

Stephen Jay Gould

Darwin et
les grandes énigmes
de la vie

POINTS

Réflexions sur l'histoire naturelle



SCIENCES

Stephen Jay Gould

**Darwin
et les grandes énigmes
de la vie**

RÉFLEXIONS SUR L'HISTOIRE

NATURELLE

Éditions du Seuil

1977

*À mon père
Qui m'emmena voir le Tyrannosaure
Quand j'avais cinq ans*

Prologue

« Un siècle sans Darwin, cela commence à bien faire ! » tonna en 1959 le célèbre généticien américain H.J. Muller. Beaucoup de ceux qui entendirent cette réflexion la prirent comme une manière quelque peu déplacée de saluer le centenaire de l'*Origine des espèces*, mais personne ne nia qu'il y avait de la vérité dans ce cri de colère.

Pourquoi Darwin a-t-il été si difficile à comprendre ? En l'espace de dix ans, il convainquit le monde intellectuel de l'existence de l'évolution, mais sa théorie de la sélection naturelle ne fut jamais très populaire de son vivant. Elle ne s'est imposée que dans les années quarante et, aujourd'hui encore, bien qu'elle soit au cœur de notre théorie de l'évolution, elle est généralement mal comprise, mal citée et mal appliquée. La difficulté ne réside pourtant pas dans la complexité de sa structure logique, car les fondements de la sélection naturelle sont la simplicité même. Ils se résument à deux constatations indubitables entraînant une conclusion inévitable :

1. Les organismes varient et leurs variations se transmettent (en partie du moins) à leurs descendants.

2. Les organismes produisent plus de descendants qu'il ne peut en survivre.

3. En règle générale, le descendant qui varie dans la direction favorisée par l'environnement survivra et se reproduira. La variation favorable se répandra donc dans les populations par sélection naturelle.

Ces trois propositions établissent que la sélection naturelle peut fonctionner, mais elles ne lui garantissent pas, par elles-mêmes, le rôle fondamental que lui a attribué Darwin. L'idée suivant laquelle la sélection naturelle est la force créatrice de l'évolution et pas seulement le bourreau qui exécute les inadaptés est l'essence de la théorie

darwinienne. La sélection naturelle doit également construire l'adapté, c'est-à-dire élaborer progressivement l'adaptation en conservant, génération après génération, les éléments favorables dans un ensemble de variations dues au hasard. Si la sélection naturelle est créatrice, il faut compléter la première proposition, relative à la variation, par deux observations supplémentaires.

Premièrement, la variation doit être le fruit du hasard ou, tout au moins, ne pas tendre de préférence vers l'adaptation. Car si la variation est préprogrammée dans la bonne direction, la sélection naturelle ne joue aucun rôle créateur et se contente d'éliminer les individus non conformes. Le lamarckisme, suivant lequel les animaux réagissent de manière créative à leurs besoins et transmettent les caractéristiques acquises à leurs descendants, est, de ce point de vue, une théorie non darwinienne. Ce que nous savons des variations génétiques laisse penser que Darwin avait raison de soutenir que la variation n'est pas préprogrammée. L'évolution est un mélange de hasard et de nécessité. Hasard dans la variation, nécessité dans le fonctionnement de la sélection.

Deuxièmement, la variation doit être petite relativement à l'ampleur de l'évolution manifestée dans la formation d'espèces nouvelles. En effet, si les espèces nouvelles apparaissent d'un seul coup, le seul rôle de la sélection consiste simplement à faire disparaître les populations en place afin de laisser le champ libre aux formes améliorées qu'elle n'a pas élaborées. De nouveau, nos connaissances en génétique vont dans le sens de Darwin, qui croyait que les petites mutations constituent l'essentiel de l'évolution.

Ainsi, la théorie de Darwin, simple en apparence, ne va pas, dans les faits, sans complexité. Il semble néanmoins que les réticences qu'elle suscite tiennent moins aux éventuelles difficultés scientifiques qu'au contenu philosophique des conceptions de Darwin, qui constituent en effet un défi à un ensemble d'idées particulières à l'Occident et que nous ne sommes pas encore prêts d'abandonner.

Pour commencer, Darwin prétend que l'évolution n'a pas de but. Les individus luttent pour accroître la représentation de leurs gènes dans les générations futures, un point c'est tout. S'il existe un ordre et une harmonie dans le monde, ce ne sont que les conséquences acci-

dentelles de l'activité d'individus qui ne recherchent que leur profit personnel. C'est, si l'on veut, l'économie d'Adam Smith appliquée à la nature. En second lieu, Darwin soutient que l'évolution n'est pas dirigée, qu'elle ne conduit pas inévitablement à l'apparition de caractéristiques supérieures. Les organismes ne font que s'adapter à leur environnement. La « dégénérescence » du parasite est aussi parfaite que l'élégance de la gazelle.

Enfin, Darwin fait reposer son interprétation de la nature sur une philosophie matérialiste. La matière est le fondement de toute existence ; l'intelligence, l'esprit et Dieu ne sont que des mots qui servent à désigner les manifestations de la complexité du cerveau.

Le monde a changé depuis Darwin. Mais il n'est pas moins passionnant ; et, s'il nous est impossible de découvrir les objectifs de la nature, nous devons les définir nous-mêmes. Darwin n'apportait pas la bonne parole ; il n'entrait pas dans ses intentions d'appliquer à la nature les préjugés de la pensée occidentale. L'esprit de Darwin pourrait même apporter beaucoup à notre civilisation en réfutant l'un des thèmes favoris de l'arrogance occidentale : l'homme destiné à dominer la Terre et les animaux, parce que constituant l'aboutissement d'un processus préconçu.

Quoi qu'il en soit, il faut faire la paix avec Darwin. Et pour cela, il faut comprendre ses idées et en voir les conséquences. Les différents essais qui constituent ce livre sont consacrés à l'exploration de cette « manière d'envisager la vie », expression employée par Darwin lui-même pour définir l'évolution telle qu'il la concevait.

Écrits entre 1974 et 1976, ces essais ont été publiés à l'origine dans *Natural History Magazine*.

Les journalistes disent souvent, en manière de plaisanterie, que le journal d'hier sert à envelopper les ordures d'aujourd'hui. Je ne l'oublie pas. Je n'oublie pas non plus qu'il faut détruire des hectares de forêt pour publier des essais redondants et incohérents. Car, comme le D^r Lorax, j'aime à croire que je parle pour les arbres. Toute vanité mise à part, ma seule excuse à la réunion de ces essais sous forme de livre est la constatation de l'intérêt qu'ils suscitent... bien qu'ils soient considérés par certains comme complètement dépourvus d'intérêt. De plus, ils s'articulent tous autour d'un thème central : la perspec-

tive évolutionniste de Darwin en tant qu'antidote à notre arrogance universelle.

La première partie explore la théorie de Darwin elle-même, en particulier la philosophie qui a inspiré sa remarque à H.-J. Muller. L'évolution est sans but, non progressive et matérialiste. J'expose le fond du problème au moyen de charades amusantes : qui était le naturaliste du *Beagle* (ce n'était pas Darwin) ; pourquoi Darwin n'a-t-il pas employé le mot « évolution » et pourquoi a-t-il attendu vingt et un ans avant de publier sa théorie ?

L'application du darwinisme à l'évolution de l'homme constitue la deuxième partie. Je m'efforce de mettre en évidence à la fois que nous sommes « à part » et néanmoins partie du monde animal. Notre caractère « à part » résulte des processus ordinaires de l'évolution, non d'une prédestination à un statut supérieur.

Dans la troisième partie, j'expose les problèmes complexes de la théorie évolutionniste en appliquant celle-ci à des organismes bizarres. Ces essais traitent des bois géants du cerf, des mouches qui dévorent leur mère, des palourdes qui donnent naissance à un poisson-leurre et des bambous qui ne fleurissent qu'une fois tous les cent vingt ans – mais tous traitent des problèmes d'adaptation, de perfection et de phénomènes apparemment dépourvus de sens.

Dans la quatrième partie, j'applique la théorie évolutionniste à l'histoire de la vie. Il n'y a pas de progression constante, mais des époques d'extinction massive et de « spéciation » rapide, séparées par de longues périodes de calme. Je mets l'accent sur deux événements : l'« explosion » du cambrien, qui est à l'origine de l'apparition d'animaux complexes, il y a environ 600 millions d'années, et l'extinction du permien, qui a fait disparaître la moitié des familles d'invertébrés marins, il y a environ 225 millions d'années.

De l'histoire de la vie, je passe à celle de la Terre (cinquième partie). Je parle des héros du passé (Lyell) et des hérétiques d'aujourd'hui (Vélikovsky), qui se sont attaqués à des problèmes d'ordre général. L'histoire géologique a-t-elle un sens ? Le changement est-il lent et constant, ou rapide et cataclysmique ? Dans quelle mesure l'histoire de la vie correspond-elle à l'histoire de la Terre ? Je montre que la « nouvelle géologie », celle qui en appelle aux plaques tecto-

niques et à la dérive des continents, peut apporter une solution à ces problèmes.

Dans la sixième partie, je m'efforce de procéder à une étude d'ensemble en me fondant sur un seul principe simple : l'influence de la taille sur la forme des objets. Je montre que cela s'applique à un ensemble étonnamment large de phénomènes – puisque cela concerne tout à la fois l'évolution des planètes, le cerveau des vertébrés et les églises médiévales.

La septième partie apparaîtra peut-être au lecteur comme une rupture. Je suis passé lentement des principes généraux à leurs applications particulières, avant de revenir à leur influence sur la vie et la Terre. Je m'intéresse maintenant à l'histoire de la pensée évolutionniste, plus particulièrement à la répercussion des idées politiques et sociales sur l'« objectivité » de la science. La science n'est pas une marche inexorable vers la vérité. Les hommes de science, comme tous les hommes, intègrent à leurs théories les idées politiques et sociales de leur époque. Comme ils jouissent, dans la société, d'un statut privilégié, il leur arrive souvent de justifier les structures sociales existantes par le déterminisme biologique. J'illustre ce fait par un débat au sein de l'embryologie du XIX^e siècle, l'évolution humaine selon Engels, la théorie du délinquant-né suivant Lombroso et une anecdote tirée des catacombes du racisme scientifique.

La dernière partie continue sur ce thème, mais elle est consacrée aux conceptions contemporaines de la « nature humaine » et à l'influence de la mauvaise utilisation de la théorie évolutionniste sur la politique sociale actuelle. Je commence par montrer que le déterminisme biologique, qui présente nos ancêtres comme des « singes tueurs », l'agressivité et la territorialité comme innées, la passivité féminine comme une exigence de la nature, les différences de QI comme raciales, etc., n'est que le reflet des préjugés sociaux, qu'il ne repose sur rien et qu'il est la plus récente incarnation d'une longue tradition dans l'histoire de l'Occident – celle qui consiste à établir l'infériorité biologique de la victime ou, comme a dit Condorcet, à « s'assurer la complicité de la biologie ». Puis, je parle de ce qui me plaît et de ce qui me déplaît dans la « socio-biologie » et son analyse darwinienne de la nature humaine. Je fais valoir que ses conclusions

spécifiques sont presque toutes des extrapolations sans fondement, sur le mode déterministe, mais je reconnais la valeur de l'analyse darwinienne de l'altruisme.

Ces essais sont donnés ici pratiquement tels qu'ils ont paru dans *Natural History Magazine*. Les erreurs ont été corrigées, les polémiques éliminées et les informations mises à jour. J'ai essayé d'éviter la redondance coutumière aux compilations d'essais, mais je me suis arrêté chaque fois que mes ciseaux de réviseur mettaient en danger la cohérence d'un texte particulier. Tout au moins, on ne rencontre pas deux fois la même citation. Enfin, je remercie le directeur de collection, Alan Ternes, et ses collaborateurs, Florence Edelstein et Gordon Beckhorn, pour leur patience et leur discrétion. Je dois cependant laisser à Alan la responsabilité des titres accrocheurs... en particulier le « trucage sigmoïde » de l'essai n°15.

Aussi bien que tout autre, Sigmund Freud a exprimé l'influence fondamentale de la théorie de l'évolution sur la vie et la pensée humaines :

« Au cours des siècles, la science a infligé deux blessures à l'amour-propre de l'humanité : la première, lorsqu'elle a montré que la Terre n'est pas le centre du monde mais un point minuscule dans un univers d'une dimension à peine concevable ; la seconde quand la biologie a frustré l'homme du privilège d'avoir fait l'objet d'une création particulière et a mis en évidence son appartenance au monde animal. »

J'estime que la prise en compte de ce « recentrement » est aussi notre plus grand espoir. Puisse cette « conception de la vie » s'épanouir pendant son second siècle et nous aider à comprendre les limites et les enseignements de la science... tandis que nous continuons à nous demander pourquoi nous sommes ici.

I.

La saga de Darwin

1.

Le silence de Darwin

Il est peu de phénomènes qui suscitent plus d'interrogations qu'une longue interruption dans l'activité d'un créateur célèbre. Rossini triomphe avec *Guillaume Tell* et n'écrit presque plus rien pendant les trente années suivantes. Dorothy Sayers abandonne lord Peter Wimsey au sommet de sa popularité, pour se tourner vers Dieu. Charles Darwin met au point la théorie fondamentale de l'évolution en 1838 et ne la publie, vingt et un ans plus tard, que parce que A.R. Wallace s'apprête à le coiffer sur le poteau.

Après cinq années passées à bord du *Beagle*, Darwin ne croyait plus à la fixité des espèces. En juillet 1837, peu après son voyage, il entreprit la rédaction du premier carnet sur la « transmutation ». Déjà convaincu de l'existence de l'évolution, Darwin cherchait une théorie susceptible d'expliquer son mécanisme. Après de nombreux tâtonnements, c'est une lecture en apparence sans rapport avec son sujet qui lui permit d'avancer.

Darwin écrivit plus tard, dans son autobiographie :

« J'eus l'occasion, en octobre 1838, de lire pour le plaisir, *Sur la population*, de Malthus. Étant déjà préparé à tenir compte de la lutte pour la vie, qui existe partout, par une observation longue et assidue des habitudes des animaux et des plantes, je fus aussitôt convaincu que dans de telles circonstances, les variations favorables tendraient à se perpétuer et les variations défavorables à disparaître. Il en résulterait la formation d'espèces nouvelles. »

Darwin avait compris depuis longtemps l'importance de la sélection artificielle pratiquée par les éleveurs. Mais avant que les théories de Malthus sur la surpopulation et la lutte pour la vie ne fussent ve-

nues catalyser ses pensées, il n'avait pu découvrir l'agent de la sélection naturelle. Si toutes les créatures produisaient beaucoup plus de descendants qu'il ne pourrait raisonnablement en survivre, alors la sélection naturelle présiderait à l'évolution à l'aide d'un seul principe : les survivants seraient les représentants de l'espèce les mieux adaptés aux conditions de vie dominantes.

Darwin savait parfaitement l'importance de ce qu'il venait de mettre au jour. Il est donc impossible d'attribuer son silence à une sous-estimation de sa propre découverte. En 1842, puis de nouveau en 1844, il rédigea les premières esquisses de sa théorie et de ses implications. Il donna également à sa femme des instructions strictes pour qu'elle ne publiât que ces seuls manuscrits, s'il venait à mourir avant de pouvoir écrire son ouvrage principal.

Pourquoi, dans ces conditions, attendit-il vingt ans avant de publier sa théorie ?

La biographie scientifique conventionnelle est une source d'informations particulièrement trompeuse en ce qui concerne les grands penseurs. Elle tend à les dépeindre simplement comme des machines rationnelles qui poursuivaient leur inspiration avec une assiduité inébranlable, animées par des mécanismes internes ne subissant d'autres influences que les exigences des faits.

Selon l'argumentation habituelle, Darwin a donc attendu vingt ans uniquement parce qu'il n'avait pas terminé son travail. Sa théorie le satisfaisait, mais la théorie seule est sans valeur. Il était décidé à ne rien publier avant d'avoir amassé une documentation suffisante, et cela prit du temps.

Mais les activités de Darwin pendant les vingt années en question montrent les insuffisances d'un tel point de vue. En particulier, il a passé huit années à rédiger quatre gros volumes consacrés à la taxonomie et à la description des bernacles. À cela, les traditionalistes ne peuvent opposer que quelque chose d'aussi vague que : « Darwin pensait qu'il devait acquérir une connaissance exhaustive des espèces avant d'exposer les lois de leur évolution ; il ne pouvait y parvenir qu'en établissant par lui-même la classification d'un groupe complexe d'organismes, etc. » Mais cela pendant huit ans, alors qu'il avait sous le coude la découverte la plus révolutionnaire de l'histoire de la biolo-

gie ! Au reste, le jugement que Darwin lui-même porte sur les quatre volumes en question se trouve dans son autobiographie :

« En plus de la découverte de plusieurs formes nouvelles remarquables, j'ai mis en ordre les homologues des différentes parties [...] et mis en évidence l'existence, dans certaines espèces, de mâles de taille réduite qui sont à la fois des compléments et des parasites des hermaphrodites.

« ... Néanmoins, je ne suis pas certain que ce travail méritait que je m'y consacre aussi longtemps. »

Un problème aussi complexe que la motivation du silence de Darwin n'a pas de solution simple, mais je suis certain d'une chose : la peur y a certainement tenu un rôle aussi important que la nécessité de documentation complémentaire. Alors, de quoi Darwin avait-il peur ?

Au moment de son inspiration malthusienne, il avait 29 ans. Il était encore sans situation, mais la qualité du travail effectué à bord du *Beagle* lui avait valu l'admiration de ses confrères. Et il ne voulait pas compromettre une carrière prometteuse en proclamant une vérité nouvelle qu'il ne pouvait prouver.

Quelle vérité nouvelle ? La croyance en l'évolution, bien entendu. Mais cette réponse ne suffit pas.

En effet, contrairement à ce que l'on imagine, l'évolution fut une croyance très répandue pendant la première partie du XIX^e siècle. On en discutait partout, et ouvertement. Beaucoup la refusaient, c'est vrai, mais la plupart des grands naturalistes l'admettaient, ou tout au moins l'envisageaient.

Deux des plus anciens carnets de Darwin permettent d'y voir plus clair : les carnets M et N furent écrits en 1838 et 1839, pendant que Darwin travaillait à la compilation des carnets sur la transmutation, qui servent de base à ses esquisses de 1842 et 1844¹. On y trouve des réflexions sur la philosophie, l'esthétique, la psychologie et l'anthropologie. Lorsqu'il les relut en 1856, Darwin les décrivit comme « remplis de métaphysique des mœurs ».

De nombreux passages montrent qu'il était convaincu de quelque chose qu'il ressentait comme beaucoup plus « hérétique » que l'évo-

lution elle-même, et qu'il avait peur d'exposer : le matérialisme philosophique, postulat selon lequel la matière est la substance de toute existence, les phénomènes psychologiques et spirituels n'étant que ses sous-produits. Aucune conception ne pouvait s'opposer davantage aux traditions les plus établies de la pensée occidentale que cette idée selon laquelle l'esprit, malgré sa complexité et sa puissance, n'est que le produit du cerveau.

Ces carnets prouvent en outre que Darwin s'intéressait à la philosophie et qu'il était conscient de ses implications. Il savait que ce qui distinguait radicalement sa théorie des autres doctrines évolutionnistes était un matérialisme philosophique sans compromis. Les évolutionnistes parlaient de forces vitales, de sens de l'Histoire, de lutte organique et d'irréductibilité fondamentale de l'esprit..., autant de notions que de chrétienté traditionnelle pouvait parfaitement accepter puisqu'elles permettaient à un Dieu chrétien de conserver sa place, à condition seulement de remplacer « création » par « évolution ». Darwin, lui, ne parlait que de variations dues au hasard et de sélection naturelle.

