujours construire un arbre avec n'importe quoi, sans que cela ait une quelconque signification. Il a pris tous les noms des Français (qui sont facilement accessibles par Google) dans chaque département et a réalisé, grâce à ces informations, un arbre des noms par département en France. Dans ces conditions, il a effectivement obtenu un arbre (car on

---

37. Botaniste autrichien (1822-1884) ayant défini la manière dont se transmettent les gènes de génération en génération.

obtient toujours un arbre phylogénique) mais, bizarrement, dans cet arbre, le département le plus proche de Paris est celui des Alpes-Maritimes.

Cela ne recouvre aucune réalité connue que nous puissions interpréter, tant sur le plan de la géographie que sur le plan de l'histoire. La signification de cette topologie est quelque chose qui nous échappe, mais nous pourrions en conclure, si nous étions des Martiens, que la Côte d'Azur est voisine de Paris.

Il faut donc maintenant compter avec l'idée qu'il existe à la fois des gènes hérités en grande partie de manière verticale et des gènes qui constituent des réseaux n'ayant plus rien à voir avec cette verticalité. Cette conception de l'organisation a été très bien décrite par Gilles Deleuze et Félix Guattari, en particulier dans un petit ouvrage, *Rhizome*. Le rhizome est la partie souterraine de la racine de certaines plantes. Il peut, dans certains cas, se ramifier considérablement, avec des racines horizontales et verticales, jusqu'à en paraître inextricable. L'organisation de la vie que porte ce modèle diffère assez radicalement de celle que portent les arbres de toute essence issus de l'arbre darwinien. Deleuze et Guattari insistaient sur le fait que le rhizome met en évidence la complexité des origines.

Ils développaient ainsi le fait qu'il existe de nombreuses sources à l'origine des idées, des comportements sociaux ou de la pensée des êtres humains, et, d'une manière tout à fait spectaculaire, ils ont utilisé un transfert de concept à partir de la biologie (transfert qui a, depuis, été si décrié dans l'affaire Sokal<sup>38</sup>) : celui du bactériophage, ces virus de bactéries

---

38. En 1996, Sokal, un physicien américain, publie dans une revue un article truqué, mêlant allègrement des axiomes mathématiques avec des postures idéologiques, afin, a-t-il expliqué, de «publier un article généreusement assaisonné de non-sens qui sonne bien et flatte les pré-conceptions idéologiques des éditeurs». Ce canular visait notamment à dénoncer les pseudosciences.

qui prennent l'information d'une bactérie pour la transporter dans une autre bactérie et ainsi réalisent du transfert horizontal de gènes. De manière intéressante et, pourrait-on dire, prémonitoire, ce livre a été écrit à la fin des années soixante-dix, soit plus de dix ans avant ce qui allait être la grande révolution du réseau Internet qui fonctionne exactement comme... un rhizome. L'*Encyclopédie* du XVIII<sup>e</sup> siècle de Diderot et d'Alembert fonctionnait sur un mode dichotomique, autoritaire et hiérarchique. L'encyclopédie Wikipédia, en revanche, fonctionne sur un modèle complètement différent, beaucoup plus proche des systèmes évolutifs, avec un tâtonnement, une évolution permanente et une sélection *a posteriori* des éléments qui font le plus consensus.

Dans un article récemment publié par la revue *The Lancet*, j'ai repris cette image de rhizome de la vie afin de mieux décrire ce que nous savons actuellement de la vie.

Vue sous l'angle du rhizome, la surface de la Terre est peuplée de micro-organismes et d'organismes composés d'une mosaïque de gènes, certains étant d'origine verticale, d'autres étant acquis de façon horizontale et latérale. Elle est aussi peuplée d'autres grands domaines de la vie (et parmi ceux-ci je range les grands virus à ADN dont Mimivirus) ainsi que d'un certain nombre de gènes n'ayant aucune origine, aucun ancêtre identifiables. Ces gènes inconnus ont probablement été créés à partir de morceaux de gènes divers.

Cette créativité permanente des gènes se double d'une créativité permanente des organismes dont les répertoires génomiques se recomposent. Seul le temps triera ce qui survit et ce qui ne survit pas dans la niche écologique où sont apparus ces organismes.

« *La meilleure façon de prédire l'avenir, c'est de le créer*<sup>39</sup> »

Cela peut paraître une évidence mais, répétons-le : Tout change, tout le temps. A titre d'exemple, il y a fort à parier que les nouveaux modes de contamination ne ressembleront pas aux anciens.

Dans l'explosion des maladies infectieuses, la source majeure des pathogènes a été le péril fécal, la contamination de l'eau dès que les hommes ont commencé à vivre dans un village et à déféquer à proximité de l'endroit où ils buvaient.

Cette période est en train de régresser de manière spectaculaire, même si elle persiste dans les pays les plus pauvres. La source de nos contaminations sera donc moins l'eau que nous buvons localement, ou les aliments que nous mangeons localement, que ce que nous importerons et consommerons comme aliments industrialisés.

Nos nouveaux modes de consommation et de production assurent en effet un succès mondial à certains agents pathogènes : par exemple les hamburgers que contaminent souvent une bactérie *Escherichia coli*; les poulets élevés en batterie qui donnent des infections urinaires à *Escherichia coli*, etc.

Par ailleurs, l'utilisation d'aliments fermentés tend aussi à homogénéiser les compositions microbiennes des populations humaines tout autour du monde.

Cette contamination et cette colonisation massive par certaines espèces de microbes sont un volet non négligeable du changement des écosystèmes.

Les choses changeront pour nous aussi.

L'homme est à la fois une mosaïque et un écosystème. Pour chaque homme, chaque cellule considérée comme étant humaine est associée à cent bactéries, dix archaea et

---

39. Peter Drucker, un théoricien américain du management.

## *Notre avenir : une nouvelle manière de penser*

mille virus qui constituent en soi un écosystème extrêmement abondant. A l'intérieur même de nos cellules, pour des gènes qui verticalement semblent remonter aux eucaryotes, nous avons aussi des gènes qui sont originaires de bactéries (c'est ce qui permet la respiration de la cellule) ainsi que des gènes d'archaea et de nombreux gènes viraux, y compris certains acquis récemment.

L'homme n'est pas le fruit d'une création unique mais l'objet de synthèses multiples d'organismes d'origines extrêmement différentes ; il continue à intégrer des gènes d'origine externe, en particulier venant de virus. La manipulation génétique de l'homme s'est toujours faite de façon naturelle, et cela sans que nous en prenions conscience. La manipulation génétique des êtres vivants par l'homme, elle aussi, a commencé il y a fort longtemps.

Elle joue maintenant un rôle de plus en plus important (agriculture, médecine), et quoi qu'on en pense et quoi qu'on en fasse, s'il n'y a pas de destruction de nos capacités scientifiques, il paraît clair que nous manipulerons de plus en plus nos propres organismes pour les rendre plus résistants et pour les adapter au monde comme nous avons modifié notre environnement.

Nous modifierons aussi les organismes de notre environnement pour pouvoir nous le rendre plus favorable.

C'est bien là notre avenir.