Dans ses carnets, Darwin applique résolument sa théorie matérialiste à toutes les manifestations de la vie, y compris ce qu'il nommait « la citadelle elle-même », l'esprit humain. Et si l'esprit n'a pas d'existence réelle en dehors du cerveau, Dieu peut-il être autre chose qu'une illusion engendrée par une illusion ? Dans l'un des carnets concernant la transmutation, il écrit :

« Amour de la divinité, fruit de l'organisation ; quel matérialiste ! ... Pourquoi le fait que la pensée soit une sécrétion du cerveau est-il plus extraordinaire que le fait que la pesanteur soit une propriété de la matière ? C'est notre orgueil, l'admiration que nous éprouvons pour nous-mêmes. »

Cette conception était à ce point hérétique que Darwin, dans *l'Origine des espèces* (1859) ne s'est permis que ce commentaire obscur : « La lumière sera faite sur l'origine de l'homme et son histoire. » Il n'exposa ses convictions que lorsqu'il ne lui fut plus possible de les cacher dans *la Descendance de l'homme* (1871) et *l'Expression des émotions chez l'homme et les animaux* (1872). A.R. Wallace, codécouvreur de la théorie de la sélection naturelle, ne put jamais se ré-

soudre à l'appliquer à l'esprit humain, qu'il considérait comme la seule contribution divine à l'histoire de la vie. Darwin, lui, fit voler en éclats deux mille ans de philosophie et de religion dans l'épigramme la plus remarquable du carnet M :

« Platon dit dans le *Phédon* que les “idées imaginaires” viennent de la préexistence de l'âme, qu'elles ne sont pas tirées de l'expérience... Lire *singes* pour préexistence. »

Dans sa discussion des cahiers M et N, Gruber considère que le matérialisme était, « à cette époque, plus scandaleux que l'évolution ». Il apporte des preuves de la persécution des convictions matérialistes à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e, puis conclut :

« Dans pratiquement tous les domaines de la connaissance, on utilisait des méthodes répressives : on suspendait des cours, on interdisait des publications, on refusait des postes de professeur, des injures féroces paraissaient dans la presse. Les professeurs et les savants se le tenaient pour dit et faisaient ce qu'on attendait d'eux. Ceux qui avaient des idées impopulaires se rétractaient parfois, publiaient anonymement, présentaient leurs idées sous une forme affaiblie ou en retardaient la publication de plusieurs années. »

Darwin avait été directement témoin d'un tel cas de persécution lorsqu'il était à l'université d'Édimbourg, en 1827. Son ami A.W. Browne lut devant la Plinian Society un article présentant une conception matérialiste de la vie et de l'esprit. Après de nombreuses discussions, toute allusion à l'article de Browne, y compris la mention (datant de la réunion précédente) de son intention de le lire, fut supprimée des procès-verbaux. Darwin se le tint pour dit et écrivit dans le carnet M :

« Pour éviter de dire jusqu'à quel point je crois au matérialisme, je dois me contenter de dire que les émotions, les instincts, les degrés de talent, qui sont héréditaires, le sont parce que le cerveau de l'enfant ressemble à celui des parents. »

Les matérialistes les plus ardents du XIX^e siècle, Marx et Engels, ne tardèrent pas à comprendre les implications du travail de Darwin et à en exploiter le contenu. En 1869, Marx écrivit à Engels à propos de *l'Origine des espèces* :

« Bien que cela soit exposé dans le style rude des Anglais, c'est le livre qui contient les principes d'histoire naturelle adaptés à nos vues. »

Marx proposa plus tard de dédier le deuxième volume du *Capital* à Darwin, mais celui-ci refusa avec ménagements, disant qu'il ne voulait pas laisser croire qu'il donnait son approbation à une œuvre qu'il n'avait pas lue².

Darwin était en fait un révolutionnaire bien tranquille. Il ne se contenta pas de retarder très longtemps la parution de son œuvre, il évita aussi d'exposer publiquement les implications philosophiques de sa théorie. En 1880, il écrivit à Karl Marx³ :

« Il me semble (à tort ou à raison) que les attaques directes contre le christianisme et le théisme n'ont pratiquement pas d'effet sur le public et que l'enrichissement de l'esprit humain qui suit le progrès de la science fera davantage pour la liberté de penser. C'est pourquoi j'ai toujours évité de parler de religion et me suis cantonné à la science. »

Cependant, le contenu de son œuvre choque tellement la pensée occidentale traditionnelle que nous ne l'avons pas encore comprise dans son entier. La campagne qu'Arthur Koestler a menée contre Darwin, par exemple, repose sur le refus d'accepter le matérialisme de Darwin et le désir ardent d'attribuer de nouveau à la matière des propriétés particulières⁴.

Cela, je dois avouer que je ne le comprends pas. Il faut chérir à la fois l'émerveillement et la connaissance. Devons-nous réviser notre jugement sur la beauté de la nature parce que son harmonie n'est pas préméditée ? Et les propriétés de l'esprit doivent-elles cesser de nous inspirer du respect et de la crainte sous prétexte que plusieurs milliards de neurones ont élu domicile dans notre crâne ?

2.

L'expérience de la mer ou cinq ans à la table du capitaine

Groucho Marx faisait toujours la joie de son public en posant des questions aussi outrageusement évidentes que : « Savez-vous qui se trouve dans la tombe de Grant ? » Mais il y a des apparences trompeuses et des évidences fausses. Si mes souvenirs sont exacts, à la question : « Qui a conçu la doctrine de Monroe ? » il faut répondre : John Quincy Adams. De nombreux biologistes répondent Charles Darwin quand on leur demande qui exerçait les fonctions de naturaliste à bord du *Beagle*. Et ils se trompent. Disons tout de suite, pour faire taire les protestations, que Darwin se trouvait bien sur le *Beagle* et qu'il s'y est bien consacré aux sciences naturelles. Mais ce n'était pas la vraie raison de sa présence à bord, et c'est le médecin du navire, Robert Mac Cormick, qui occupait officiellement les fonctions de naturaliste. Voilà qui est nouveau ; et il ne s'agit pas seulement d'une petite correction apportée à l'Histoire traditionnelle, mais bien d'une découverte de poids. L'anthropologiste J.W. Gruber a établi la chose dans « Qui était le naturaliste du *Beagle* ? », article paru dans le *British Journal for the history of Science*, en 1969. En 1975, l'historien H.L. Burstyn s'est efforcé de répondre à la question désormais posée : si Darwin n'exerçait pas les fonctions de naturaliste, que faisait-il sur ce bateau ?

Aucun document ne prouve explicitement que Mac Cormick était bien le naturaliste officiel, mais l'analyse du contexte fournit des arguments difficilement réfutables. À cette époque, il y avait, dans la marine britannique, une vieille tradition de médecins-naturalistes, et Mac Cormick s'était de toute évidence préparé à exercer ces fonc-

tions. C'était un naturaliste compétent, bien que sans originalité, et il exerça ses talents avec distinction au cours d'autres voyages, l'expédition Ross destinée à localiser le pôle Sud, par exemple (1839-1843). De plus, Gruber a découvert une lettre du naturaliste écossais Robert Jameson, commençant par « Cher Monsieur » et conseillant le naturaliste du *Beagle* sur le choix et la conservation des spécimens. On avait toujours pensé qu'elle était adressée à Darwin, mais le nom du destinataire figure sur l'original. Et c'est Mac Cormick.

À vrai dire, le rôle de Darwin à bord du *Beagle* consistait essentiellement à tenir compagnie au capitaine Fitzroy. Mais pourquoi un capitaine britannique s'embarque-t-il pour cinq ans en compagnie d'un homme qu'il ne connaît que depuis deux mois ? Deux aspects des voyages en mer, aux environs de 1830, ont certainement poussé Fitzroy à prendre cette décision. D'abord, les voyages duraient souvent plusieurs années, avec de très longues périodes en pleine mer, et les relations épistolaires avec les amis et la famille étaient malaisées. D'autre part, la tradition navale britannique de l'époque obligeait le capitaine à n'avoir pratiquement aucun contact avec le reste de la hiérarchie. Il prenait ses repas seul et ne rencontrait ses officiers que pour discuter des problèmes du bord et converser de la manière la plus conventionnelle et la plus « correcte ».

Fitzroy, lorsqu'il s'embarqua en compagnie de Darwin, n'avait que 26 ans. Il savait que certains capitaines payaient cher l'absence prolongée de contacts humains. Son prédécesseur à bord du *Beagle* n'avait pas tenu le coup et s'était suicidé dans l'hémisphère Sud en 1828, après trois années passées loin de chez lui. De plus, comme Darwin l'a signalé lui-même dans une lettre à sa sœur, Fitzroy croyait avoir des « prédispositions héréditaires » aux troubles mentaux. Son oncle, l'illustre vicomte de Castlereagh, vainqueur de la rébellion irlandaise et ministre des Affaires étrangères lors de la défaite de Napoléon, s'était tranché la gorge en 1822. En fait, Fitzroy s'est effectivement effondré pendant le voyage et a dû céder temporairement son commandement... pendant que Darwin, malade, était alité à Valparaiso.

S'il voulait échapper à la solitude, la seule ressource de Fitzroy était donc d'emmener un passager « en surnombre ». Mais cela dé-

plaisait à l'Amirauté, même quand il s'agissait de l'épouse du capitaine. Elle ne pouvait tolérer qu'on embarquât un passager supplémentaire dans le seul dessein de fournir de la compagnie au capitaine. Fitzroy avait bien pris d'autres passagers en surnombre (un dessinateur et un mécanicien, notamment) mais ils ne lui étaient d'aucune utilité parce qu'ils appartenaient à d'autres classes sociales. Fitzroy était un aristocrate et descendait directement du roi Charles II. Seul un gentleman pouvait partager ses repas, et, à n'en pas douter, Darwin en était un.

Mais comment convaincre quelqu'un de l'accompagner dans un voyage de cinq ans ? Simplement en lui offrant la possibilité de se livrer à des activités qu'il lui était impossible de mener à bien autrement. Pourquoi pas les sciences naturelles, bien que le *Beagle* eût un naturaliste officiel ? Fitzroy fit donc le tour de ses amis, à la recherche d'un naturaliste. C'était, comme l'explique Burstyn, « une manière polie de justifier la présence de son invité et une activité assez séduisante pour entraîner un gentleman dans un si long voyage ». Le parrain de Darwin, J.S. Henslow, comprit parfaitement. Il écrivit à Darwin : « Le capitaine F... a besoin de quelqu'un [...] (d'après moi) il cherche un compagnon plus qu'un véritable homme de science. » Darwin et Fitzroy se rencontrèrent et se mirent d'accord. Darwin choisit de tenir compagnie à Fitzroy, son rôle consistant surtout à s'asseoir à la table du capitaine à chaque repas, pendant cinq longues années. De plus, Fitzroy était un jeune homme ambitieux. Il voulait marquer son époque en donnant au voyage d'exploration ses lettres de noblesse. (« Le but de l'expédition, écrivit Darwin, est de terminer l'exploration de la Patagonie et de la Terre de Feu [...] d'explorer les côtes du Chili, du Pérou et de quelques îles du Pacifique [...] et d'effectuer des mesures chronométriques tout autour du monde. ») En adjoignant au personnel officiel des techniciens qu'il rémunérait lui-même, Fitzroy se servait de sa fortune et de son prestige pour réaliser ses objectifs. Un naturaliste en surnombre entraînait parfaitement dans les desseins de Fitzroy, et augmentait le potentiel scientifique du *Beagle*.

Le pauvre Mac Cormick ne pouvait plus échapper son sort. Au début, lui et Darwin travaillèrent en collaboration, mais leurs chemins finirent par se séparer. Darwin était très avantageux. Le capitaine

l'écoutait. Il avait un valet. Aux escales, il pouvait se permettre d'aller à terre, et de payer des indigènes pour obtenir des spécimens, alors que Mac Cormick devait rester à bord et remplir les devoirs de sa charge. Darwin obtint de meilleurs résultats que Mac Cormick et celui-ci, de dépit, décida de rentrer au pays. À Rio de Janeiro, en avril 1832, il quitta son poste « pour raisons de santé » et fut renvoyé en Angleterre à bord du *Tyne*. Darwin écrit à sa sœur : « Il nous a quittés “pour raisons de santé”, c'est-à-dire qu'il a déplu au capitaine... Je ne m'en plains pas. »

Darwin, en effet, ne tenait pas la science de Mac Cormick en haute estime. En mai 1832, il écrit à Henslow : « Sa philosophie datait un peu : il disait lui-même qu'à Saint-Jago, il avait passé la première quinzaine à faire des remarques d'ordre général et la dernière à rassembler des éléments précis. » En fait, Darwin n'avait aucune considération pour Mac Cormick. « Mon ami le docteur est un imbécile, mais nous ne nous entendons pas mal ; il est actuellement très préoccupé parce qu'il se demande s'il doit faire repeindre sa cabine en gris ou en blanc... Il n'a apparemment pas d'autre sujet de conversation. »

Bref, dans le monde scientifique comme ailleurs, il valait mieux être gentleman que roturier. Et la biologie ne serait pas ce qu'elle est aujourd'hui si Darwin avait été le fils d'un commerçant, et non celui d'un médecin fortuné. Ses biens lui donnaient la possibilité de poursuivre ses recherches sans difficulté. Ses différentes maladies ne lui permettant de travailler vraiment que deux ou trois heures par jour » la nécessité de gagner sa vie l'aurait sans doute contraint à renoncer à la recherche. C'est ainsi que la position sociale de Darwin joua un rôle déterminant à ce tournant de sa carrière.

Les scientifiques ont fortement tendance à considérer que l'inspiration est le résultat de l'observation directe. On est persuadé, par exemple, que les tortues et les pinsons ont joué un rôle décisif dans l'évolution des idées de Darwin sur le monde, puisqu'il n'était qu'un séminariste pieux et naïf lorsqu'il s'embarqua sur le *Beagle*. Or, il entreprit de rédiger le premier carnet sur la transmutation des espèces moins d'un an après son retour. Il semble que Fitzroy ait joué là un rôle important.

Darwin et Fitzroy firent tout ce qu'ils purent pour rester en bons termes, mais les exigences de la politesse et l'impassibilité pré victo-rienne permirent seules la poursuite de leurs relations. Fitzroy était à cheval sur la discipline et soutenait ardemment les conservateurs. Les positions libérales de Darwin étaient tout aussi définies. Darwin évita soigneusement de discuter avec Fitzroy du projet de réforme qu'examinait alors le Parlement, mais ils s'opposèrent au sujet de l'esclavage. Un soir, Fitzroy dit à Darwin qu'il avait été témoin de la nécessité de l'esclavage. L'un des plus gros trafiquants d'esclaves brésiliens avait rassemblé ses captifs et leur avait demandé s'ils désiraient être affranchis. Ils avaient tous répondu : « Non ». Darwin s'étant risqué à demander ce que valait une réponse faite en présence du propriétaire, Fitzroy s'emporta et lui déclara qu'il ne prendrait plus ses repas en sa compagnie s'il mettait sa parole en doute. Darwin sortit et se joignit aux officiers. Fitzroy céda et lui fit des excuses en bonne et due forme, quelques jours plus tard.

Donc, Darwin s'opposa aux convictions de Fitzroy. Mais il était son invité et, dans une certaine mesure, son subordonné, car le capitaine, en mer, disposait à cette époque d'un pouvoir absolu. Darwin ne pouvait exprimer sa désapprobation. Pendant cinq longues années, l'un des hommes les plus brillants de l'Histoire garda le silence. « Il est extrêmement difficile de rester en bons termes avec le capitaine d'un vaisseau de guerre, car c'est presque faire acte de mutinerie que de lui répondre comme on répondrait à quelqu'un d'autre, et à cause de la crainte respectueuse qu'il inspire, ou inspirait en mon temps, à tous », nota plus tard Darwin dans son autobiographie.

La politique conservatrice n'était cependant pas la seule passion de Fitzroy. Il s'intéressait également à la religion. Il ne prenait pas toujours la Bible au pied de la lettre, mais il considérait Moïse comme un historien et un géologue compétents. Et il passait de longues heures à essayer de calculer les dimensions de l'arche de Noé. L'idée fixe de Fitzroy, quand il fut plus âgé, était « l'argument du dessein », selon lequel la perfection des structures organiques prouve la bonté de Dieu – et son existence. Darwin, pour sa part, acceptait l'idée de perfection, mais proposait une explication naturelle tout à fait antagoniste des convictions de Fitzroy. Il lui opposait, en effet, une théorie évolutionniste fondée sur des variations dues au hasard et sur la

sélection naturelle imposée par l'environnement, conception strictement matérialiste – et fondamentalement athée. Dans leur ensemble, les théories évolutionnistes du XIX^e siècle étaient plus adaptées aux idées religieuses de Fitzroy. On croyait généralement à l'existence de tendances innées à la perfection, ce qui posait beaucoup moins de problèmes à la hiérarchie religieuse que la conception entièrement mécanique de Darwin.

Darwin fut-il conduit à cette perspective philosophique en réaction à l'insistance dogmatique de Fitzroy sur « l'argument du dessein » ? Rien ne prouve qu'à bord du *Beagle* il ne se soit pas conduit en bon chrétien. Les doutes et le rejet vinrent plus tard. À mi-voyage, il écrivit à un ami : « Je me demande souvent ce que je vais devenir ; si je m'écoutais, je me ferais curé de campagne. » Il alla même jusqu'à signer, avec Fitzroy, un appel en faveur de l'évangélisation du Pacifique intitulé : *The moral state of Tahiti*. Mais le doute a certainement germé à bord du *Beagle*, pendant les longues heures de calme et de contemplation. Essayons de nous représenter Darwin prenant chaque jour ses repas, pendant cinq ans, en compagnie d'un capitaine autoritaire, auquel il ne pouvait pas répondre, dont les idées politiques et la conduite choquaient ses convictions, et qu'il n'aimait pas. Qui peut dire l'espèce d'alchimie silencieuse à laquelle le cerveau de Darwin a été soumis pendant ces cinq années de harangues incessantes ? Il est bien possible que Fitzroy ait joué un rôle beaucoup plus important que les pinsons, et sans doute n'est-il pas étranger aux aspects matérialistes de la philosophie de Darwin et de sa théorie de l'évolution.

Fitzroy, en tout cas, se sentit coupable à l'époque où, plus tard, il commença à perdre l'esprit. Il crut avoir provoqué involontairement l'hérésie de Darwin (en fait, je crois bien que c'était vrai, et bien plus littéralement encore que tout ce qu'avait pu imaginer Fitzroy). Il éprouva le désir ardent d'expié sa faute et de réaffirmer la suprématie de la Bible. À la célèbre rencontre des Associations britanniques, en 1860, Fitzroy, à demi fou, marchait majestueusement de long en large, tenant une bible à bout de bras et criant : « Le Livre ! Le Livre ! » Cinq ans plus tard, il se suicidait.

3.

L'odyssée du terme « évolution »

Des milliers de savants ont passé leur vie à faire l'exégèse du concept d'évolution. Pour ma part, je voudrais simplement montrer comment on en est venu à désigner par ce terme les transformations organiques. En effet, l'utilisation qui a été faite de ce mot dans le passé est responsable de très nombreuses erreurs d'interprétation.

Commençons par un paradoxe : Darwin, Lamarck et Haeckel, les plus grands évolutionnistes du XIX^e siècle en Angleterre, en France et en Allemagne respectivement, n'ont pas utilisé ce mot dans l'édition originale de leurs œuvres. Darwin parlait de « descendance avec modification », Lamarck de « transformisme », Haeckel leur préférait « théorie des transmutations » ou « Descendenztheorie ». Pourquoi ne se sont-ils pas servis du mot « évolution », et comment en est-on venu à l'utiliser quand même ?

Deux raisons principales ont poussé Darwin à éviter d'employer le mot « évolution » dans l'exposé de sa théorie. En premier lieu, le terme avait déjà un sens technique en biologie à son époque. Il s'appliquait alors à une théorie embryologique, parfaitement inconciliable avec le point de vue de Darwin.

En 1744, le biologiste allemand Albrecht von Haller l'avait utilisé pour désigner une théorie selon laquelle les embryons se développeraient à partir d'homoncules contenus dans les œufs du sperme. Toutes les générations à venir auraient été créées dans les ovaires d'Ève ou les testicules d'Adam, emboîtées les unes dans les autres comme des poupées russes : un homoncule dans chaque ovaire d'Ève, un homoncule plus petit dans chaque ovaire de l'homoncule et ainsi

de suite. Les épigénéticiens, qui croyaient que la complexité du stade adulte provenait d'un œuf informe à l'origine, s'opposèrent à cette théorie. Haller avait bien choisi son mot, car le terme latin *evolvere* signifie « dérouler ». En fait, le minuscule homoncule quittait sa position d'origine et se contentait de grandir pendant le développement embryonnaire.

L'évolution embryonnaire de Haller semble cependant à l'opposé de la « descendance avec modification » dont parle Darwin. Comment la sélection naturelle peut-elle altérer le cours préétabli de notre séjour sur terre, si toute l'histoire de la race humaine ne se trouve préemballée dans les ovaires d'Ève ?

Le mystère semble s'épaissir. Comment le terme employé par Haller a-t-il pu prendre un sens aussi différent ? Cela ne devint possible que vers 1859, alors que la théorie de Haller était à l'agonie. Avec l'abandon de celle-ci, le mot allait pouvoir resservir.