## CONCLUSION

### Le postdarwinisme

#### Pour sortir de l'impasse créationnisme *vs* darwinisme

En conclusion, l'approche darwinienne a incontestablement permis d'organiser la pensée et est devenue un enjeu majeur entre ceux qui voulaient adhérer très strictement à la vision biblique de la création du monde et une partie des scientifiques de l'époque. Toutefois, dès le départ, des faiblesses dans sa théorie apparaissaient, en particulier telles qu'elles ont été soulignées par Nietzsche. Le recueil posthume des pensées de cet auteur, dans *La Volonté de puissance*, montre qu'à plusieurs reprises il se défie de la simplicité de la théorie darwinienne, comme il se méfie, en général, de la pensée linéaire, rationnelle et graduelle. En pratique, la vision du monde de Nietzsche était d'abord organisée autour de la fonction des dieux grecs avec la vision d'un Apollon beau, rationnel et organisé, et l'éruption de Dionysos qui entraîne le désordre, le chaos, des événements imprévus et les recombinaisons succédant aux Bacchanales. Cela semble pouvoir s'appliquer à la vision de la génomique telle que nous la comprenons. Le transfert vertical, qui comporte des modifications progressives, sélectionnées par l'environnement, ressemble à un monde vu par Apollon, tandis que le transfert latéral de gènes, avec des échanges massifs (dans le cadre de ce qu'on a appelé la sexualité des micro-organismes), ressemble plus à ce qu'entraîne l'intervention de Dionysos.

## Dépasser Darwin

Enfin, le développement par Nietzsche du concept d'éternel retour, qui a fait le plus discussion et qui était le plus sensiblement hostile au darwinisme, trouve peut-être son sens génétique dans la présence des gènes orphelins. On pense, actuellement, qu'ils sont le résultat d'un mélange de morceaux de gènes soudés et se modifiant rapidement, jusqu'à ce que certains soient retenus du fait de leur capacité à exprimer une fonction ; celle-ci peut avoir existé il y a des millions d'années et avoir disparu pour revenir à travers les tâtonnements permanents de la génétique.

Dans le monde du visible, le retour des chevaux en Amérique est un exemple de cet éternel retour.

Il me paraît incontestable que la plupart des idées de Darwin sont dépassées. D'ailleurs, il n'existe aucune théorie scientifique qui ne soit pas dépassée un jour. L'idolâtrie qui s'est développée autour de Darwin (en particulier pour l'anniversaire, les cent cinquante ans de la parution de son ouvrage *De l'origine des espèces*) est gênante, et s'est développée une espèce de religion darwinienne antichrétienne qui n'est, de mon point de vue, qu'un avatar religieux. En effet, toute la théorie de Darwin est profondément basée sur une vision postbiblique qui, en particulier, nie totalement la création de nouvelles formes de vie, ce que la génomique moderne pense être entièrement faux. Qui plus est, à la moitié de l'année 2010, Craig Venter a créé une bactérie d'une manière entièrement synthétique, à partir de son génome, montrant que, contrairement aux religions d'origine biblique, il n'y a pas besoin d'autre chose que de gènes et de leurs expressions pour créer de la vie. Cela est, de mon point de vue, la fin d'un débat houleux que j'avais eu avec certains évolutionnistes sur la nature vivante ou non des virus. Le travail de Craig Venter montre que la vie est ce qui est codé par l'ADN et l'ARN, et, à notre niveau de connaissance, probablement, ni plus ni moins. Nul besoin d'influx vital, nul besoin d'âme, en revanche.

L'idée d'un ancêtre universel commun, avec des évolu-

## Conclusion

tions divergentes à partir de ce point, est aussi une idée qui n'a aucune substance et qui a été profondément nuisible à la compréhension des phénomènes d'échange des organismes. Les outils actuels que nous avons permettent de voir qu'au niveau des bactéries les échanges minimes de gènes apparaissent plus fréquemment encore que les mutations, que l'état naturel des bactéries est d'être des mosaïques.

De nombreux collègues m'avertissent de ne pas dire trop fort que Darwin est entièrement dépassé, de peur de voir les créationnistes ou les défenseurs du néo-crétionnisme, aussi appelé *intelligent design*, qui admet la théorie de l'évolution de Darwin pour la transformer, au sens de ce que disait Voltaire, en «une horloge avec un horloger». Au contraire, je pense que la théorie darwinienne est parfaitement compatible avec une vision créationniste réactualisée par l'*intelligent design*, mais qu'elle n'est pas du tout, en revanche, compatible avec la vision chaotique que nous avons du monde après la génomique. En réalité, la vision que nous avons de la génomique est parfaitement discordante avec toute vision biblique, et n'est absolument pas susceptible d'être instrumentalisée sous forme d'*intelligent design*. Enfin, les combats de théologie, de religion avérée, ou de néoreligion ne sont pas de mon ressort. En revanche, je sais reconnaître, avec Karl Popper, quand une théorie scientifique, comme celle de Marx, de Freud ou de Darwin, est sortie du champ scientifique pour rentrer dans le champ de la religion, et je me refuse à faire partie du camp des darwinistes ou des créationnistes, car je pense qu'ils ont le même processus de pensée initiale, qui est incontestablement dépassé. Les éléments faux depuis le départ avaient d'ailleurs été parfaitement identifiés par Friedrich Nietzsche et son incomparable liberté de pensée. Pour paraphraser Rimbaud, je ne me crois pas embarqué dans une noce avec Darwin (Dieu chez Rimbaud) pour beau-père.

## *Dépasser Darwin*

Le passé étant aussi impénétrable que l'avenir, du fait des trous liés à la disparition de pans entiers de forme de vie, chacun est bien libre de définir comme il veut la source du code génétique<sup>1</sup>, des premières molécules d'ARN ou les raisons qui ont expliqué les changements brutaux d'organisation des êtres vivants, en y comprenant et en y incluant le ou les dieux de leur choix.<sup>40</sup>

---

1. Ce verbe, ce langage universel du vivant. «Au commencement était le verbe», écrit l'évangéliste saint Jean. « Au commencement était le code génétique », peut, de son côté, écrire le scientifique.

## ANNEXE

Afin de mieux comprendre les interactions entre nous-mêmes et ces locataires, voisins, et même cousins que sont les microbes, il est bon de rappeler sommairement de quoi ils sont et nous sommes constitués. Nous avons en effet avec eux un langage commun, véritable espéranto des vivants : l'ADN.



## La génétique pour les nuls

### *L'ADN, architecte de notre corps*

Le monde visible du vivant est constitué d'innombrables organismes (des plantes aux éléphants en passant par le crabe, le tatou, etc., et, bien entendu, par l'homme), eux-mêmes constitués, sauf rares exceptions, de multiples cellules.

A l'intérieur de la cellule, dans son noyau, on trouve une molécule d'ADN<sup>41</sup> qui est le support de l'information génétique<sup>42</sup>. C'est en quelque sorte le mode d'emploi et le plan de construction de tout organisme vivant.

L'information contenue dans la molécule d'ADN, pour sortir du noyau, est transcrite en une autre molécule appelée ARN<sup>43</sup> messenger. En somme, le gène est traduit dans une autre langue pour passer la frontière du noyau et réussir à s'exprimer «à l'étranger», hors de son «sweet home» natal. L'ARN messenger, c'est le dieu Hermès de la cellule, l'infatigable estafette de l'Olympe aux pieds ailés, ici messenger du «dieu ADN».

---

41. Acide désoxyribonucléique.

42. Sachant que l'homme a environ trente mille gènes.

43. Acide ribonucléique.

L'ARN messenger, enfin, est traduit en protéine, élément essentiel à la vie de la cellule.

Voilà, à très grands traits, le mécanisme permettant le fonctionnement du vivant.

Il faut bien comprendre que toutes les cellules ont le même programme génétique; elles comportent toutes la même molécule d'ADN. Comment alors expliquer que certaines cellules deviennent de la peau, d'autres des cheveux ou d'autres encore des neurones? Comment, munies d'un programme rigoureusement identique, parviennent-elles à assumer des fonctions aussi diverses?

Entre ici en jeu un régulateur appelé micro-ARN, une petite molécule dont le rôle est de réguler l'expression des gènes. A la différence de son acolyte l'ARN messenger, cet ARN n'est pas issu de séquences provenant des gènes. Cette importante découverte a valu à ses auteurs le prix Nobel de médecine en 2006.

Pour simplifier, disons que les micro-ARN répartissent le travail. Ils agissent de façon que les cellules se spécialisent en leur disant : «Toi, tu vas devenir une cellule d'œil, toi une cellule de peau, etc.»