Le mot « évolution », appliqué à la théorie de Darwin, n'a pas été emprunté à un terme technique plus ancien, mais tiré de l'usage courant. À l'époque de Darwin ce mot était devenu très courant en anglais, mais dans un sens tout à fait autre que celui que lui attribuait Haller. *L'Oxford English Dictionary* le fait remonter à un poème de H. More écrit en 1647 : « L'évolution des formes s'étend sur le vaste esprit du monde. » Mais il désignait là un autre déroulement que celui de Haller. Il impliquait « l'apparition, dans un ordre donné, de longues chaînes d'événements », et, surtout, il contenait une idée de perfectionnement progressif, de passage régulier du simple au complexe. *L'Oxford English Dictionary* ajoute que c'est « ce qui permet de passer d'un état rudimentaire à un état adulte ou complet ».

Et c'est bien dans ce sens courant que Darwin a utilisé le terme. C'est, en fait, le dernier mot de son livre.

« N'y a-t-il pas de la grandeur dans cette manière d'envisager la vie, avec ses diverses potentialités d'abord recelées dans un petit nombre de formes, voire une seule ; puis tandis que notre planète continuait ses révolutions, obéissant à la loi immuable de la gravitation, à partir d'un si humble commencement, d'innombrables formes toujours belles et plus merveilleuses n'ont cessé d'évoluer et, aujourd'hui encore, évoluent. »

Par ce mot, Darwin veut ici opposer le caractère mouvant de la transformation organique au caractère statique de lois physiques telles que la gravitation. Mais en réalité, c'est un terme qu'il employait très rarement, car il voulait bannir toute notion de progrès de ce que nous appelons aujourd'hui évolution.

Dans une épigramme célèbre, Darwin écrit qu'il doit s'interdire d'employer les qualificatifs « supérieur » ou « inférieur » lorsqu'il décrit la structure des organismes. Pouvons-nous prétendre, en effet, que nous sommes des créatures supérieures à l'amibe, qui est aussi bien adaptée à son environnement que nous le sommes au nôtre ? Darwin évita donc de recourir à l'« évolution », d'une part, parce que son sens technique heurtait ses convictions, et, d'autre part, parce que la notion de progrès, inséparable de son sens courant, lui déplaisait.

C'est grâce aux œuvres de Herbert Spencer, érudit inlassable de l'époque victorienne, qui savait presque tout, que « évolution » a fait son entrée dans la langue anglaise en tant que synonyme de « descendance avec modification ». Selon Spencer, l'évolution était la loi fondamentale de tout changement. Et, pour un sujet vertueux de la reine Victoria, quel principe, sinon celui de progrès pouvait bien diriger les processus de transformation de l'univers ? Spencer donna donc la définition de la loi universelle dans son ouvrage *Premiers Principes*, en 1862 : « L'évolution est une intégration de matière jointe à une déperdition de mouvement ; la matière passe ainsi d'une homogénéité indéfinie et incohérente à une hétérogénéité définie et cohérente. »

Deux autres aspects de l'œuvre de Spencer ont contribué à donner au terme le sens que nous lui connaissons : d'abord, il l'a toujours employé pour décrire les transformations organiques dans son ouvrage célèbre, *Principes de biologie*. Ensuite, il ne considérait pas le progrès comme une propriété intrinsèque de la matière, mais comme le résultat d'une « collaboration » entre des principes internes et externes, c'est-à-dire appartenant à l'environnement. Ce point de vue s'adaptait aux idées du XIX^e siècle sur l'évolution organique, car les savants victoriens avaient tendance à confondre changement organique et progrès organique. « Évolution » était donc disponible quand les savants ressentirent la nécessité d'un mot plus succinct que

l'expression utilisée par Darwin. Et comme les évolutionnistes, dans leur majorité, pensaient que le changement organique conduisait inévitablement à un accroissement de la complexité – l'homme – ils ne contredirent pas la définition de Spencer en s'appropriant sa formulation.

Par une ironie du sort, cependant, le père de la théorie évolutionniste était presque seul à soutenir que le changement organique a pour unique résultat d'améliorer l'adaptation des organismes à leur environnement, et ne se conforme pas à une idée abstraite de progrès définie par la complexité de la structure ou l'accroissement de l'homogénéité.

« Ne jamais dire supérieur ou inférieur... » Si nous avons tenu compte de l'avertissement de Darwin, la confusion et l'incompréhension qui existent aujourd'hui entre les savants et les profanes nous auraient été épargnées.

Car la conception de Darwin est essentielle pour les savants qui ont abandonné depuis longtemps l'idée d'une relation nécessaire entre évolution et progrès, la considérant comme une perversion anthropocentriste de la pire espèce. Pourtant, la plupart des profanes confondent encore évolution et progrès. Ils n'imaginent pas l'évolution humaine comme une suite de changements, mais comme un accroissement d'intelligence, de taille ou de tout ce qui peut être considéré comme une amélioration.

Dans ce qui est peut-être actuellement le document antiévolutionniste le plus répandu, le pamphlet des Témoins de Jéhovah intitulé : *L'homme est-il venu sur terre grâce à l'évolution ou par création ?*, on peut lire : « L'évolution signifie schématiquement que la vie a progressé de formes unicellulaires à son niveau le plus élevé, l'être humain, grâce à une série de transformations biologiques qui ont pris des millions d'années... On ne peut considérer comme évolution les transformations se déroulant au sein d'un type d'espèce vivante. »

Cette confusion entre évolution organique et progrès entraîne, aujourd'hui encore, des conséquences malheureuses. Dans l'Histoire, elle est à l'origine des abus du darwinisme social dont Darwin lui-même se méfiait beaucoup. Cette théorie aujourd'hui discréditée classait les groupes humains et les cultures en fonction de critères ayant

trait à leur niveau d'évolution, les Européens se trouvant au sommet et les habitants de leurs colonies, en bas, bien entendu. C'est aujourd'hui l'un des éléments fondamentaux de notre arrogance, de notre tendance à dominer le million d'espèces qui habitent notre planète, au lieu de vivre en bonne intelligence avec elles. Les écrits restent, bien sûr, et l'on n'y peut rien. On peut toutefois se demander pourquoi les savants ont provoqué ce terrible malentendu en choisissant un mot courant, qui signifie progrès, pour désigner ce que Darwin nommait, moins spectaculairement mais plus correctement « descendance avec modification ».

4.

Une oraison funèbre prématurée

Dans l'une des nombreuses versions cinématographiques de *A Christmas Carol*, Ebenezer Scrooge, en rendant visite à son partenaire Jacob Marley, qui est en train de mourir, rencontre un gentleman très digne, assis sur le palier. « Est-ce que vous êtes le médecin ? » demande Scrooge. « Non, réplique l'homme, je suis le croquemort. Dans mon métier, la concurrence est impitoyable. » Il en va de même dans le monde des intellectuels, et peu d'événements sont plus remarquables que la proclamation de la mort d'idées très populaires. Depuis sa naissance, la théorie de la sélection naturelle est candidate au décès. Tom Bethell est à l'origine de l'offensive la plus récente, avec un texte intitulé : *l'Erreur de Darwin*⁵. « Je crois, écrit-il, que la théorie de Darwin est sur le point de s'effondrer... Il y a quelques années qu'elle a été abandonnée, sans bruit, même par ses défenseurs les plus acharnés.

Première nouvelle, et, bien que je sois fier de compter au nombre des darwiniens, je ne fais pas partie des tenants les plus ardents de la sélection naturelle. Je me souviens de la réaction célèbre de Mark Twain lorsqu'on annonça prématurément sa mort : « La nouvelle de ma mort est très exagérée. »

La thèse de Bethell ne rencontre pourtant que méfiance chez la plupart des hommes de science. Il n'est pas surprenant qu'une théorie succombe sous le choc de données nouvelles, mais il est beaucoup plus rare qu'une théorie importante s'effondre à cause d'une erreur de logique dans sa formulation. Presque tous les scientifiques ont quelque chose du Philistin. Ils ont tendance à ignorer la philosophie classique, la considérant comme une recherche vide. Il est certain que

tout individu intelligent est capable de raisonner correctement par intuition. Mais, Bethell enterre la sélection naturelle sans citer un seul résultat nouveau, il ne s'appuie que sur une erreur de raisonnement qu'aurait faite Darwin.

« Celui-ci affirme-t-il, a commis une erreur assez grave pour remettre en cause la validité de sa théorie. La mise en évidence de cette erreur est récente... À un moment donné de sa démonstration, Darwin s'est trompé. »

Je vais m'efforcer de réfuter la thèse de Bethell, mais je déplore que les hommes de science n'examinent pas plus sérieusement la structure logique d'une démonstration. Presque toujours la théorie évolutionniste est présentée d'une manière aussi creuse que le soutient Bethell. Beaucoup de grandes théories ne sont bâties que sur des séries de métaphores et d'analogies douteuses. Bethell ne s'est pas trompé en voyant la théorie évolutionniste environnée de scories. Mais nous ne sommes pas d'accord sur un point : pour Bethell, la théorie évolutionniste est pourrie jusqu'à l'os, et moi, je trouve en son centre, une perle de grande valeur.

L'idée centrale de la théorie darwinienne est la sélection naturelle : ceux qui sont les plus aptes survivent et propagent leurs caractéristiques dans les populations. On définit la sélection naturelle par la phrase de Spencer : « la survie des plus aptes », mais que signifie réellement cette expression qui tient un peu du jargon ? Qui sont les plus aptes ? Et comment définit-on « l'aptitude » ? On dit souvent que l'aptitude n'est rien de plus que « la capacité au plus grand succès reproductif », c'est-à-dire la capacité à produire un plus grand nombre de descendants survivants que les autres membres concurrents de l'espèce. Holà ! s'écrie Bethell, comme beaucoup d'autres avant lui. Cette formulation ne définit donc « l'aptitude » qu'en terme de survivance. La phrase clé de la théorie de la sélection naturelle ne signifie donc rien de plus que « la survie de ceux qui survivent » – c'est donc une tautologie creuse. Car une tautologie, étant vraie par définition, ne peut être soumise à l'épreuve scientifique, pour être réfutée ou confirmée.

Mais comment Darwin a-t-il pu faire une erreur aussi monumentale ? Même ses critiques les plus sévères ne l'ont jamais accusé de

stupidité. Darwin s'est probablement efforcé de définir l'aptitude d'une manière différente, de trouver un critère indépendant de la simple survie. Et il en a, en effet, proposé un, mais Bethell déclare, avec raison d'ailleurs, que ce critère est établi à partir d'une analogie, procédé dangereux et peu sûr. On pourrait croire que le premier chapitre d'un ouvrage aussi révolutionnaire que *l'Origine des espèces* traite de problèmes cosmiques et de questions d'ordre général. Or, il est consacré aux pigeons. Darwin y expose, en quarante pages, le fonctionnement de la « sélection artificielle » pratiquée par les éleveurs. Car, ici, on est certain qu'il existe un critère indépendant. Les plus aptes ne se définissent pas par leur survie, mais il leur est permis de survivre parce qu'ils possèdent les caractéristiques désirées.

Le principe de la sélection naturelle repose sur une analogie avec la sélection artificielle. Nous devons être capables, comme l'amateur de pigeons, de reconnaître immédiatement les mieux adaptés, et pas uniquement du fait qu'ils survivent. Mais la nature n'est pas un éleveur ; la vie n'a pas d'objectif préétabli. Dans la nature, il faut considérer toutes les caractéristiques des survivants, quelles qu'elles soient, comme « plus évoluées ». Dans le cas de la sélection artificielle, les caractéristiques « supérieures » sont déterminées avant même que l'élevage ne débute. Par la suite, déclare Bethell, les évolutionnistes se sont rendu compte que l'analogie de Darwin ne convenait pas et ont proposé de définir l'adaptation par la seule survie. Mais ils détruisaient, du coup, la structure logique du postulat central de Darwin. Il n'existe pas de critère indépendant dans la nature ; donc, la sélection naturelle est tautologique.

Bethell passe ensuite à deux corollaires importants. Premièrement : si l'adaptation se définit uniquement par la survie, comment est-il possible de considérer la sélection naturelle comme une force créatrice, ainsi que le soutiennent les darwiniens ? La sélection naturelle peut seulement nous aider à comprendre comment « un type donné d'animal s'est reproduit plus qu'un autre » ; elle ne peut expliquer comment « un type d'animal s'est progressivement transformé en un autre ». Deuxièmement, pourquoi Darwin, et avec lui d'autres sujets éminents de la reine Victoria, étaient-ils si certains de pouvoir comparer la nature aveugle et la sélection telle que la pratiquaient les éleveurs ? Selon Bethell, dans le climat culturel créé par un capita-

lisme industriel triomphant, tout changement était considéré comme un progrès. Dans la nature, seul le meilleur pouvait survivre : « On commence à voir maintenant que Darwin n'a rien découvert de plus que la propension victorienne à croire au progrès. »

Je pense que Darwin avait raison, et que Bethell et ses amis se trompent. On peut appliquer à la nature des critères d'adaptation indépendants de la survie, et les évolutionnistes en ont fait la preuve. Mais il ne faut pas se dissimuler que la critique de Bethell concerne une bonne partie de la littérature technique traitant de la théorie évolutionniste, en particulier la génétique mathématique abstraite, qui ne voit l'évolution que comme un changement quantitatif, et ignore ses aspects qualitatifs. Ce type de recherche ne prend effectivement en compte l'aptitude qu'en termes de capacité de survie. Peut-il en être autrement dans le cadre de ces modèles mathématiques abstraits étudiant le succès différentiel de gènes hypothétiques au sein de populations qui n'existent que dans des programmes d'ordinateur ? La nature, cependant, est plus riche que le supposent ces calculs de génétique théorique. Dans la nature, la « supériorité d'un gène » s'exprime par le nombre des individus survivants porteurs de ce gène, mais elle ne se définit pas par celui-ci. Or, du moins, il vaut mieux ne pas la définir par celui-ci, sauf à donner raison à Bethell et ses collègues, et tort à Darwin.

Ma défense de Darwin n'est ni nouvelle, ni sensationnelle, ni même profonde. Je me contente d'affirmer que Darwin avait raison de considérer la sélection naturelle et la sélection artificielle en élevage comme analogues. Dans le cas de la sélection artificielle, le désir de l'éleveur représente, pour une population donnée, un changement d'environnement. Dans ce nouvel environnement, certaines caractéristiques sont « supérieures » *a priori* : elles se perpétuent et se propagent par la volonté de notre éleveur, mais il s'agit là de la conséquence de leur aptitude, non de la définition de celle-ci. Dans la nature, l'évolution darwinienne se produit également en réaction à un changement d'environnement.

Venons-en au problème central. Certaines caractéristiques morphologiques, physiologiques et psychologiques sont supérieures *a priori* dans des environnements nouveaux. Ces caractéristiques

confèrent l'aptitude à la survie à ceux qui les présentent parce qu'elles sont adéquates à leur fonction, et non pas parce que ceux qui les présentent tendent à être plus nombreux dans les populations. Il s'est mis à faire froid bien avant que le mammoth laineux n'ait acquis, par évolution, sa fourrure à longs poils.

Pourquoi ce problème agite-t-il tant les évolutionnistes ? D'accord, Darwin avait raison : une meilleure adéquation de la constitution, c'est-à-dire une meilleure adaptation est un critère autonome d'aptitude à la survie. Et alors ?... A-t-on déjà prétendu sérieusement que les individus possédant une mauvaise constitution allaient survivre ? Oui, souvent. À l'époque de Darwin, de nombreuses théories évolutionnistes rivales soutenaient que les individus les mieux adaptés (ceux qui possèdent la meilleure adéquation de leur constitution) étaient voués à la disparition. Le grand paléontologiste américain Alpheus Hyatt, s'est même fait le champion d'une conception très répandue : la théorie du cycle des races. Hyatt prétendait que les lignages, comme les individus, ont une jeunesse, une maturité, une vieillesse et finissent par s'éteindre. Le déclin et l'extinction sont programmés dans l'histoire des espèces. À mesure que la vieillesse arrive, les individus les mieux constitués meurent et les créatures boiteuses et difformes de la sénilité l'emportent. Selon les partisans de l'orthogenèse, autre conception anti-darwinienne, certaines tendances ne peuvent être contrariées, une fois leur développement commencé, même si elles doivent finalement provoquer l'extinction de la race. Au XIX^e siècle, beaucoup d'évolutionnistes – peut-être la majorité – croyaient que l'élan d'Irlande avait disparu parce qu'il avait été incapable d'arrêter la croissance de ses bois, et qu'il était mort, empêtré dans les arbres ou noyé dans les marais. De même, on prétendait que le « tigre aux-dents-de-sabre » préhistorique avait disparu parce que ses canines étaient devenues si longues que le pauvre félin ne pouvait plus ouvrir suffisamment la gueule pour qu'elles lui soient utiles. Il n'est donc pas vrai, ainsi que l'affirme Bethell, que chacune des caractéristiques des survivants doit être façonnée dans l'optique de la meilleure aptitude à la survie. « La survie des plus aptes » n'est pas une tautologie. Ce n'est pas non plus la seule interprétation imaginable, ou raisonnable, des données évolutionnistes. Il y a eu des conceptions rivales, balayées par des éléments

nouveaux et des changements d'attitude face à la nature de la vie. Il y en a encore, et peut-être parviendront-elles à limiter son champ d'application.

Dans ces conditions, comment Bethell peut-il écrire : « À mon avis, Darwin ne tardera pas à être abandonné, mais, peut-être par déférence à l'égard du vieux gentleman respectable qui repose confortablement dans l'abbaye de Westminster, près d'Isaac Newton, cela se fait discrètement et sans bruit, avec un minimum de publicité. » Il me semble que Bethell n'est pas tout à fait honnête en matière d'opinion dominante. Il se réfère à C.H. Waddington et à H.J. Muller, qui sont des touche-à-tout, comme s'ils représentaient un courant d'idées. Il ne mentionne pas les chefs de file chez les sélectionnistes de notre génération : E.O. Wilson ou D. Janzen, par exemple. Et il ne cite les théoriciens du néodarwinisme, Dobzhansky, Simpson, Mayr et J. Huxley, que pour ridiculiser leurs métaphores à propos de la « créativité » de la sélection naturelle. (Je ne prétends pas qu'il faille apprécier le darwinisme parce qu'il a encore des adeptes. Je suis moi-même assez touche-à-tout pour savoir qu'un courant d'idées qui n'est pas contesté court à la catastrophe. Je me contente d'affirmer que le darwinisme est bien vivant, malgré la notice nécrologique de Bethell.)

Mais pourquoi la sélection naturelle a-t-elle été comparée à un compositeur par Dobzhansky, à un poète par Simpson, à un sculpteur par Mayr et à Shakespeare par Julian Huxley ? Je ne vais pas discuter le choix des métaphores, mais tâcher d'en dégager l'intention, pour mettre en évidence l'essence du darwinisme : le caractère créatif de la sélection naturelle. La sélection naturelle a une place dans toutes les théories anti-darwiniennes. Elle joue le rôle du bourreau qui décapite ceux qui ne sont pas adaptés – alors que ceux qui le sont apparaissent grâce à des mécanismes non darwiniens, tels que la transmission des caractères acquis ou l'action directe de l'environnement. La sélection naturelle crée l'adaptation ; c'est là l'essence du darwinisme. Les variations se produisent continuellement, dans toutes les directions. Elles ne sont que la matière première. La sélection naturelle régit le cours de l'évolution. Elle protège les variations favorables et élabore progressivement l'adaptation. En fait, puisque les artistes modèlent leurs créations à partir d'une matière première, qu'il s'agisse de notes, de mots, ou de pierre, les métaphores ci-dessus ne me

semblent pas choquantes. Mais comme Bethell n'admet pas qu'il existe un critère d'adaptation indépendant de la stricte survie, il lui est impossible d'attribuer un rôle créatif à la sélection naturelle.

Selon Bethell, l'idée que la sélection naturelle est une force créatrice n'est rien de plus qu'une illusion engendrée par le climat politique et social de l'époque. Alors que l'optimisme victorien jetait ses derniers feux, dans l'Angleterre impériale, tout changement paraissait apporter un progrès ; pourquoi alors, ne pas poser une relation d'équivalence entre la survie dans la nature et la meilleure adaptation, dans le cadre non tautologique de l'amélioration de la constitution ?

Je compte parmi ceux qui croient que la « vérité », telle que la prêchent les hommes de science, n'est souvent rien de plus que la somme des préjugés engendrés par les conceptions politiques et sociales dominantes. En ce sens, la pratique de la science est comparable à toute activité humaine créative. Mais la validité d'une conception générale n'est pas une garantie en ce qui concerne ses applications particulières, et je persiste à dire que les conclusions de Bethell pèchent par manque d'information.

Darwin a accompli deux choses distinctes : il a convaincu le monde scientifique de l'existence de l'évolution, et il a proposé la théorie de la sélection naturelle pour l'expliquer. Je veux bien admettre que la confusion entre « évolution » et « progrès » lui a facilité les choses. Mais en ce qui concerne sa seconde proposition, il a échoué de son vivant. Il a fallu attendre 1940 pour voir triompher la théorie de la sélection naturelle. Il semble même que son impopularité pendant l'époque victorienne était due principalement à la négation du progrès en tant que phénomène appartenant aux mécanismes de l'évolution. La sélection naturelle est une théorie d'adaptation locale à des environnements en changement. Elle ne contient ni principes de perfection ni garantie de perfectionnement ; rien ne la prédispose à recueillir l'approbation d'un climat politique favorable à une idée de progrès lié à la nature.

Le critère indépendant d'aptitude à la survie proposé par Darwin est en fait « l'amélioration de la constitution », mais « amélioration » n'a pas le sens quasi métaphysique qu'on lui attribuait alors en Gran-

de-Bretagne. Pour Darwin, « amélioration » voulait simplement dire « constitution mieux adaptée à l'environnement local ». Les environnements locaux changent constamment, il y a des variations dans la température, l'humidité, la végétation. L'évolution par sélection naturelle n'est rien de plus que la réaction des organismes à ces environnements variables, ceux qui y sont mieux adaptés survivant. L'apparition de la fourrure chez les mammouths n'est pas un progrès dans un sens métaphysique. Il arrive que la sélection naturelle produise une tendance qui nous amène à croire qu'il y a progrès dans un sens plus général. Ainsi, l'augmentation de la taille du cerveau est la caractéristique des groupes successifs de mammifères. Mais les gros cerveaux ont leur utilité dans certains environnements locaux ; ils ne constituent pas en eux-mêmes une preuve de progrès. Et Darwin a montré que l'adaptation locale a souvent pour résultat la « dégénérescence » de la constitution : la simplification anatomique des parasites, par exemple.

Si la sélection naturelle n'est pas une doctrine de progrès, on ne peut considérer, avec Bethell, qu'elle est le reflet de conceptions politiques. Si la théorie de la sélection naturelle repose sur un critère indépendant d'aptitude à la survie, elle n'est pas tautologique. Je soutiens, peut-être naïvement, que sa popularité actuelle, qui ne diminue pas, a sans doute quelque chose à voir avec le succès qu'elle remporte dans l'interprétation des données, souvent imparfaites et partielles, que nous possédons actuellement sur l'évolution. Je pense profondément que l'heure où nous serons débarrassés de Charles Darwin n'a pas encore sonné.

II.

L'évolution de l'homme

5.

Une question de quantité

Dans *Alexander's Feast*, John Dryden montre son héros racontant une fois de plus, après un dîner copieusement arrosé, ses exploits militaires :

Le roi perdit l'esprit,
Revécut ses batailles,
Et trois fois il mit ses ennemis en déroute,
Trois fois il massacra les morts.

Cent cinquante ans plus tard, Thomas Henry Huxley se servit de la même image lorsqu'il refusa de tirer avantage de la victoire décisive qu'il avait remportée sur Richard Owen dans la grande querelle de l'hippocampe, « la vie est trop courte pour qu'on se soucie de tuer les morts plus d'une fois ».

Owen avait tenté d'établir que nous sommes différents des animaux en affirmant que l'une des petites circonvolutions du cerveau, l'hippocampe mineur, n'existe ni chez les chimpanzés, ni chez les gorilles, ni chez les autres animaux. Selon lui, l'*Homo sapiens* serait seul à la posséder. Huxley, qui avait disséqué des primates lorsqu'il travaillait à son livre *la Place de l'homme dans la nature*, démontra que tous les singes possèdent un hippocampe et que, s'il intervient un changement dans la structure cérébrale des primates, c'est entre les prosimiens (lémuriens et tarsiers) et les autres primates, y compris l'homme, et non entre l'homme et les grands singes. Pendant un mois pourtant, en avril 1821, l'Angleterre entière fut témoin de la bataille que se livrèrent deux grands anatomistes à propos d'un petit renflement du cerveau. Le magazine *Punch* publia des poèmes satiriques et

Charles Kingsley s'étendit longuement sur l'hippocampe majeur dans son roman : *The Water Babies*, paru en 1863. Si l'on découvrait un bébé aquatique, disait-il, « on le mettrait dans l'alcool, ou dans l'*Illustrated News*, peut-être même couperait-on le pauvre petit en deux et en enverrait-on une moitié au professeur Owen et l'autre au professeur Huxley pour voir ce qu'ils pourraient en dire ».

Le monde occidental ne se sent pas encore très à l'aise avec les implications de la théorie de l'évolution. La querelle de l'hippocampe illustre parfaitement ce qui se trouve à l'origine de ces réticences : le refus d'accepter notre appartenance à la nature, la quête inlassable d'un élément prouvant que nous sommes différents des animaux. Les grands naturalistes n'ont cessé de proposer des théories générales de la nature et d'en exclure les êtres humains. Charles Lyell conçut une vision statique du monde : le temps n'aurait eu aucune influence sur la composition de la vie, toutes les structures organiques auraient existé dès le départ. L'homme seul aurait été créé un bref instant géologique plus tôt – saut quantique dans une sphère morale surimposée à la sphère de l'anatomie comparée. Alfred Russel Wallace, sélectionniste convaincu, qui alla plus loin que Darwin lui-même en affirmant que la sélection naturelle était la seule force directrice de l'évolution, considéra pourtant le cerveau humain comme une exception et se tourna plus tard vers le spiritualisme.

Darwin lui-même, bien qu'il fût partisan d'une stricte continuité, agit avec la plus grande prudence. Dans la première édition de *l'Origine des espèces* (1859), il écrivit simplement : « La lumière sera faite sur l'origine de l'homme et son histoire. » Dans les éditions suivantes, il a ajouté « toute » au début de la phrase. Il ne se décida à publier *la Descendance de l'homme* qu'en 1871.

Les chimpanzés et les gorilles sont depuis longtemps le terrain privilégié de la recherche de notre supériorité ; car s'il nous était possible de mettre en évidence une différence nette, qualitative et non quantitative, entre nous et nos plus proches parents, notre arrogance s'en trouverait justifiée. Il y a bien longtemps que cette querelle a débordé le domaine du simple débat sur l'évolution elle-même : actuellement, les gens instruits ne mettent pas en doute l'existence d'une continuité entre les êtres humains et les singes. Mais l'influence de

notre héritage philosophique et religieux est si forte que nous cherchons encore à découvrir un critère permettant d'établir une distinction nette entre nos aptitudes et celles des chimpanzés. Car, ainsi qu'il est dit dans les psaumes, « l'homme est-il donc si important que Tu te préoccupes tant de lui ?... Car Tu l'as fait légèrement inférieur aux anges et Tu l'as placé au sommet de la gloire et de l'honneur ».

On a proposé un grand nombre de critères de différenciation, mais aucun n'est satisfaisant. La seule solution honnête consiste à admettre qu'il y a parfaite continuité entre nous et les chimpanzés. Qu'avons-nous à y perdre ? Nous renonçons à une conception dépassée de l'âme pour adopter l'idée plus modeste, mais tout aussi exaltante, de notre appartenance à la nature. L'examen des arguments de ceux qui ne veulent pas que nous soyons des singes montrera au contraire que, sur tous les plans, nous sommes plus proches des chimpanzés que ne le croyait Huxley lui-même.

1. Argument morphologique dans la tradition owénienne. Huxley n'a cessé de freiner l'ardeur de ceux qui cherchaient à mettre en évidence une rupture anatomique entre les êtres humains et les singes. Pourtant, les recherches se sont poursuivies dans certains domaines. Les différences entre le chimpanzé adulte et l'homme ne sont pas négligeables, mais elles ne proviennent pas de différences qualitatives. Nous sommes semblables sur tous les plans ; seuls le rythme de croissance et la taille diffèrent. Avec le souci du détail qui caractérise les recherches anatomiques allemandes, le Pr D. Starck et ses collègues ont récemment montré que les différences existant entre le crâne humain et celui du chimpanzé ne sont que quantitatives.

2. Argument portant sur les capacités intellectuelles. L'argument anatomique a perdu la faveur des hommes de science depuis la débâcle d'Owen. Les tenants de la discontinuité ont alors arbitrairement décrété qu'il existait un abîme infranchissable entre les capacités intellectuelles de l'homme et celles du singe. Après quoi, ils ont cherché à en apporter la preuve. La génération précédente avait mis l'accent sur l'aptitude à se servir d'outils, mais les chimpanzés intelligents sont capables d'utiliser toutes sortes d'objets pour s'emparer de bananes ou libérer un compagnon enfermé.

Les tentatives les plus récentes portent sur le langage et la capacité de conceptualiser, derniers refuges possibles de la différence qualitative. Les premières expériences réalisées pour apprendre à parler aux chimpanzés se sont soldées par un échec retentissant : quelques grognements et un vocabulaire insignifiant. On en a conclu que cela reflétait une déficience dans la structure cérébrale. Il semble que l'explication soit plus simple et beaucoup moins riche de conséquences – bien que non dénuée d'intérêt en ce qui concerne les aptitudes linguistiques des chimpanzés dans la nature. Les cordes vocales des chimpanzés sont construites de telle sorte qu'il leur est impossible de produire une grande variété de sons articulés. Si nous parvenions à mettre au point un autre système de communication, nous découvririons certainement que les chimpanzés sont beaucoup plus malins que nous le croyons.

Aujourd'hui tous ceux qui lisent les journaux et regardent la télévision connaissent le succès retentissant d'une autre méthode : l'utilisation du langage à base de signes des sourds-muets, pour communiquer avec les chimpanzés. Quand Lana, la meilleure élève des laboratoires Yerkes, a commencé à demander le nom d'objets qu'elle n'avait jamais vus auparavant, il n'a plus été possible d'affirmer que les chimpanzés étaient incapables de conceptualiser. Il ne s'agit pas là d'un simple conditionnement de type pavlovien. En février 1975, R.A. et B.T. Gardner ont publié les premiers résultats obtenus sur deux bébés chimpanzés auxquels on a enseigné le langage des signes dès la naissance. (Washoe leur premier sujet, avait un an quand on a commencé à lui apprendre le langage des signes. Après six mois, elle n'en connaissait que deux.) À trois mois, les deux bébés chimpanzés commencèrent à reproduire des signes identifiables. À treize semaines, l'un d'eux, Moja, avait un vocabulaire de quatre mots : *donne*, *va*, *encore* et *boire*. Leurs progrès n'étaient pas plus lents que ceux d'un enfant humain (nous nous attendons généralement à entendre des mots sans nous rendre compte que nos enfants cherchent à communiquer par d'autres moyens, longtemps avant de parler). Évidemment, je ne crois pas que ce qui nous différencie physiologiquement des chimpanzés puisse se résumer à l'éducation. Les progrès de ces bébés chimpanzés vont se ralentir, comparativement à ceux des bébés humains. Le prochain président des États-Unis n'appartiendra pas à

une autre espèce. Cependant, le travail des Gardner démontre avec éclat que nous avons considérablement sous-estimé nos plus proches parents.

3. Argument génétique. En admettant qu'il soit impossible de séparer nettement les êtres humains des chimpanzés à l'aide d'un seul critère, qu'il soit morphologique ou psychologique, peut-être pourrions-nous prouver que la différence se situe sur le plan génétique. Après tout, les deux espèces n'ont pas du tout la même apparence physique et font, dans les conditions naturelles, des choses tout à fait différentes. (En effet, même si les chimpanzés font preuve d'aptitudes linguistiques en laboratoire, il n'y a aucun indice de communication conceptuelle riche dans le milieu naturel.) Marie-Claire King et A.C. Wilson ont récemment publié un répertoire des caractéristiques génétiques qui différencient les deux espèces⁶, et ce travail pourrait bien balayer un vieux préjugé. Pour résumer : en utilisant toutes les techniques biochimiques connues actuellement et en répertoriant autant de protéines que possible, on se rend compte que, dans l'ensemble, les différences génétiques sont remarquablement faibles.

Quand deux espèces sont peu différentes morphologiquement mais constituent, dans la nature, deux populations distinctes et se reproduisent isolément, les biologistes parlent d'« espèces jumelles ». Les espèces jumelles sont généralement plus proches, sur le plan génétique, que les paires d'espèces appartenant au même genre mais très différentes morphologiquement (espèces congénériques). Il est évident que chimpanzés et humains n'appartiennent pas à des espèces jumelles ; selon la terminologie traditionnelle, les deux espèces ne sont même pas congénériques (le chimpanzé est classé dans le genre *Pan* et nous sommes *Homo sapiens*). Mais King et Wilson ont montré que la distance génétique entre les deux espèces est voisine de la distance moyenne séparant deux espèces jumelles, et beaucoup plus faible que dans le cas de toutes les espèces congénériques précédemment étudiées.

Étonnant paradoxe ! Car il reste que nous sommes des animaux très différents. Et si la distance génétique est aussi faible, pourquoi notre apparence physique et nos habitudes sont-elles si différentes ? Dans le cadre de la conception atomiste, selon laquelle chaque gène

détermine une seule caractéristique organique, il est impossible de concilier nos différences anatomiques avec les découvertes de King et Wilson car, à un grand nombre de différences dans l'apparence physique devrait correspondre un grand nombre de différences dans les gènes.

Il faut en conclure que certains gènes ont une action beaucoup plus étendue et qu'ils influencent l'organisme tout entier et non pas une seule de ses caractéristiques. Quelques variations dans les gènes pourraient avoir pour conséquence des différences notables entre deux espèces, sans que la différenciation génétique soit importante. King et Wilson proposent donc de résoudre ce paradoxe en attribuant ce qui nous sépare des chimpanzés à des mutations du système de régulation.

Les cellules du cerveau et les cellules du foie ont les mêmes gènes et les mêmes chromosomes. Leur dissemblance ne provient pas de leur constitution génétique mais du résultat de leur développement. Pendant le développement, certains gènes entrent en activité, puis s'arrêtent à différents moments, afin que le même système génétique puisse produire des résultats différents. En fait, le processus mystérieux du développement de l'embryon dépend de la programmation très précise de l'activité des gènes. Pour former une main à partir de l'ébauche embryonnaire d'un membre, il faut que les cellules prolifèrent à certains endroits – destinés à former les doigts – et meurent à d'autres – l'espace entre les doigts.

Il est probable que le système génétique est, en majeure partie, destiné à cette programmation, et non à la détermination de caractéristiques particulières. On parle de système de régulation pour désigner les gènes responsables de la programmation du développement. Il est évident qu'un changement au niveau d'un gène appartenant au système de régulation peut avoir des conséquences décisives sur l'organisme tout entier. Si l'on retarde ou si l'on précipite une phase clé du développement de l'embryon, le cours de son évolution future en sera certainement changé. King et Wilson pensent donc que c'est ce système de régulation, dont l'influence est déterminante, qui différencie les êtres humains des chimpanzés.

C'est une hypothèse raisonnable. Mais que savons-nous de la nature de ces différences ? Il nous est actuellement impossible d'identifier les gènes qui en sont responsables. King et Wilson ne tirent d'ailleurs aucune conclusion : « Il importe pour l'avenir des recherches sur l'évolution de l'homme, écrivent-ils, de mettre en évidence des différences entre l'homme et le singe dans la programmation de l'activité des gènes dans le développement de l'embryon. » Je crois que nous savons en quoi consiste cette différence dans la programmation.

Homo sapiens est fondamentalement une espèce néoténique, comme nous le verrons au chapitre 7 ; nous sommes issus d'ancêtres simiesques dont les rythmes de développement se sont globalement ralentis. Nous devrions chercher quelles sortes de changement au niveau du système de régulation ralentissent les rythmes ontogénétiques communs à tous les primates et nous confèrent des proportions et des modes de croissance juvéniles.

La faiblesse de la distance génétique qui sépare l'homme du chimpanzé pourrait nous conduire à tenter l'expérience la plus intéressante, en ce qui concerne les résultats, et la plus inacceptable en ce qui concerne la morale : réaliser l'hybridation des deux espèces, et demander à l'être ainsi obtenu comment on se sent quand on est à moitié chimpanzé. Il est tout à fait possible qu'un tel croisement soit réalisable... tant nous sommes proches sur le plan génétique. Mais, pour rassurer ceux qui craindraient de voir apparaître une race comparable aux héros de *la Planète des singes*, je m'empresse d'ajouter que ces hybrides seraient certainement stériles, comme les mules et pour la même raison. Les différences génétiques entre les êtres humains et les chimpanzés sont minimes, mais elles comprennent au moins dix grandes inversions ou translocations. Une inversion, comme son nom l'indique, est le retournement d'un segment chromosomique. Toutes les cellules de l'hybride contiendraient un stock de chromosomes de chimpanzé et un stock de chromosomes humains. Les cellules de l'œuf et du sperme sont obtenues grâce à un procédé qu'on appelle la méiose, ou division. Au cours de la méiose, chaque chromosome doit s'accoler à sa contrepartie, avant la division cellulaire, de telle sorte que les gènes correspondants puissent s'accoupler : c'est-à-dire que chaque chromosome de chimpanzé doit

s'accoupler avec sa contrepartie humaine. Mais si un segment de chromosome humain est inversé par rapport à sa contrepartie chez le chimpanzé, l'accouplement gène par gène ne peut se faire sans boucles et contorsions élaborées, et cela empêche la division cellulaire de s'effectuer correctement.

Tout porte à croire que ce croisement fera toujours partie des expériences interdites. De toute manière, la tentation en diminuera certainement quand nous saurons communiquer avec nos plus proches parents. Je commence à penser que les chimpanzés répondront eux-mêmes à toutes nos questions.

6. Les buissons et les échelles de l'évolution humaine

Mon premier professeur de paléontologie était presque aussi vieux que les animaux dont il parlait. Ses notes devaient dater de l'époque où il avait passé sa licence. Son cours était toujours le même, d'une année sur l'autre, mais le papier vieillissait. J'étais au premier rang, dans un nuage de poussière jaune, et je voyais le papier se déchirer chaque fois qu'il tournait la page.

Heureusement pour lui, on ne lui a jamais confié le cours d'évolution humaine. On a découvert un si grand nombre de fossiles humains au cours de ces dernières années que chaque année, quand arrive le moment de traiter ce sujet, j'ouvre mon vieux dossier et classe le contenu dans les archives. Et on recommence tout.

On lisait en première page du *New York Times* du 31 octobre 1975 : « Des fossiles découverts en Tanzanie révèlent l'Homme, il y a 3,75 millions d'années. » Le D^r Mary Leakey avait en effet trouvé des mâchoires et des dents appartenant à au moins onze individus, dans des sédiments situés entre deux couches de poussière volcanique fossilisée datant de 3,35 et 3,75 millions d'années respectivement.

Mary Leakey pense que ces restes proviennent de créatures appartenant à notre genre, *Homo*, probablement à l'espèce qui peuplait l'Afrique orientale, *Homo habilis*, et que son mari, Louis Leakey, a été le premier à décrire.

Alors ? En 1970, le paléontologue Brian Patterson a estimé à 5,5 millions d'années l'âge d'une mâchoire découverte en Afrique orientale. Il est vrai qu'il y voit un australopithèque et non un homme. Mais on pense généralement que l'australopithèque est l'ancêtre direct de l'homme. La tradition terminologique exige que l'on

donne des noms différents aux diverses étapes d'une chaîne évolutive, mais cette habitude ne doit pas obscurcir la réalité biologique. Si *Homo habilis* est le descendant direct de *A. africanus* (et si les deux espèces sont peu différentes sur le plan anatomique), alors on peut dire que le premier « humain » est le premier australopithèque, et non le premier bénéficiaire d'une définition arbitraire de l'homme. Dès lors, qu'est-ce que ces mâchoires et ces dents, postérieures de 1,5 million d'années à l'australopithèque le plus ancien, ont donc de si passionnant ?

Les mâchoires et les dents découvertes par Mary Leakey sont les plus anciens restes « humains » connus, et je tiens cette découverte pour l'une des plus importantes de ces dix dernières années. Pour mieux s'en rendre compte, il faut se pencher sur l'un des problèmes fondamentaux, bien que rarement abordé, de la théorie évolutionniste : le conflit entre les « échelles » et les « buissons ». Il s'agit là d'expressions imagées destinées à faire comprendre comment fonctionne l'évolution.