Au moment de la traduction de l'ARN messenger en protéine, les micro-ARN bloquent ou au contraire facilitent l'expression d'un gène ou d'un autre, un peu à la façon d'un chef d'orchestre imposant à tel instrument de jouer *piano* afin de laisser tel autre jouer *fortissimo*. Le chef d'orchestre n'étant pas le compositeur, la partition reste ici écrite par l'ADN.

On peut aussi comparer l'organisme vivant à une maison. L'ADN (les gènes donc) en est l'architecte; les protéines sont les ouvriers, des ouvriers commandés par les chefs de chantier que sont les ARN. Quant à savoir qui a commandé la maison et choisi l'architecte, nous quittons là le domaine de la science pour entrer dans celui de la croyance.

## *Annexe*

### *Épigénétique : là où les choses se compliquent*

On pensait, aux débuts de la génétique, que la plupart des maladies ou telle caractéristique de l'individu étaient liées à un gène ou un groupe de gènes. En réalité, on se rend compte maintenant que ce qu'il y a autour du gène (la régulation, les micro-ARN, les facteurs environnementaux) compte au moins autant que le gène lui-même. Les choses sont plus complexes, plus multifactorielles qu'on le supposait au début.

La génétique, en caricaturant, c'est : le gène donne la protéine. Et tout ce qui fait que ce n'est pas aussi simple que cela, c'est l'épigénétique (modification, régulation de l'expression du gène par la cellule elle-même ou par l'environnement).



**Cet ouvrage a été imprimé en France  
par CPI Bussière  
à Saint-Amand-Montrond (Cher)  
en septembre 2010**

**Cet ouvrage a été composé par  
Graphic-Hainaut**

**N° d'édition : 14620. – N° d'impression : 102616/1.  
Dépôt légal : octobre 2010.**

Les microbes sont partout : dans nos assiettes, sur nos mains, dans nos veines et dans nos gènes ! Nous sommes des chimères génétiques.

Cette découverte récente met à mal notre vision de l'évolution des espèces en général et de l'homme en particulier ; elle renverse les certitudes héritées d'un darwinisme trop souvent érigé en dogme. Avec Didier Raoult, c'est un nouveau monde, le nôtre, qui se donne à voir, y compris celui de l'invisible qui vit en nous.

Virus et bactéries, ils sont des millions à nous coloniser. Ils sont nos très nombreux (et parfois encombrants), locataires, tout particulièrement dans le système digestif, où ils pourraient jouer un rôle dans l'épidémie mondiale d'obésité. Les probiotiques, à la mode depuis quelques années, pourraient bien se révéler moins inoffensifs que prévu.

Ils sont aussi nos voisins, copropriétaires de la planète. Quand nous modifions nos écosystèmes, nous rencontrons de nouveaux virus et bactéries, pas toujours amicaux. Nos modes de vie peuvent même déclencher des guerres de voisinage meurtrières qui ont alors pour nom épidémies.

La grande peur qu'elles provoquent chez tous, réveillée par H1N1 et fondée sur les ravages de la peste au Moyen Age, n'est pas un fantôme. Tôt ou tard, nous y serons de nouveau confrontés.

Le monde microscopique, mouvant et imprévisible, nous réserve bien des surprises !

**LES TEMPS QUE NOUS VIVONS SONT À LA SCIENCE CE QUE  
LA DÉCOUVERTE DE L'AMÉRIQUE FUT AUX GÉOGRAPHES.**

Professeur de microbiologie à la faculté de médecine de Marseille, Didier Raoult y dirige une unité de recherche sur les maladies infectieuses (URMITE). Auteur de plusieurs ouvrages et de nombreux articles scientifiques, il dirige également, à l'hôpital de la Timone, le plus grand laboratoire hospitalier de microbiologie en France.

[www.plon.fr](http://www.plon.fr)

18,90 €  
Prix France TTC

978-2-259-21114-7



9 782259 211147