L'australopithèque, tel que nous le connaissons, n'est peut-être pas l'ancêtre de l'homme et, en tout cas, l'image de l'échelle est inapte à représenter le chemin suivi par l'évolution. Le terme d'« échelle » renvoie ici à la conception populaire selon laquelle l'évolution serait une suite ininterrompue d'ancêtres et de descendants.

La métaphore de l'échelle est à la base de presque toutes les réflexions concernant l'évolution de l'homme. Pour évoquer la progression unique susceptible de faire le lien entre un ancêtre simiesque et l'homme moderne au moyen de transformations successives, on parle souvent de « chaînon manquant ». On ferait aussi bien de parler de « barreau manquant ». Comme l'a récemment écrit le biologiste britannique J.Z. Young dans son *Introduction à l'étude de l'homme*, « une population diversifiée, mais se reproduisant en circuit fermé, a atteint progressivement le stade de l'*Homo sapiens* ».

Ironiquement, la théorie de l'échelle a d'abord nié le rôle des australopithèques africains dans l'évolution de l'homme. *A. africanus* marchait debout, mais son cerveau était trois fois plus petit que le nôtre. Quand on l'a découvert, dans les années vingt, beaucoup d'évolutionnistes croyaient que les caractéristiques changent toutes en-

semble au sein d'une même lignée évolutive... C'était la doctrine de la « transformation harmonieuse ». Un singe marchant debout, mais possédant un petit cerveau, ne pouvait appartenir qu'à une branche latérale vouée à une extinction rapide (faut-il croire alors que l'intermédiaire idéal aurait été une brute marchant à demi dressée et possédant la moitié d'un cerveau ?). Mais, dans les années trente, la théorie évolutionniste se modifia et ces idées furent abandonnées. La sélection naturelle peut agir indépendamment sur différents traits adaptatifs au cours d'une séquence évolutive, les changeant à différents moments et selon des taux différents. Il arrive souvent qu'un ensemble de caractéristiques subissent une transformation complète avant que le moindre changement n'intervienne sur les autres. Pour désigner cette indépendance potentielle des traits, les paléontologistes emploient l'expression « évolution en mosaïque ».

Grâce à l'évolution en mosaïque, *A. africanus* fut élevé au rang d'ancêtre direct. L'échelle à trois barreaux : *A. africanus* – *H. erectus* (homme de Java et de Pékin) – *H. sapiens*, devint la règle.

Il y eut cependant quelques problèmes quand on découvrit, toujours dans les années trente, une autre espèce d'australopithèques, d'un type qualifié de robuste : *A. robustus* – et, plus tard, une forme « hyper-robuste », *A. boisei*, que l'on doit à Mary Leakey, vers la fin des années cinquante. Les anthropologistes furent contraints d'admettre que deux espèces d'australopithèques avaient vécu en même temps, et que l'échelle comportait au moins une dérivation. Cependant le statut de *A. africanus* ne fut pas remis en question ; on le gratifia simplement d'une seconde descendance qui se révéla infructueuse : le lignage robuste, pourvu d'un petit cerveau et d'une grosse mâchoire.

Puis, en 1964, Louis Leakey et ses confrères entamèrent la restructuration radicale de l'évolution de l'homme en nommant une espèce d'Afrique orientale *Homo habilis*. Ils pensaient que *H. habilis* était contemporain des deux lignages d'australopithèques. Mauvaise nouvelle pour l'échelle : trois lignages de pré-humains en même temps ! Et un descendant potentiel (*H. habilis*) vivant en même temps que ses ancêtres présumés ! Cependant, Leakey, au risque de se faire traiter d'hérétique, n'hésita pas à en conclure que les deux li-

gnages d'australopithèques étaient des branches parallèles sans influence directe sur l'évolution de l'homme.

Mais l'*Homo habilis* de Leakey était contestable sur deux points, et il restait possible de s'en tenir à l'échelle traditionnelle :

1. Les fossiles étaient en mauvais état et n'avaient pas été découverts au même endroit et au même moment. Pour beaucoup d'anthropologistes, Leakey avait mélangé deux choses différentes : on pouvait attribuer les ossements les plus anciens à *A. africanus* et les fossiles les plus récents à *H. erectus*.

2. La datation n'était pas sûre. Même si *H. habilis* appartenait véritablement à une espèce distincte, il pouvait très bien être plus récent que toutes les espèces connues d'australopithèques. L'échelle à quatre barreaux : *A. africanus* – *H. habilis* – *H. erectus* – *H. sapiens*, pouvait devenir la règle.

Mais alors qu'un consensus se dessinait autour de cette nouvelle échelle, Richard Leakey, fils de Louis et de Mary, fit en 1973 une découverte capitale. Il exhuma un crâne presque entier, d'une capacité inférieure à 800 cm³, soit presque deux fois celle de tous les spécimens connus d'australopithèques. De plus, et cela est déterminant, il estima qu'il avait entre deux et trois millions d'années, avec une préférence pour le chiffre le plus élevé. Il serait donc plus ancien que la plupart des fossiles d'australopithèques et assez proche du plus ancien spécimen connu : 5,5 millions d'années. On ne pouvait plus considérer *H. habilis* comme le produit de l'imagination de Louis⁷.

Grâce à Mary Leakey, le domaine de *H. habilis* est encore repoussé d'un million d'années (peut-être deux millions d'années, si ER-1470 est plus proche de trois millions d'années que de deux, comme le croient actuellement beaucoup d'experts). *H. habilis* n'est pas le descendant direct d'*A. africanus* ; ces nouvelles découvertes sont en réalité plus anciennes que presque tous les spécimens connus d'*A. africanus*, et la terminologie appliquée à tous les fragments d'ossements antérieurs à ceux découverts par Mary Leakey peut être mise en doute. En se fondant sur les fossiles que nous connaissons, l'homme est aussi ancien que l'australopithèque. Certes on peut toujours dire que l'homme descend d'une espèce d'australopithèque encore inconnue. Mais il n'y a aucune preuve à l'appui d'une telle théo-

rie, et il serait tout aussi justifié de prétendre que l'australopithèque descend d'une espèce d'hommes inconnue.

Dans un autre domaine, l'anthropologiste Charles Oxnard a également porté un coup sévère à l'australopithèque. Ses recherches portent sur les épaules, le bassin et les pieds des australopithèques, des primates modernes et de l'homme. Elles ont été conduites suivant des techniques d'analyse rigoureuses, reposant sur la prise en considération simultanée d'un grand nombre de mesures. Il en a conclu que les australopithèques appartiennent à un type distinct des singes et des humains et, selon lui, « il faut classer les différents représentants de cette espèce, curieusement unique et possédant un cerveau relativement petit, en une ou plusieurs branches parallèles, sans lien direct avec l'homme ».

Que devient alors notre échelle, si nous devons prendre en compte trois lignages d'hominidés différents : *A. africanus*, l'australopithèque robuste et *H. habilis* ? De plus, ils ne semblent pas avoir évolué pendant leur passage sur terre : leur cerveau ne s'est pas développé à mesure que l'époque actuelle approchait.

S'il en est vraiment ainsi, si les espèces apparaissent et disparaissent sans que leur apparence physique se modifie, que reste-t-il de l'idée d'évolution ? Ne sommes-nous pas obligés d'en revenir à celle de création ?

Je crois qu'en réalité la faille ne réside pas dans l'évolution elle-même mais dans l'idée que nous nous faisons de son fonctionnement – c'est-à-dire l'échelle. Ce qui m'amène aux buissons.

En fait l'apparition « subite » d'espèces parmi les fossiles connus et l'incapacité où nous sommes de mettre en évidence une évolution suivie entrent parfaitement dans le cadre de la théorie évolutionniste telle que nous la comprenons. L'évolution se fait généralement par « spéciation » (isolement d'un lignage qui perd tout contact avec le stock parental) et non par transformation lente et continue de ce stock parental. Des épisodes répétés de spéciation produisent un buisson. Les « séquences » d'évolution ne sont pas les barreaux d'une échelle, mais un chemin sinueux, labyrinthique, conduisant, de branche en branche, de la base du buisson à l'espèce qui subsiste actuellement au sommet.

Comment s'effectue la spéciation ? C'est l'une des difficultés de la théorie évolutionniste, mais de nombreux biologistes sont prêts à accepter la théorie de la « spéciation allopatrique⁸ ». Allopatrique signifie « à un autre endroit ». Selon la théorie de la spéciation allopatrique, rendue célèbre par Ernst Mayr, une espèce nouvelle apparaît au sein d'une population très réduite, qui se trouve isolée du groupe parental, à la périphérie du domaine ancestral. Chez ces isolés, la spéciation est très rapide... quelques centaines ou quelques milliers d'années seulement ! Soit une microseconde géologique.

Il est possible que l'essentiel de l'évolution se produise au sein de ces petites populations isolées. Une variation génétique favorable pourra s'y répandre rapidement. De plus, la sélection naturelle a tendance à être plus intense dans les régions marginales, où l'espèce a peine à se maintenir. Dans les populations nombreuses du centre, au contraire, les variations se répandent très lentement et tout changement s'oppose à la résistance de la population bien adaptée. Des changements mineurs se produisent pour répondre aux nécessités d'une lente altération des climats, mais les restructurations génétiques importantes se déroulent presque toujours dans les petites populations périphériques, qui forment une espèce nouvelle.

S'il en est ainsi, quelles indications pourront nous donner les fossiles ? Il est peu probable que nous puissions détecter le moment de la spéciation elle-même. Elle se produit trop rapidement, au sein de groupes trop réduits, vivant trop loin du domaine ancestral. Les fossiles n'apparaîtront que lorsqu'elle aura reconquis le domaine ancestral et sera devenue elle-même une population nombreuse. Pendant son histoire, dont témoignent les fossiles, nous ne devons pas nous attendre à découvrir un seul changement important ; car nous ne faisons sa connaissance qu'au moment où elle est une population nombreuse et bien établie. Elle ne prendra part au processus de variation organique que lorsque quelques individus, isolés à la périphérie, formeront une espèce nouvelle, ajoutant une nouvelle branche au buisson de l'évolution. Mais elle apparaîtra « subitement » dans le témoignage des fossiles et disparaîtra tout aussi rapidement, sans variation de forme significative.

Les fossiles africains d'Hominidés entrent parfaitement dans ce cadre. Nous connaissons environ trois branches contemporaines du buisson humain. Il serait étonnant qu'on n'en découvrit pas deux fois plus d'ici à la fin du siècle. Les branches n'évoluent pas au cours de leur histoire et, si nous comprenons bien l'évolution, elles ne le doivent pas. Car l'évolution se concentre en brèves périodes de spéciation : l'apparition de nouvelles branches.

Nous n'occupons pas le sommet d'une échelle destinée, dès le départ, à produire l'*Homo sapiens*. Nous sommes tout simplement la seule branche restante d'un buisson jadis luxuriant.

7. Le véritable père de l'homme est l'enfant

La quête de la Fontaine de Jouvence, dans laquelle Ponce de León⁹ s'était lancé, se poursuit dans les maisons de repos de Floride. Jadis, les alchimistes chinois cherchèrent à mettre au point un élixir de longue vie en alliant l'incorruptibilité de la chair à la stabilité de l'or. Et combien d'entre nous seraient prêts, comme Faust, à signer un pacte avec le diable pour obtenir la vie éternelle ?

Mais les problèmes qui pourraient surgir de l'immortalité ne sont pas absents de notre littérature. Wordsworth, dans son ode célèbre, montre que l'enfant voit « la splendeur dans l'herbe, la gloire dans la fleur », et que cela ne se reproduit jamais. Il conseille pourtant de « ne pas se laisser aller à la tristesse, mais de puiser sa force dans ce qui est resté en arrière ». Dans son roman *After many a summer dies the swan*, Aldous Huxley a mis en scène l'ambiguïté des bienfaits de la vie éternelle. Avec une arrogance consommée, caractéristique des millionnaires américains, Jo Stoyte se met en tête de se payer l'immortalité. Le savant embauché par Stoyte, le D^r Obispo, découvre que le cinquième comte de Gonister a réussi à dépasser largement deux cents ans en avalant chaque jour des tripes de carpe. Ils gagnent en hâte l'Angleterre, pénètrent par effraction dans la demeure gardée du comte et découvrent – Stoyte avec horreur et Obispo avec amusement – que le comte et sa maîtresse sont devenus des singes. Les voilà confrontés à la réalité terrifiante de notre origine : nous avons évolué par conservation des caractéristiques de la jeunesse de nos ancêtres, procédé dont le nom technique est *néoténie* – littéralement : rétention de la jeunesse.

« “Un fœtus de singe qui a eu tout le temps de grandir, dit enfin le D^r Obispo. C’est trop drôle !” De nouveau, il éclata de rire. M. Stoyte lui saisit les épaules et le secoua avec violence... “Que leur est-il arrivé ? – Le temps, rien de plus, dit le D^r Obispo d’un ton léger. Le fœtus d’anthropoïde a pu arriver à maturité...” Sans quitter sa place, le cinquième comte de Gonister urina sur le plancher. »

C’est la « théorie de la fœtalisation », avancée dans les années vingt par l’anatomiste hollandais Louis Bolk qui a fourni à Aldous Huxley le thème de son roman¹⁰. À la base de sa théorie se trouve la liste impressionnante de caractéristiques que nous avons en commun avec les primates jeunes (mais pas avec les adultes) ou avec les mammifères en général. Cette liste comprend les caractéristiques suivantes, parmi une vingtaine d’autres :

1. Notre boîte crânienne ovoïde, qui contient notre gros cerveau. Les embryons de singes possèdent un crâne semblable, mais la croissance du cerveau est si lente par rapport au reste du corps que la voûte crânienne s’abaisse et devient relativement petite chez l’adulte. La taille que notre cerveau lui-même finit par atteindre est certainement due à la rétention des taux de croissance du fœtus.

2. Notre visage juvénile : profil droit, taille réduite des mâchoires et des dents, arcades sourcilières pratiquement plates. Les mâchoires des jeunes singes sont tout aussi petites, mais elles se développent plus rapidement que le reste du crâne, et forment, chez l’adulte, un museau saillant.

3. Position du *foramen magnum*, trou situé à la base du crâne par lequel passe la moelle épinière. Comme chez l’embryon de tous les mammifères, *notre foramen magnum* se trouve sous le crâne, dirigé vers le bas. Le crâne est en équilibre au sommet de la colonne vertébrale et nous regardons devant nous lorsque nous nous tenons debout. Chez les autres mammifères, le *foramen* change de place pendant le développement de l’embryon et se fixe en définitive à l’arrière du crâne. Et cela convient parfaitement à la vie à quatre pattes, puisque la tête se trouve en avant des vertèbres et les yeux dirigés vers l’avant. Les trois caractéristiques morphologiques considérées le plus souvent comme les signes distinctifs de l’homme sont : la taille du cerveau, la taille réduite des mâchoires et la station debout. Il est

possible que la rétention de caractéristiques particulières à la jeunesse ait joué un rôle important dans leur évolution.

4. Fermeture tardive des jointures du crâne et autres signes de calcification lente du squelette. La fontanelle est très étendue chez l'enfant et les jointures entre les os du crâne ne se ferment définitivement que bien après qu'il a atteint l'âge adulte. Le cerveau peut ainsi poursuivre son développement postnatal, alors que chez la plupart des autres mammifères, le cerveau est presque complet à la naissance et le crâne entièrement ossifié. D'après un anatomiste de premier plan, spécialisé dans les primates : « Bien que la taille de l'homme *in utero* dépasse celle de tous les primates, la maturité du squelette est moindre que chez tous les primates sur lesquels on possède des informations sérieuses. » Les doigts et les extrémités des os longs ne sont encore cartilagineux à la naissance que chez les êtres humains.

5. Canal vaginal dirigé vers le ventre chez la femme. Le canal vaginal est également dirigé vers l'avant chez les embryons de mammifères, mais il effectue chez l'adulte une rotation vers l'arrière de sorte que l'accouplement se fait par derrière.

6. Notre gros orteil non opposable. Chez la plupart des primates, le gros orteil commence comme le nôtre, lié à ses voisins, mais il effectue une rotation et s'oppose aux autres afin de permettre une préhension efficace. La conservation d'une caractéristique juvénile rend le pied plus apte à la marche et la station debout plus facile.

La liste de Bolk ne s'arrête pas là, et elle est impressionnante mais la théorie qu'il en tire est telle qu'elle condamne ses observations à l'oubli. C'est elle qui a fourni à Aldous Huxley le thème de sa parabole anti-faustienne. Bolk écrit :

« Si je voulais exprimer le principe de base de ma théorie par une phrase quelque peu frappante, je dirais que l'homme est un fœtus de primate, adulte sur le plan sexuel... »

Ou, pour citer de nouveau Aldous Huxley :

« Il y a un équilibre glandulaire... Puis survient une mutation qui l'altère. On a alors un nouvel équilibre qui a pour effet de ralentir le rythme de développement. La croissance ne cesse pas, mais elle est si lente que la mort survient sans que le stade du fœtus de nos arrière-

grands-parents ait été dépassé. » Bolk n'a pas hésité à en tirer la conséquence qui s'imposait. Si nous devons tous nos traits distinctifs à une altération de l'équilibre hormonal, le retour à la situation antérieure ne présente aucune difficulté : « On remarquera, écrit Bolk, que bon nombre de caractéristiques, que l'on pourrait qualifier de simiesques, existent chez nous à l'état latent, n'attendant que la disparition des forces responsables de ce ralentissement pour réapparaître. »

Fâcheuse situation pour la perle rare de la création ! Un singe dont le développement est stoppé, et qui ne détient l'étincelle divine que grâce à un frein chimique agissant sur son développement hormonal !

L'idée de Bolk ne fut jamais prise très au sérieux, mais son absurdité devint évidente quand la doctrine darwinienne moderne s'imposa, pendant les années trente. Comment pouvait-on admettre qu'un seul changement hormonal produisît une réaction morphologique aussi complexe ? Toutes nos caractéristiques ne subissent pas ce ralentissement (la longueur des jambes, par exemple), et celles qui y sont soumises ne le sont pas dans les mêmes proportions. Les organes évoluent séparément, en réaction à des nécessités d'adaptation différentes : c'est ce que nous appelons l'évolution en mosaïque. Les observations pertinentes de Bolk furent donc ensevelies sous les critiques qu'appelait sa théorie fantaisiste. La théorie de la néoténie de l'être humain se résume actuellement à un ou deux paragraphes dans les dictionnaires d'anthropologie. Je la crois pourtant fondamentalement correcte. Elle met en lumière un thème essentiel, voire déterminant, de l'évolution de l'homme. Comment réhabiliter les observations de Bolk ?

Si nous fondons notre argumentation sur la liste des caractéristiques néoténiques, nous sommes perdus. Selon la conception de l'évolution en mosaïque, les variations des organes sont fonction de la diversité des pressions sélectives. Les partisans de la néoténie récapitulent leurs observations, leurs adversaires présentent les leurs, et on parvient rapidement à un équilibre. Qui peut dire quelles caractéristiques sont « plus fondamentales » ? Un partisan de la néoténie a ainsi récemment écrit : « Chez presque tous les animaux, certaines ca-

ractéristiques montrent des signes de ralentissement et d'autres des signes d'accélération... Je crois que chez l'homme, à la différence des autres primates, le ralentissement prévaut généralement sur l'accélération. » Mais un opposant déclare : « Les caractéristiques néoténiques [...] sont les conséquences au deuxième degré de caractéristiques fondamentales qui, elles, ne sont pas néoténiques. » La liste des caractéristiques subissant un ralentissement, pour impressionnante qu'elle soit, ne suffit pas à valider la néoténie ; elle doit entrer dans le cadre des processus responsables de l'évolution humaine.

Au départ, la néoténie est devenue célèbre parce qu'elle permettait de contrer la théorie de la récapitulation, conception dominante dans la biologie de la fin du XIX^e siècle. Selon la théorie de la récapitulation, les animaux passent par le stade adulte de leurs ancêtres pendant le développement embryonnaire et postnatal : l'ontogenèse est le reflet de la phylogenèse, comme nous l'avons tous appris au lycée. Les récapitulationnistes estimaient, par exemple, que les branchies de l'embryon humain représentaient le stade adulte du poisson dont nous descendons. Si la théorie récapitulationniste était exacte, ce qui n'est pas le cas, il faudrait que les caractéristiques subissent une accélération pendant l'évolution, car les traits de l'ancêtre adulte ne peuvent devenir les étapes de la jeunesse du descendant que si le développement de celui-ci est plus rapide. Mais dans le cas de la néoténie, les caractéristiques doivent subir un ralentissement, puisque celles correspondant à la jeunesse de l'ancêtre sont conservées et apparaissent au stade adulte du descendant. Il y a donc une correspondance entre accélération et récapitulation, d'une part, ralentissement et néoténie, d'autre part. Si nous pouvons mettre en évidence qu'il existe un ralentissement général du développement chez l'être humain, nous pourrions affirmer que celui-ci est fondamentalement néoténique.

Or, on ne peut nier, me semble-t-il, que le ralentissement soit l'un des éléments de base de l'évolution humaine. D'abord, les primates se développent en général plus lentement que les autres mammifères. Ils vivent plus longtemps et parviennent à maturité plus tard que d'autres mammifères de taille comparable. Cette tendance se retrouve dans toute l'évolution des primates. Les grands singes sont généralement plus corpulents, parviennent à maturité plus tard et

vivent plus longtemps que les petits singes et les prosimiens. Le cours et le rythme de notre vie ont subi un ralentissement plus spectaculaire encore. Notre période de gestation est à peine plus longue que celle des singes, mais nos bébés sont beaucoup plus lourds à la naissance – probablement parce que nous conservons des éléments favorisant la croissance rapide du fœtus. J’ai déjà parlé de notre ossification ralentie. Nos dents poussent plus tard, nous sommes adultes plus tard et nous vivons plus longtemps. Nos organes poursuivent leur croissance longtemps après que celle-ci a cessé chez les primates. À la naissance, le cerveau du macaque représente 65 % de sa taille définitive, celui du chimpanzé, 40,5 %, le nôtre 23 % seulement. Chez les chimpanzés et les gorilles, le cerveau est formé à 70 % au début de la première année ; l’homme ne parvient à ce chiffre qu’au début de sa troisième année. D’après W.M. Krogman, notre meilleur spécialiste de la croissance, « de toutes les formes de vie, l’homme est celle qui a la plus longue enfance et la jeunesse la plus prolongée, c’est-à-dire que c’est un animal à croissance lente. Il consacre presque trente pour cent de sa vie à grandir ».

Le ralentissement de notre développement n’implique pas forcément que nous conserverons les caractéristiques de la jeunesse au stade adulte. Mais, du fait que néoténie et ralentissement du développement sont généralement liés, ce dernier constitue un mécanisme permettant de conserver sans difficulté toute caractéristique juvénile correspondant aux conditions dans lesquelles se déroule la vie du descendant adulte. En fait, les caractéristiques juvéniles sont un réservoir d’adaptations potentielles, qu’il est facile d’utiliser si le développement est retardé dans des proportions importantes – par exemple, le gros orteil non opposable et le visage des fœtus de singe, dont j’ai déjà parlé. Dans notre cas, il est clair que la possibilité de conserver des caractéristiques correspondant à la jeunesse est à la base des adaptations qui nous distinguent.

Mais que signifie le ralentissement du développement en ce qui concerne l’adaptation elle-même ? La réponse à cette question est certainement liée à notre évolution sociale. Le savoir a chez nous une importance déterminante. Nous ne sommes pas particulièrement forts, agiles ou robustes ; nous ne nous reproduisons pas rapidement. Mais nous sommes avantagés par notre cerveau, qui nous donne la

possibilité d'apprendre par expérience. Afin de faciliter l'acquisition du savoir, nous avons prolongé l'enfance en retardant la maturité sexuelle, inséparable du désir d'indépendance. Nos enfants dépendent longtemps de leurs parents, ce qui leur donne tout le temps d'apprendre et renforce également les liens familiaux.

Cet argument ne date pas d'hier, mais il n'a pas vieilli. Dès 1689, John Locke louait notre enfance prolongée parce qu'elle lie les parents l'un à l'autre : « On ne peut qu'admirer la sagesse du Créateur qui [...] nous a conçus tels que la communauté de l'homme et de la femme soit forcément plus durable que celle du mâle et de la femelle chez les autres créatures, de telle sorte que leur assiduité au travail s'en trouve renforcée, et leurs intérêts plus étroitement liés, dans la production et l'accumulation de biens destinés à leur progéniture commune. »

Mais Alexander Pope (1735) l'a dit mieux encore :

L'animal et l'oiseau élèvent leurs petits
Les mères les nourrissent et les pères les défendent
Mais le jeune s'en va courir le monde,
Là s'arrête l'instinct et là le soin des parents prend fin,
Mais plus longtemps le soin des parents aux hommes est nécessaire,
Et ce soin prolongé crée des compagnies durables.

8.

Les embryons humains

Le numéro de novembre 1975 de *Natural History* a publié un article de mon ami Bob Martin sur les différentes stratégies de reproduction des primates. Il s'est tout particulièrement intéressé aux travaux de l'un des hommes de science que je préfère : le zoologiste suisse Adolf Portmann. Au cours de ses recherches, Portmann a mis en évidence deux types principaux dans la stratégie de reproduction des mammifères.

Certains mammifères, que nous considérons généralement comme « primitifs », ont une gestation brève et donnent naissance à des portées nombreuses de petits à peine formés, minuscules, dépourvus de poil, sans défense, les yeux et les oreilles fermés. Dans leur cas, la vie est courte, le cerveau petit par rapport à la taille de l'animal, et les conduites sociales pratiquement inexistantes. Il qualifie ce type *nidicole*. D'un autre côté, les mammifères « supérieurs » ont une longue gestation, vivent plus longtemps, possèdent un gros cerveau, des conduites sociales complexes, et donnent naissance à un nombre limité de petits, presque complètement formés et capables, en partie du moins, de se débrouiller seuls. Ces caractéristiques définissent les mammifères *nidifuges*. Pour Portmann, qui considère l'évolution comme un processus conduisant inexorablement à une plus grande maturité intellectuelle, le type nidicole est premier et prépare le terrain au type nidifuge, dont la caractéristique principale est la taille du cerveau. Dans leur majorité, les évolutionnistes de langue anglaise rejettent cette interprétation et pensent que ces types fondamentaux sont liés aux nécessités immédiates du mode de vie¹⁴.

D'après Martin, il semble que le type nidicole soit lié à des environnements marginaux, mouvants et instables, dans lesquels la meilleure stratégie consiste à mettre au monde le plus grand nombre possible de petits, pour être sûr que quelques-uns survivront. Le type nidifuge correspondrait, au contraire, à des environnements stables, tropicaux. Là, les ressources étant plus assurées, les animaux peuvent utiliser leur énergie à concevoir un nombre limité de petits presque complètement formés.

En tout cas, personne ne peut nier que les primates constituent l'archétype des mammifères nidifuges. Relativement à la taille, le cerveau est plus gros, la durée de la gestation et l'espérance de vie plus importantes. Les portées sont réduites au minimum absolu : un. À la naissance, les petits sont presque complètement formés et capables de se débrouiller seuls. Cependant, bien que Martin n'en fasse pas mention, il existe une exception frappante et très embarrassante : l'homme. Nous avons les caractéristiques nidifuges de nos cousins, les primates : longue vie, gros cerveau et portées peu nombreuses. Mais nos petits sont, à la naissance, aussi imparfaitement formés et aussi faibles que ceux de la plupart des mammifères nidicoles. En fait, Portmann lui-même considérait les enfants humains comme « nidicoles au second degré ». Pourquoi l'espèce la plus nidifuge de toutes sur un certain nombre de points (le cerveau, notamment) produit-elle des petits beaucoup moins bien formés et beaucoup plus faibles que ceux de ses ancêtres, les primates ?

La réponse paraîtra sans doute complètement absurde à beaucoup de lecteurs : les bébés humains naissent à l'état d'embryon et restent des embryons pendant les neuf premiers mois de leur vie. Si les femmes accouchaient « normalement » (après environ un an et demi de gestation) nos bébés seraient en tout point comparables à ceux des mammifères nidifuges. C'est ce que Portmann a exposé dans une série d'articles en langue allemande, pratiquement inconnus dans notre pays, dans les années quarante. Ashley Montagu, de son côté, est parvenu à la même conclusion dans un article paru dans le *Journal of the American Medical Association* en octobre 1961. R.E. Passingham, psychologue à Oxford, l'a défendue dans un article publié par une revue spécialisée, *Brain, Behaviour and Evolution*, fin 1975.

Dès le départ, la longueur de la gestation humaine semble contredire cette conception. Les gorilles et les chimpanzés ne sont pas loin derrière, mais la gestation dure plus longtemps chez l'homme que chez tous les autres primates. Comment, dans ces conditions peut-on affirmer que les nouveau-nés humains sont des embryons parce qu'ils naissent, d'une certaine manière, trop tôt ? Il est possible de répondre que le temps planétaire n'est peut-être pas l'unité de mesure la plus propice aux calculs biologiques. On ne peut résoudre certains problèmes qu'en utilisant une unité de mesure correspondant au métabolisme et au rythme de développement de l'animal en question. Nous savons, par exemple, que l'espérance de vie des mammifères va de quelques jours à plus d'un siècle. Mais cette distinction « objective » correspond-elle à ce que perçoit le mammifère en question ? Un rat vit-il réellement moins longtemps qu'un éléphant ? On a remarqué que le rythme de vie des animaux de petite taille est plus rapide que celui de leurs parents plus gros.

Le cœur bat plus rapidement et le métabolisme fonctionne à une cadence beaucoup plus élevée. En réalité, sur certains plans, tous les mammifères vivent aussi longtemps. Tous, par exemple, respirent à peu près le même nombre de fois. Les mammifères de petite taille, qui vivent peu de temps, respirent plus rapidement que les gros.

La gestation humaine est longue, en jours astronomiques, mais elle est brève et écourtée, du point de vue du rythme de développement de l'être humain. Dans le chapitre précédent, j'ai montré que la caractéristique fondamentale de l'évolution humaine est le ralentissement sensible de notre développement. Notre cerveau grossit plus lentement et plus longtemps que celui des primates, nos os s'ossifient plus tard et l'enfance est beaucoup plus longue. En fait, nous ne parvenons jamais à combler notre retard sur les primates. L'être humain adulte conserve, à bien des égards, les caractéristiques correspondant à la jeunesse de ses ancêtres primates. C'est ce phénomène qu'on appelle la néoténie.

Comparativement aux autres primates, nous grandissons et nous nous développons à la vitesse de l'escargot. Pourtant, notre période de gestation ne dure que quelques jours de plus que celle du gorille ou du chimpanzé, et elle est très courte relativement à notre rythme

de développement. Si le ralentissement de la gestation était aussi marqué que celui de notre développement, les bébés humains naîtraient selon les estimations, entre sept et huit mois ou même un an après les neuf mois effectivement passés *in utero*.

Mais n'est-ce pas se laisser aller à une métaphore facile que de dire que les bébés humains sont encore des embryons ? Deux des miens ont déjà dépassé cet âge, et j'ai été témoin des joies et des mystères de leur développement physique et psychologique, ce qui ne pourrait se produire dans l'espace confiné et sombre d'un ventre. Je suis donc d'accord avec Portmann en ce qui concerne les éléments de leur croissance physique car, pendant la première année, le rythme de croissance des bébés humains est le même que celui des fœtus chez les primates et les mammifères, non celui de leurs petits¹².

Chez les nouveau-nés humains, par exemple, les extrémités des os et les doigts ne sont pas ossifiés ; les centres d'ossification sont en général totalement inexistantes dans les os des doigts. Ce niveau d'ossification correspond à la dix-huitième semaine du fœtus chez le macaque. Quand les macaques naissent, à vingt-quatre semaines, les os des membres sont ossifiés dans des proportions que les bébés humains n'atteignent que plusieurs années après la naissance. De plus, notre cerveau poursuit sa croissance à un rythme rapide, fœtal, après la naissance. Chez beaucoup de mammifères, le cerveau est, pour l'essentiel, complètement formé quand ils naissent. Chez les autres primates, le développement du cerveau continue au début de la croissance postnatale. À la naissance, le cerveau de l'enfant ne représente que le quart de sa taille définitive. Selon Passingham, « le cerveau de l'homme n'atteint la taille de celui du nouveau-né chez le chimpanzé que six mois après la naissance. Cela correspond exactement à la période à laquelle l'homme devrait naître, si sa gestation représentait une part aussi importante du développement et de l'espérance de vie que chez les singes ».

A.H. Schulz, anatomiste spécialisé dans les primates, conclut son étude comparative de la croissance des primates en ces termes : « Il est évident que l'ontogenèse de l'être humain n'est pas singulière en ce qui concerne la durée de la vie intra-utérine mais elle est très par-

ticulière si l'on se réfère au temps nécessaire à l'achèvement de la croissance et à l'apparition de la sénilité. »

Mais pourquoi les bébés humains naissent-ils plus tôt qu'ils ne le devraient ? Pourquoi l'évolution a-t-elle allongé l'ensemble de notre développement dans des proportions aussi importantes, tout en limitant le temps de gestation, ce qui donne à notre bébé les caractéristiques d'un embryon ? Pourquoi la gestation n'a-t-elle pas été prolongée dans les mêmes proportions que le développement ? D'après Portmann, qui a une conception spiritualiste de l'évolution, cette naissance précoce serait fonction des nécessités intellectuelles. Il estime que les êtres humains doivent quitter l'obscurité rassurante du ventre de leur mère et accéder, toujours à l'état d'embryons, à l'environnement extra-utérin, riche en stimulations sensorielles.

Je pense pour ma part, avec Ashley Montagu et Passingham, que la cause réelle en est un élément que Portmann écarte avec mépris, le considérant comme trop brutalement mécanique et matérialiste.

Tout simplement, l'accouchement est plus difficile chez l'être humain que chez les autres mammifères. En deux mots, il met en œuvre une sévère compression. Nous savons que, chez les primates, il arrive parfois que les femelles meurent en essayant de mettre leurs petits au monde, lorsque la tête du fœtus est trop grosse et ne peut franchir le bassin. A.H. Schulz en veut pour preuve le cas d'un fœtus de babouin et du canal pelvien de sa mère, morte en essayant de le mettre au monde ; la tête de l'embryon est beaucoup trop grosse pour le passage. Schulz en conclut que, dans cette espèce, la taille du fœtus a atteint sa limite : « Alors que la sélection tend indubitablement à favoriser les bassins larges chez la femelle, elle doit également agir contre toute prolongation de la gestation ou, du moins, contre l'apparition de nouveau-nés trop gros. »

Et il n'est pas douteux que les femmes qui pourraient donner naissance à un bébé d'un an ne sont pas nombreuses.

Le coupable dans cette histoire est notre caractéristique évolutive la plus importante : notre gros cerveau. Chez la plupart des mammifères, la croissance du cerveau est un phénomène entièrement fœtal. Mais, du fait que le cerveau n'est jamais très gros, il ne présente pas de difficulté au moment de la naissance. Chez les singes possédant un

gros cerveau, la croissance de celui-ci est un peu retardée, afin qu'il puisse se développer après la naissance, mais cela ne va pas jusqu'à altérer la période de gestation. Le cerveau humain, lui, est si gros que la naissance n'est possible que grâce à une stratégie supplémentaire : la période de gestation doit être plus courte, relativement à l'ensemble du développement, et la naissance doit intervenir alors que le cerveau ne représente qu'un quart de sa taille définitive.

Il est probable que la taille de notre cerveau n'augmentera plus. Le trait dominant de notre évolution a finalement atteint la limite de sa croissance future. Si aucun changement fondamental n'intervient dans la structure du bassin des femmes, nous devons nous contenter de notre cerveau tel qu'il est si nous voulons pouvoir naître. Mais il n'y a pas de quoi s'inquiéter. Nous en avons pour plusieurs millénaires pour apprendre à nous servir de ce potentiel immense que nous commençons à peine à comprendre et à exploiter.

III.

Animaux bizarres et applications de la théorie évolutionniste

9. L'élan d'Irlande mal nommé, mal traité, mal compris

« La nature elle-même semble, par la taille imposante et la majesté des bois qu'elle a donnés à cet animal, l'avoir choisi et lui avoir prodigué ses soins, dans l'intention de le distinguer avec éclat du troupeau des quadrupèdes. »

Thomas Molyneux, 1697.

L'élan irlandais, le Saint Empire romain et le cor anglais forment un ensemble bizarre. Mais leur trait commun est d'être désigné par un nom totalement inadéquat. D'après Voltaire, le Saint Empire romain n'était ni saint ni romain, et ne constituait pas un empire. Le cor anglais est un hautbois continental ; à l'origine, l'instrument était courbe, il s'agissait d'un cor « angulaire », et c'est par déformation que le mot s'est transformé en « anglais ». Quant à l'élan irlandais il ne vivait pas exclusivement en Irlande, et ce n'était pas un élan. C'était le plus gros cerf qui ait jamais vécu. Ses bois énormes étaient encore plus impressionnants que sa taille. En 1697, dans la première description connue, le D^r Molyneux s'étonne de leur importance. En 1842, Rathke emploie pour les décrire un mot contenant en lui-même l'idée d'énormité : *hewunderungswerdig*. On n'a pas fait mieux depuis. La taille des bois de l'élan irlandais n'a jamais été dépassée, ni même égalée, dans l'histoire de la vie. On peut avancer que certains mesuraient plus de 3,60 mètres de large. Ce chiffre paraît plus extraordinaire encore quand on sait que ces bois tombaient et repoussaient probablement chaque année, comme chez tous les cerfs.

En Irlande, on connaît depuis très longtemps l'existence de ces bois fossiles. On les trouve dans les sédiments, sous les couches de tourbe. Avant d'attirer l'attention des hommes de science, ils étaient utilisés pour faire des barrières et servirent même à fabriquer un pont

provisoire, au-dessus d'un ruisseau, dans le comté de Tyrone. On raconte également qu'on en fit un gigantesque feu de joie, dans le comté d'Antrim, pour fêter la défaite de Napoléon à Waterloo. Mais cette histoire est probablement fausse. Si l'on donna à ce cerf le nom d'élan, c'est parce que l'élan européen était le seul animal connu dont les cornes fussent comparables en taille à celles du cerf géant.

Figure 1

Le premier dessin connu de ces bois date de 1588. Près d'un siècle plus tard, on en offrit une paire à Charles II et, d'après Molyneux, « il fut tellement impressionné par leur taille prodigieuse » qu'il les fit accrocher dans la salle des trophées de Hampton Court où « ils dépassent si nettement » les autres en taille, que « le reste semble totalement dépourvu d'intérêt ».

Figure 2

L'exclusivité de l'Irlande disparut en 1746 (mais le nom, lui resta), quand on découvrit un crâne et des bois dans le Yorkshire. Sur le continent, la première découverte date de 1781, en Allemagne, et le premier squelette complet – qui se trouve aujourd'hui au musée d'Édimbourg – fut exhumé dans l'île de Man, aux environs de 1820.

Nous savons maintenant que le territoire du cerf géant s'étendait jusqu'en Sibérie et en Chine, à l'est, et jusqu'en Afrique du Nord, au sud. Les spécimens provenant d'Angleterre, d'Europe et d'Asie sont presque toujours incomplets et la plupart des beaux spécimens, qui font la gloire des musées du monde entier, ont été découverts en Irlande. Le cerf géant a vécu pendant la période glaciaire de ce dernier million d'années, et il est possible qu'il ait survécu jusqu'à l'époque historique ; mais il a disparu d'Irlande il y a environ onze mille ans.

« Parmi tous les fossiles de l'Empire britannique, écrivit James Parkinson en 1811, aucun n'est plus propre à éveiller la curiosité. » Outre les anecdotes pittoresques et l'émerveillement qu'inspire toujours l'énormité, l'importance du cerf géant réside dans sa contribution aux querelles des théoriciens de l'évolution. Tous les grands évolutionnistes se sont servis de lui pour défendre leurs points de vue. La controverse s'est concentrée principalement sur deux questions : la

première touchant à l'utilité de bois aussi imposants, et l'autre aux raisons de sa disparition.

L'extinction de l'élan irlandais a depuis toujours alimenté de nombreuses discussions, et pourtant, curieusement, le premier article de Molyneux était destiné à prouver qu'il existait encore. Au XVII^e siècle, beaucoup d'hommes de science croyaient en effet que la bonté de Dieu était garante de la permanence des espèces. Molyneux écrit dans l'introduction de son article :

« Qu'aucune espèce de créatures vivantes ne soit si complètement éteinte, depuis sa création, qu'elle ait complètement disparu de la surface du globe, est l'opinion de beaucoup de naturalistes ; et cela se fonde sur un principe si bon, selon lequel la Providence prend soin, en général, de toute sa production animale, qu'il mérite notre assentiment. »

Pourtant, il n'y avait plus de cerfs géants en Irlande, et Molyneux fut contraint de chercher ailleurs. Ayant lu, dans des récits de voyageurs, des descriptions de l'élan américain, il conclut qu'il devait s'agir du même animal. La part faite de l'exagération propre à ce genre de récits, et Molyneux ne disposant ni de chiffres ni d'une description détaillée de l'élan américain, ses conclusions ne sont pas aussi absurdes qu'on pourrait le croire aujourd'hui. Et Molyneux attribue la disparition du cerf géant de la terre irlandaise à une « maladie contagieuse » causée par « la mauvaise qualité de l'air ».

Plus le nombre des fossiles exhumés par les géologues augmentait, plus il devenait difficile de croire que ces créatures étranges existaient toujours, fût-ce dans les régions les plus reculées. Dieu n'avait peut-être pas créé d'un seul coup, et pour toujours ; peut-être n'avait-il jamais cessé de créer et de détruire. S'il en était ainsi, le monde avait probablement plus de six mille ans, contrairement à ce qu'affirmaient les littéralistes.

Le problème de l'extinction fut le premier champ de bataille important de la paléontologie moderne. En Amérique, Thomas Jefferson soutint la conception traditionnelle, cependant qu'en France, Cuvier établissait, grâce à l'élan d'Irlande, l'extinction des espèces. En 1812, Cuvier résolut deux problèmes fondamentaux. Par une description anatomique très précise, il démontra que l'élan irlandais ne res-

semblait à aucun animal connu et, en le replaçant parmi les fossiles de mammifères sans contrepartie moderne, il prouva que l'extinction avait bien eu lieu, jetant ainsi les bases de la chronologie géologique.

Une fois acquis le principe de l'extinction, le débat se concentra sur l'époque à laquelle elle s'était produite : l'élan irlandais avait-il ou non survécu au déluge ? Le problème n'était pas dépourvu d'intérêt, car si l'on répondait par la négative, on pouvait expliquer son extinction par une cause naturelle (ou surnaturelle). L'archidiacre Maunsell, amateur éclairé, écrivit en 1822 : « Je crois qu'il a été détruit par un gigantesque déluge. » Un certain Mac Culloch prétendait même qu'on avait découvert les fossiles debout, le nez en l'air... ultime effort pour combattre la montée des eaux et ultime prière : « Faites qu'il n'y ait pas de vagues ! »

Cependant, s'il avait survécu au déluge, son ange exterminateur ne pouvait être que l'homme lui-même. Gideon Mantell, en 1851, accusa les tribus celtes ; en 1830, Hibbert en avait rendu responsables les Romains et les massacres extravagants des jeux du cirque. Contrairement à ce que nous croyons, notre potentiel de destruction est connu depuis longtemps, puisque Hibbert écrivait en 1830 : « D'après Sir Thomas Molyneux, une sorte de maladie, une peste contagieuse, aurait fait disparaître l'élan irlandais... On peut toutefois se demander si l'espèce humaine ne s'est pas révélée souvent aussi redoutable qu'une maladie contagieuse en exterminant, dans certaines régions, des races entières d'animaux sauvages. »

En 1846, le plus grand paléontologiste britannique, Sir Richard Owen, passa tous les éléments en revue et conclut que, en Irlande du moins, le cerf géant s'était éteint avant l'arrivée de l'homme. À cette époque, on ne considérait plus le déluge comme une conception géologique sérieuse. Alors, pourquoi le cerf géant avait-il disparu ?

Charles Darwin publia *l'Origine des espèces* en 1859. Dix ans plus tard, presque tous les hommes de science avaient accepté l'idée de l'évolution. Mais le problème des causes et du fonctionnement tel que le posait Darwin ne fut pas résolu avant les années quarante. Selon la théorie darwinienne de la sélection naturelle, tout changement doit être facteur d'adaptation, c'est-à-dire qu'il doit être utile à l'organisme. Les adversaires de Darwin cherchèrent donc à mettre en évi-

dence, grâce aux fossiles, des cas où l'évolution n'aurait pas profité aux animaux en question.

Les paléontologistes opposés à Darwin s'appuyèrent sur la théorie de l'orthogénèse d'après laquelle l'évolution se déroule en ligne droite et ne peut être contrôlée par la sélection naturelle. Certaines tendances, une fois dégagées, ne peuvent être contrariées, même si elles conduisent à l'extinction. Ainsi, disait-on, les deux valves de certaines huîtres se sont enroulées l'une sur l'autre, si bien que l'animal se trouva finalement enfermé à l'intérieur ; le « tigre » au cours de l'évolution fut incapable d'arrêter la croissance de ses dents, le mammoth celle de ses défenses.

Mais l'élan irlandais est de loin l'exemple préféré des orthogénétiens. D'après eux, le cerf géant descendait d'espèces de petite taille, possédant des bois plus petits. Les bois étaient utiles au début, mais il devint impossible de contrôler leur croissance et, tel l'apprenti sorcier, le cerf géant comprit trop tard que les meilleures choses ont une fin. Ployant sous le fardeau de leurs excroissances crâniennes, empêtrés dans les arbres, noyés dans les marais, tous moururent. Pourquoi l'élan irlandais a-t-il disparu ? Tout simplement à cause de la taille de ses bois.

En 1925, le paléontologiste américain R.S. Lull se servit du cerf géant pour attaquer Darwin : « La sélection naturelle ne peut expliquer la sur-spécialisation, expliqua-t-il, car, s'il est vrai que la sélection est capable d'amener un organe à sa perfection, jamais elle n'accentuerait le développement de celui-ci dans des proportions telles qu'il devienne une menace pour la survie de l'espèce. »

Dans les années trente, sous la conduite de Julian Huxley, les partisans de Darwin contre-attaquèrent. Huxley fit observer que, lorsque la taille des cerfs augmente, que ce soit pendant la croissance de l'animal lui-même ou en comparant des adultes de tailles différentes, les bois ne se développent pas dans les mêmes proportions que le corps ; ils augmentent plus rapidement. Les bois des cerfs de grande taille sont plus grands que ceux des individus de petite taille, non seulement dans l'absolu, mais aussi en fonction de la corpulence de l'animal. Pour définir ce rapport, Huxley a employé le terme d'allométrie.

L'allométrie rendait facilement compte des bois du cerf géant. Puisque l'élan irlandais était plus gros que tous les autres cerfs, il était possible que ses bois énormes ne soient que le résultat de la fonction allométrique commune à tous les cerfs. Il suffit de supposer que l'augmentation de la taille a été favorisée par la sélection naturelle ; le développement des bois en aurait été la conséquence automatique. Peut-être s'étaient-ils révélés légèrement malcommodes en eux-mêmes, mais cet inconvénient était largement compensé par les avantages de la taille, et la tendance s'était poursuivie. Évidemment, quand les problèmes posés par la taille des bois auraient compromis les avantages procurés par la taille du corps, la tendance aurait disparu, car elle n'aurait plus été favorisée par la sélection naturelle.

Presque tous les ouvrages de référence modernes présentent l'élan irlandais dans cette optique et citent l'argument allométrique pour réfuter les théories orthogénétiques. Comme j'étais un étudiant plein de confiance, je supposais qu'une telle unanimité ne pouvait reposer que sur de nombreuses constatations. Je découvris plus tard que le dogme des ouvrages de référence se perpétue de lui-même. Il y a trois ans, je fus déçu, mais pas tellement surpris, de constater que cette explication, à laquelle on fait si souvent référence, ne repose sur aucune constatation chiffrée. Le mètre à la main, j'entrepris de reprendre les choses à zéro.

Le Muséum national d'Irlande, à Dublin, expose dix-sept spécimens, mais il en possède beaucoup d'autres, empilés les uns sur les autres, dans un entrepôt voisin. Presque tous les grands musées d'Europe occidentale et d'Amérique possèdent un élan irlandais, et le cerf géant orne les demeures de la noblesse anglaise et irlandaise. Le plus grand se trouve dans le hall d'entrée d'Adare Manor, demeure du comte de Dunraven. Le squelette le plus décrépité occupe la cave du château de Bunratty, où des touristes joyeux, et un peu éméchés, viennent prendre le café chaque soir, après avoir participé à un banquet médiéval. Le pauvre animal, lorsque je l'ai rencontré le lendemain matin, fumait le cigare et avait perdu deux dents. Il y avait trois tasses en équilibre sur ses bois. Pour ceux qui aiment les comparaisons odieuses, Yale possède les plus grands bois d'Amérique et Harvard les plus petits du monde.

Pour déterminer qu'il existe bien un rapport allométrique entre la taille des bois et celle du corps, j'ai fait la comparaison. Pour la taille des bois, j'ai utilisé un système de mesure fondé sur la longueur et la largeur ainsi que sur la longueur des branches principales. La longueur du corps, ou la longueur et l'épaisseur des principaux os constituent sans aucun doute les meilleurs moyens d'apprécier la taille d'un animal, mais il m'était impossible de les employer parce que les spécimens, dans leur immense majorité, ne comportent que le crâne et les bois qui y sont fixés. De plus, les quelques squelettes complets sont invariablement composés de plusieurs animaux, de plâtre et, parfois, d'un ersatz. Le premier squelette, exposé à Édimbourg, était doté d'un bassin de cheval.

Je me suis donc basé sur la longueur du crâne pour estimer la taille de l'animal. Le crâne atteint sa taille définitive très tôt (tous mes spécimens sont âgés) et celle-ci ne varie plus par la suite ; c'est donc un bon moyen pour estimer la taille totale. J'ai mesuré soixante-dix-neuf crânes et bois, dans les musées et les châteaux d'Irlande, de Grande-Bretagne, d'Europe occidentale et des États-Unis.

Figure 3

Les résultats ainsi obtenus ont mis en évidence une correspondance entre la taille des bois et celle du corps : la taille des bois augmente deux fois et demie plus rapidement que celle du corps chez les mâles, du plus petit au plus grand. Cela ne s'applique pas à la croissance d'un individu particulier, il s'agit d'une relation portant sur des adultes de tailles différentes. Voici donc confirmée l'hypothèse allométrique. La sélection naturelle a favorisé les cerfs de grande taille et les bois se sont développés en proportion, mais il s'agit d'une conséquence annexe, en elle-même dépourvue de signification.

Pourtant, alors même que se vérifiait la relation allométrique, j'en vins à douter de l'explication traditionnelle. Il se trouve en effet qu'elle subit curieusement l'influence du point de vue orthogénétique. Elle suppose que les bois eux-mêmes ne représentaient pas une adaptation et n'étaient tolérés qu'en raison des avantages immenses procurés par la taille de l'animal. Mais pourquoi supposer que ces bois énormes n'avaient aucune fonction au premier degré ? L'interprétation contraire est tout aussi possible : la sélection se serait exer-

cée en premier lieu sur la taille des bois, entraînant une augmentation de la taille de l'animal tout entier. L'idée suivant laquelle les bois n'étaient pas un facteur d'adaptation ne repose que sur l'étonnement né de leur taille.

Les conceptions abandonnées depuis longtemps continuent souvent d'exercer subtilement leur influence. L'argument orthogénétique se retrouve dans le contexte allométrique destiné à le remplacer. Je crois que l'idée de bois « malcommodes » ou « encombrants » est une illusion, dont les racines remontent à des idées actuellement abandonnées par ceux qui étudient le comportement des animaux.

Pour les darwiniens du XIX^e siècle, la nature est cruelle. Le succès se mesure au nombre de batailles gagnées et d'ennemis détruits. Dans ce contexte, on concevait les bois comme des armes redoutables, utiles contre les prédateurs et les mâles rivaux. Dans *la Descendance de l'homme* (1871), Darwin a proposé une autre explication : selon lui, la fonction des bois aurait été d'attirer les femelles. « Si donc, écrit-il, les cornes, comme les costumes chamarrés des chevaliers de jadis, ajoutent à la prestance des cerfs et des antilopes, il est possible qu'elles se soient modifiées dans ce but. » Cependant, il s'empresse d'ajouter qu'il ne peut « apporter aucun élément à l'appui de cette idée » et poursuit l'interprétation dans le cadre de la « loi du combat » et de leur supériorité dans « les fréquents combats à mort ». Tous les spécialistes supposaient que l'élan irlandais se servait de ses bois pour tuer les loups et chasser les mâles rivaux, au terme de violents combats. À ma connaissance, ce point de vue n'est contesté que par le paléontologiste russe L.-S. Davitachvili, qui a montré, en 1961, que le rôle principal des bois était bien d'attirer les femelles.

Si les bois sont effectivement des armes, l'argument orthogénétique est séduisant, car il faut convenir que 45 kilos de bois palmés, renouvelés chaque année et mesurant 3,50 mètres d'une extrémité à l'autre constituent bien une manière d'aberration. Il faut donc s'en tenir à l'hypothèse allométrique dans sa forme originale, si l'on veut conserver une explication darwinienne.

Mais que se passe-t-il si l'on ne considère pas les bois comme des armes ? Des recherches récentes sur le comportement des animaux

sont à l'origine d'une idée passionnante, qui ne manquera pas d'influencer profondément la biologie de l'évolution. Certaines structures, que l'on prenait autrefois pour des armes ou des ornements destinés à attirer les femelles, jouent en réalité un rôle dans les combats ritualisés que se livrent les mâles rivaux. Leur fonction est d'empêcher les combats d'avoir lieu avec les blessures et les morts qu'ils entraînent, en établissant une hiérarchie incontestable et évidente, à laquelle les mâles se conforment.

Les bois et les cornes sont le type même de structure destinée aux comportements rituels. Selon Valerius Geist, « ce sont des symboles visuels de domination ». Des bois de grande taille sont la garantie d'un statut élevé et de l'accès aux femelles. Puisque rien n'est plus apte à assurer le succès de la reproduction, les pressions sélectives en vue de favoriser les bois de grande taille sont certainement très intenses. Plus on étudie les animaux à cornes dans leur milieu naturel, plus l'idée du combat à mort cède du terrain devant l'observation de comportements ritualisés, sans contact physique, ou de combats se déroulant suivant un code destiné à réduire les risques de blessure. Beninde et Darling l'ont constaté chez le cerf, Kelsall chez le caribou et Geist chez le mouflon des Rocheuses.

En tant que dispositifs destinés à impressionner les mâles rivaux, on peut finalement considérer les bois gigantesques de l'élan d'Irlande comme des structures adaptatives. De plus, comme me l'a fait remarquer R. Coope, de l'université de Birmingham, c'est la première explication permettant de rendre compte de la morphologie des bois en supposant que leur rôle consistait à être vu et cela dans toute leur largeur. Le daim, que beaucoup considèrent comme le plus proche parent de l'élan d'Irlande, doit tourner la tête pour montrer ses bois palmés. Cela aurait posé de gros problèmes au cerf géant, parce que la rotation de 45 kilos de bois aurait déséquilibré l'animal. Mais les bois de l'élan irlandais étaient conçus de telle sorte que la totalité de leur architecture était visible quand l'animal regardait droit devant lui. On peut donc expliquer la structure et la taille des bois en supposant que leur rôle consistait à être vu et qu'ils ne servaient pas au combat.

Mais si les bois étaient adaptatifs, pourquoi l'élan irlandais a-t-il disparu – en Irlande du moins ? J'ai bien peur que la réponse ne manque totalement d'originalité. Nous savons que l'élan d'Irlande a gagné ce pays au cours de l'époque glaciaire précédente, quand, le niveau de la mer ayant baissé, les îles Britanniques se sont trouvées reliées à l'Europe continentale. Et il ne l'a occupée qu'un temps très bref, à la fin de la dernière glaciation, pendant une période que l'on appelle la phase Alleröd. Cette période chaude, de courte durée, entre deux époques froides, a duré environ mille ans, entre 13 000 et 12 000 avant notre ère. Bien qu'il fût correctement adapté au paysage peu boisé de la phase Alleröd, il semble que le cerf géant n'ait pas pu survivre dans la toundra subarctique de la période suivante ou dans les forêts denses qui se développèrent après que les glaces se furent définitivement retirées.

L'extinction est le destin de presque toutes les espèces, le plus souvent parce qu'elles ne peuvent pas s'adapter aux variations climatiques ou à la concurrence d'autres espèces. Selon l'évolution darwinienne, les structures défavorables ne peuvent pas se développer, mais rien ne prouve que les structures favorables le resteront dans un nouvel environnement. L'élan d'Irlande a probablement été victime de son propre succès. *Sic transit gloria mundi* (Ainsi passe la gloire du monde).

10.

La sagesse biologique, ou pourquoi certaines mouches mangent leur mère

L'homme ayant créé Dieu à son image, il n'est pas étonnant que la doctrine de la création des espèces ait toujours réussi à rendre compte des adaptations que nous sommes capables de comprendre intuitivement. Peut-on prétendre que les animaux ne sont pas parfaitement conçus pour remplir le rôle qui leur est assigné, en regardant une lionne chasser, un cheval courir ou un hippopotame se vautrer dans la boue ?

La théorie de la sélection naturelle n'aurait donc jamais remplacé la doctrine de la création si ce type d'adaptation parfaite était fréquent dans la nature. Darwin l'avait bien compris, et il fit porter ses efforts sur les structures qui paraissent déplacées dans un monde régi par une sagesse infailible. Pourquoi, par exemple, un architecte intelligent aurait-il créé, pour la seule Australie, l'ordre des marsupiaux, qui joue le même rôle que les mammifères à placenta sur les autres continents ? Darwin a même consacré un livre entier aux orchidées pour démontrer que les structures destinées à assurer la fécondation, par l'intermédiaire des insectes, sont bricolées à partir d'éléments dont les ancêtres se servaient dans un autre dessein. Un bon ingénieur aurait certainement fait mieux.

Ce principe est toujours vrai. Le meilleur exemple d'adaptation par évolution est celui qui choque le plus notre intuition par son étrangeté et sa bizarrerie. La science n'est pas « le bon sens systématisé ». Pour être passionnante, elle doit remettre en question notre vi-

sion du monde et opposer des théories solides aux vieux préjugés anthropocentristes que nous appelons intuition.

Prenons le cas des mouches de la famille des cécidomyidés, provoquant des galles chez les végétaux. La vie telle que l'expérimentent ces mouches minuscules provoque une impression de douleur et de dégoût si nous lui appliquons les critères de nos propres conduites sociales.

Les mouches cécidomyidées peuvent grandir et se reproduire de deux manières différentes. Dans certaines conditions, elles se développent, d'abord dans des œufs, puis se métamorphosent en larve et en chrysalide avant de devenir des mouches ordinaires, capables de se reproduire sexuellement. Mais d'autres fois, les femelles se reproduisent par parthénogenèse et donnent naissance à leurs petits sans avoir été fécondées. La parthénogenèse est assez fréquente chez les animaux, mais celle des mouches cécidomyidées est particulièrement originale. Tout d'abord, les femelles parthénogénétiques arrêtent très tôt leur développement. Elles ne parviennent jamais au stade de mouche adulte, mais se reproduisent à l'état de larve ou de chrysalide. Ensuite, ces femelles ne pondent pas d'œufs. Les petits se développent à l'intérieur même de la mère, ne reçoivent aucune nourriture et ne se trouvent pas dans un utérus. Ils occupent les tissus de la mère et finissent par emplir son corps tout entier. Pour assurer leur croissance, ils dévorent les entrailles de leur mère. Ils naissent quelques jours plus tard. Il ne reste plus alors de leur unique parent qu'une enveloppe chitineuse. Et, quelques jours plus tard, leurs propres enfants commencent déjà à les dévorer.

Pourquoi un mode de reproduction aussi étrange ? Car il est exceptionnel chez les insectes, et pas seulement par rapport à nos propres critères. Quelle est, du point de vue de l'adaptation, la signification d'un mode de vie aussi radicalement contraire à ce que nous croyons, intuitivement, bon ?

Pour répondre à cette question, il nous faut trouver un système génétiquement comparable, mais adapté à un mode de vie différent. Heureusement, le cycle complexe des cécidomyidés nous en donne la possibilité. Il est inutile de comparer la mère larvaire et asexuée à une espèce voisine qui, nécessairement, ne sera pas tout à fait semblable

sur le plan génétique. En revanche, il est possible de l'étudier par rapport à l'autre manifestation, génétiquement semblable, de la même espèce : la mouche normale, sexuée. Qu'est-ce qui différencie, sur le plan écologique, la forme parthénogénétique de la forme normale ?

Les cécidomyidés vivent sur les champignons et s'en nourrissent. La mouche normale, mobile, remplit les fonctions d'explorateur : elle découvre de nouveaux champignons. Sa descendance, installée sur une abondante provision de nourriture, se reproduit asexuellement, à l'état de larve ou de chrysalide, et devient la manifestation immobile, occupée uniquement à se nourrir, de l'espèce. Un seul champignon peut en effet, subvenir aux besoins de plusieurs centaines de ces minuscules mouches. Nous savons que la reproduction parthénogénétique continuera aussi longtemps qu'il y aura suffisamment de nourriture. On a ainsi réussi à obtenir en laboratoire 250 générations larvaires consécutives, en assurant la nourriture et en empêchant la surpopulation. Dans la nature, cependant, le champignon finit toujours par être entièrement consommé.

H. Ulrich et ses collaborateurs ont étudié les réactions de la *Myco-phila speyeri* à la diminution de la quantité de nourriture disponible. Quand la nourriture est abondante, les mères parthénogénétiques ne produisent que des femelles. Lorsque la quantité de nourriture diminue, on obtient uniquement des mâles, ou un mélange de mâles et de femelles. Si la larve ne trouve pas à se nourrir, elle devient une mouche normale.

Ces observations montrent nettement en quoi consiste l'adaptation. La femelle parthénogénétique, incapable de se déplacer, ne quitte pas le champignon, et se nourrit. Quand les réserves sont épuisées, elle produit des descendants pourvus d'ailes, qui partent à la recherche de nouveaux champignons. Mais cela ne résout pas notre problème, parce que ça ne répond pas à la question principale : pourquoi se reproduire aussi rapidement, à l'état de larve ou de chrysalide, et pourquoi s'autodétruire, dans un sacrifice suprême, au bénéfice de ses descendants ?

Je crois que la solution de ce problème se trouve dans les mots « aussi rapidement ». La théorie évolutionniste traditionnelle a dirigé ses recherches vers l'adaptation morphologique. Dans ce cas, quels

avantages les mangeurs de champignons tirent-ils de la conservation d'une morphologie juvénile chez les femelles reproductrices ? La théorie traditionnelle s'est montrée incapable de résoudre ce problème, parce qu'elle cherchait dans une mauvaise direction. Au cours de ces quinze dernières années, le développement de l'écologie théorique des populations a transformé l'étude de l'adaptation. Les évolutionnistes se sont rendu compte que les organismes ne s'adaptent pas seulement par altération de la taille ou de la morphologie, mais agissent également sur leur rythme de vie et sur l'énergie investie dans différentes activités – nourriture, croissance, reproduction, par exemple. On appelle ces ajustements des « stratégies du mode de vie ».

Les organismes produisent des stratégies différentes pour s'adapter à des types différents d'environnement. De toutes les théories qui lient stratégie et environnement, celle de la sélection r et K , mise au point par R.H. Mac Arthur et E.O. Wilson, dans les années soixante, est certainement la plus convaincante.

L'évolution telle que la présentent les ouvrages de référence et la presse à gros tirage est un processus d'amélioration physique continue : les animaux vivent « en harmonie » avec leur environnement grâce à la sélection des individus les mieux adaptés. Mais certains types d'environnement ne provoquent pas une telle réaction. Imaginons une espèce vivant dans un environnement qui lui impose une mortalité catastrophique à intervalles irréguliers – des étangs qui s'assèchent, ou des hauts-fonds agités par des tempêtes, par exemple. Ou bien que la nourriture soit éphémère et difficile à trouver, mais extrêmement abondante une fois localisée. Les organismes ne peuvent pas s'harmoniser à un tel environnement. Il est trop instable pour qu'on puisse s'y adapter. Dans de telles conditions, il vaut mieux investir son énergie dans la reproduction, fabriquer la plus grande quantité possible de descendants, aussi rapidement que possible, afin d'être sûr que certains d'entre eux au moins survivront à la catastrophe ; se reproduire à un train d'enfer tant qu'il y a de la nourriture, car cela ne durera pas longtemps, pour qu'une partie de la progéniture survive et en découvre de nouveau.

Pour les pressions sélectives tendant à favoriser l'effort de reproduction au détriment de l'adaptation morphologique, on parle de « sélection r ». Les organismes ayant choisi ce type d'adaptation emploient une *stratégie r* ³. Les espèces vivant dans un environnement stable, dont la population est proche du maximum toléré par l'environnement, n'ont pas intérêt à produire des hordes de descendants à peine formés. Il vaut mieux élever un petit nombre de descendants bien adaptés. Dans le cas de ces espèces, on parle de stratégie K – K étant la « tolérance » de l'environnement dans le même ensemble d'équations.

La larve parthénogénétique de la mouche cécidomyidée vit dans un environnement de type r . Les champignons sont de petite taille et très éloignés les uns des autres, mais ils représentent une énorme quantité de nourriture pour une mouche aussi minuscule. La mouche cécidomyidée a donc intérêt à se servir du champignon qu'elle vient de découvrir pour se reproduire aussi rapidement que possible. Et quel est le meilleur moyen de se reproduire rapidement ? Les mouches doivent-elles se contenter de pondre davantage d'œufs, ou doivent-elles se reproduire le plus tôt possible ? Ce problème d'ordre général a inspiré beaucoup d'articles aux écologistes portés sur les mathématiques. Dans la plupart des cas, l'avancement de l'âge de la reproduction est la garantie d'un accroissement rapide de la population. Un abaissement de 10 % de l'âge de la première reproduction donne le même résultat qu'un accroissement de 100 % de la fécondité.

Il est donc finalement possible de comprendre la bizarre reproduction de la mouche cécidomyidée : elle s'est remarquablement adaptée en se reproduisant très tôt et en réduisant considérablement la durée de chaque génération. Elle a su mettre au point une stratégie habile, dans un environnement r classique, comportant des réserves de nourriture à la fois éphémères et très abondantes. Elle se reproduit sous forme de larve et, aussitôt après l'éclosion, se met à fabriquer, en elle-même, la génération suivante. Chez *Mycophila speyeri*, par exemple, l'individu parthénogénétique ne subit qu'une seule métamorphose, se reproduit au stade de la larve et peut fabriquer jusqu'à 38 descendants en cinq jours. Il faut deux semaines à l'adulte normal, sexué, pour se développer. Les larves reproductrices sont in-

croyablement efficaces. Cinq semaines après avoir été introduite dans une cave à champignons de couche, *Mycophila speyeri* peut atteindre la densité de 70 000 larves au mètre carré.

On peut revenir à la méthode comparative pour se convaincre que cette explication est bien la bonne. D'autres insectes, qui vivent dans un environnement comparable, ont un mode de vie semblable à celui des cécidomyidés. Les aphidés (pucerons) se nourrissent de la sève des feuilles. La feuille représente, pour ces minuscules insectes, ce que représente le champignon pour le moucheron cécidomyidé : une grande quantité de nourriture qu'il faut transformer aussi rapidement que possible en aphidés. Il existe des formes parthénogénétiques chez tous les aphidés, avec ou sans ailes¹⁴. Naturellement, la forme sans ailes ne fait rien d'autre que manger et se reproduire. Bien que ce ne soit pas une larve, ses caractéristiques morphologiques sont, sur bien des points, celles de la jeunesse. Elle est également capable de se reproduire très tôt. En fait, l'embryon commence de se développer à l'intérieur de la mère avant la naissance de celle-ci, et il arrive que deux générations se télescopent à l'intérieur d'une même « grand-mère ». Leur aptitude à se multiplier rapidement est légendaire. Si tous ses descendants survivaient et se reproduisaient, une seule femelle d'*Aphis fabae* produirait 524 milliards de descendants en un an. Des aphidés pourvus d'ailes apparaissent quand la feuille est usée. Ils volent jusqu'à une autre feuille, où leurs descendants reviennent à la forme sans ailes, et la succession rapide des générations reprend.

Ce qui, au départ, paraissait inexplicable, semble maintenant parfaitement raisonnable. Il est probable que c'est la stratégie la mieux adaptée à certains environnements. Mais nous ne pouvons pas l'affirmer, car nous savons trop peu de chose de la biologie des cécidomyidés. Cependant, on remarquera que la même stratégie est employée par un animal complètement différent, le scarabée *Micromalthus debilis*. Ce scarabée vit dans le bois humide, pourrissant, et s'en nourrit. Quand le bois sèche, apparaît une forme sexuée qui part à la recherche de nouvelles ressources. La forme qui ne quitte pas le bois humide possède les mêmes caractéristiques d'adaptation que les cécidomyidés. Elle se reproduit très tôt. Le petit se développe à l'intérieur de la mère et finit par la dévorer. Les mères produisent trois types de

descendance : uniquement des femelles quand la nourriture est abondante, des mâles seulement ou un mélange de mâles et de femelles, quand les réserves s'épuisent.

Les êtres humains, avec leur développement lent, leur longue gestation et la taille de leurs portées réduite au minimum, utilisent habituellement la stratégie K . Les stratégies employées par d'autres organismes peuvent paraître étranges et inquiétantes, mais il est certain que, dans leur environnement sélectif r , les cécidomyidés utilisent la bonne méthode.

11.

Les bambous, les cigales et l'économie selon Adam Smith

La nature parvient généralement à faire mieux que les légendes humaines les plus invraisemblables. La Belle au bois dormant a attendu son prince pendant cent ans. Selon Bettelheim, la piqûre au doigt symbolise l'apparition de la première menstruation et le sommeil, la léthargie de l'adolescence, qui précède l'éveil de la maturité. Puisque la Belle au bois dormant a été fécondée par un roi et non simplement embrassé par un prince, on peut dire que son réveil a marqué le début de sa maturité sexuelle.

Un bambou, qui porte le nom extravagant de *Phyllostachys bambusoïdes*, a fleuri en Chine en l'an 999. Depuis, avec une régularité qui ne s'est jamais démentie, il a continué de fleurir et de libérer des graines une fois tous les cent vingt ans environ. *P. bambusoïdes* se conforme à ce cycle quel que soit l'endroit où il se trouve. Vers la fin des années soixante, une population japonaise (importée elle-même de Chine des siècles auparavant) a fleuri simultanément au Japon, en Angleterre, en Alabama et en Russie. La comparaison avec la Belle au bois dormant n'est pas tirée par les cheveux, car la reproduction sexuelle intervient, chez ces bambous, après plus d'un siècle de célibat. Mais *P. bambusoïdes* s'éloigne des frères Grimm sur deux points importants. D'une part, les plantes ne sont pas inactives pendant leur sommeil de cent vingt ans, car ce sont des herbes, et elles se propagent en produisant de nouvelles pousses à partir de rhizomes souterrains. D'autre part, elles ne vivent pas heureuses et n'ont pas beaucoup d'enfants, car elles meurent après avoir libéré leurs graines...

L'écologiste Daniel H. Janzen, de l'université de Pennsylvanie, raconte l'histoire étrange du *Phyllostachys* dans un article récent : « Pourquoi les bambous fleurissent si rarement¹⁵ ». Chez la plupart des espèces, la période de croissance végétative séparant deux floraisons est plus courte, mais la synchronisation de la libération des graines est la règle, et rares sont les espèces qui laissent passer moins de quinze ans entre deux floraisons.

La floraison d'une espèce est réglée par une horloge intérieure et ne lui est jamais imposée de l'extérieur par l'environnement. La régularité infaillible des intervalles en est la meilleure preuve car, à notre connaissance, aucun facteur environnemental ne possède un cycle assez régulier pour produire les divers rythmes de floraison de plus d'une centaine d'espèces. De plus, les plantes appartenant à une même espèce fleurissent simultanément, même lorsqu'elles se trouvent dans des environnements très différents. Janzen cite le cas d'un bambou birman qui ne mesurait qu'une trentaine de centimètres de haut parce qu'il avait été plusieurs fois détruit par des incendies de forêt, mais qui a fleuri en même temps que ses congénères, hauts de 12 mètres, qui n'avaient pas été touchés.

Comment le bambou fait-il pour compter les années ? Selon Janzen, il ne mesure pas les quantités de nourriture accumulées, puisque les spécimens nains, à demi morts de faim, fleurissent en même temps que les géants débordants de santé. Il suppose que le calendrier « doit être fonction de l'accumulation ou de la dégradation d'un produit chimique sensible à la lumière et non à la température ». Rien ne lui permet de dire si le cycle est diurne (jour-nuit) ou annuel (saisonnier). À l'appui de son hypothèse, Janzen fait remarquer qu'aucun bambou à cycle correct ne pousse à l'intérieur d'une bande délimitée par les parallèles 5°N et 5°S, car autour de l'équateur les variations dans les jours et les saisons sont très faibles.

Le mode de floraison du bambou évoque un autre phénomène périodique plus connu : celui des cigales « périodiques ». Le mode de vie de ces cigales est encore plus extraordinaire qu'on ne le croit généralement. Dans toute la moitié orientale des États-Unis (sauf dans les États du Sud, où un groupe d'espèces similaires émerge tous les treize ans), la nymphe vit sous terre pendant dix-sept ans, se nourris-

sant de la sève contenue dans les racines des arbres. Puis, en quelques semaines, des millions de nymphes parvenues à maturité sortent de terre, deviennent adultes, s'accouplent, pondent et meurent¹⁶. Le plus remarquable est que non pas une, mais trois espèces différentes de cigales suivent précisément le même rythme et sortent de terre exactement en même temps. Il arrive que certaines populations soient déphasées. Les nymphes ne sortent pas de terre en même temps dans la région de Chicago et en Nouvelle-Angleterre. Mais le cycle de dix-sept ans (treize ans dans le Sud) est commun à toutes les « portées », et les trois espèces sortent toujours en même temps dans un endroit donné. Janzen admet que les cigales et les bambous, malgré la distance qui les sépare, biologiquement et géographiquement, posent le même problème d'évolution. Les recherches actuelles, écrit-il, « ne mettent en évidence aucune différence qualitative entre ces insectes et les bambous, sauf, peut-être, en ce qui concerne la méthode utilisée pour comptabiliser les années ».

Pourquoi cette synchronisation, et pourquoi un si long intervalle entre deux périodes de reproduction sexuelle ? Comme je l'ai dit en rapportant les habitudes matricides de certaines mouches, la validité de la théorie de la sélection naturelle n'est jamais mieux démontrée que lorsqu'elle permet d'expliquer d'une manière satisfaisante ce qui, de prime abord, nous paraît étrange et dénué de sens.

Dans ce cas, nous sommes confrontés à un problème qui dépasse l'excentricité apparente d'un tel gaspillage (car très peu de graines peuvent germer sur un sol aussi saturé). Il semble que la floraison et la sortie de terre procèdent d'un programme concernant l'espèce dans son ensemble, et non plus les individus qui la composent. Pourtant, la théorie darwinienne repose sur l'idée que chaque individu ne sert que son intérêt personnel, c'est-à-dire la transmission de ses gènes aux générations suivantes. Nous devons nous demander quel avantage une cigale ou un bambou tirent de la synchronisation de la reproduction sexuelle.

C'est un peu le même problème que celui qu'eut à résoudre Adam Smith quand il se prononça pour la politique du laisser-faire, la considérant comme le meilleur moyen de promouvoir une économie harmonieuse. L'économie idéale, d'après Smith, bien que structurée

et équilibrée, apparaîtrait « naturellement » comme une conséquence directe de l'interaction des individus, qui ne cherchent qu'à agir au mieux de leurs intérêts particuliers. Ce qui paraît être la volonté d'accéder à une harmonie plus élaborée n'est, selon la métaphore célèbre d'Adam Smith, que l'action d'une « main invisible ».

« Comme l'individu [...] en organisant son activité de telle sorte que ce qu'il produit a davantage de valeur, ne recherche que son intérêt personnel, il est, dans tous les cas, poussé, par une main invisible, à atteindre des objectifs qui n'entraient pas dans ses intentions... Il lui arrive souvent, en recherchant son intérêt personnel, de servir celui de la société plus efficacement que lorsqu'il cherche effectivement à la servir. »

Puisque Darwin a appliqué à la nature l'idée d'Adam Smith, il nous faut chercher l'explication de l'harmonie dans les avantages qu'elle confère aux individus. Donc, que gagnent une cigale ou un bambou donnés à ne s'adonner au sexe que si rarement, et en même temps que leurs congénères ?

La biologie humaine donne souvent une idée fautive des difficultés que doivent surmonter les autres organismes. Les êtres humains sont des animaux à développement lent. Ils investissent de grandes quantités d'énergie dans la conception d'un très petit nombre de descendants, qui ne deviennent adultes que très tard. Nos populations ne sont pas tributaires de la mort massive de presque tous leurs jeunes.

Mais il ne faut jamais oublier que beaucoup d'organismes emploient une stratégie différente dans la « lutte pour la vie » : ils produisent des quantités énormes de graines et d'œufs en espérant – pour ainsi dire – que quelques-uns survivront aux rigueurs des premiers jours. Ces organismes sont sous la coupe de leurs prédateurs et, pour se défendre, ils doivent élaborer une stratégie réduisant au minimum le risque d'être dévoré. Or beaucoup d'animaux semblent particulièrement friands de cigales et de graines de bambou.

Les sciences naturelles, dans une large mesure, ont mis en évidence les différents types d'adaptation qui permettent de déjouer les prédateurs. Certains animaux se dissimulent, d'autres sentent mauvais, d'autres encore ont des piquants ou d'épaisses carapaces ; la liste est pratiquement interminable, et il faut en rendre hommage à la

variété de la nature. Les graines de bambou et les cigales emploient une stratégie peu commune : elles sont absolument offertes sans défense, mais si rarement et en si grande quantité que les prédateurs sont dans l'incapacité de tout consommer. Les biologistes de l'évolution appellent cette méthode de défense la « saturation du prédateur ».

Pour être efficace, cette stratégie doit reposer sur deux adaptations. Premièrement, la synchronisation de la production doit être parfaite – de telle sorte que le marché soit réellement saturé – et ne pas durer longtemps. Deuxièmement, il faut que cette situation ne se produise que rarement, de peur que les prédateurs n'adaptent leur cycle de vie aux périodes d'abondance. Si les bambous fleurissaient tous les ans, les animaux qui se nourrissent des graines découvriraient l'existence du cycle et offriraient la récolte annuelle à leur abondante progéniture. Mais si l'intervalle entre deux floraisons dépasse nettement l'espérance de vie de tous les prédateurs, il est impossible à ceux-ci de découvrir l'existence du cycle. L'avantage que les bambous et les cigales, individuellement, tirent de la synchronisation apparaît clairement : tous ceux qui ne suivant pas le rythme sont rapidement dévorés (des cigales sortent parfois de terre pendant les années creuses, mais elles ne peuvent se maintenir).

L'hypothèse de la « saturation du prédateur », bien qu'elle n'ait pas été testée, comporte l'élément fondamental d'une analyse correcte. Elle permet de rendre compte d'une suite d'observations qui, sans elle, resteraient indépendantes les unes des autres, donc, totalement inexplicables. Nous savons, par exemple, que les graines de bambou sont très prisées par divers animaux, y compris des vertébrés, qui vivent longtemps, d'où la rareté des cycles inférieurs à quinze ou vingt ans. Nous savons également que la libération simultanée des graines peut littéralement inonder la région concernée. Janzen parle d'un matelas de 20 centimètres d'épaisseur sous la plante parentale. Deux espèces de bambous malgaches déversent 50 kilos de graines à l'hectare, sur une surface totale de 100 000 hectares, pendant la floraison.

La synchronisation de trois espèces, chez les cigales, est particulièrement impressionnante, en particulier parce que l'année où elles

sortent de terre varie d'un endroit à l'autre, alors que les trois espèces font surface en même temps dans un endroit donné. Mais le plus étonnant est fourni par les cigales elles-mêmes. Pourquoi y a-t-il des cigales à 13 ans et des cigales à 17 ans, mais aucune cigale à 12, 14, 15, 16 ou 18 ans ? Treize et dix-sept ont un point commun. Ce sont des nombres assez élevés pour dépasser l'espérance de vie de tous les prédateurs, mais ce sont également des nombres premiers (qui ne sont divisibles par aucun nombre plus petit qu'eux-mêmes). La plupart des prédateurs éventuels ont un cycle de deux à cinq ans. Leurs cycles ne sont pas fonction de l'apparition des cigales périodiques (car leurs populations atteignent souvent un maximum dans les années où il n'y a pas de cigales). Cela n'empêche qu'ils dévorent les cigales avec voracité lorsque les cycles coïncident. Prenons un prédateur avec un cycle de cinq ans. En employant un grand nombre premier, les cigales réduisent le nombre des coïncidences (une fois tous les 5×17 , soit 85 ans, dans ce cas). Un cycle de treize ou dix-sept ans ne peut être percé à jour par un cycle plus court.

L'existence, comme l'a dit Darwin, est une lutte pour la plupart des êtres vivants. Les armes de la survie ne sont pas forcément les griffes et les dents ; le mode de reproduction est parfois tout aussi efficace. Et la surabondance est l'un de ces moyens. Il est parfois sage de mettre tous ses œufs dans le même panier... mais il faut en avoir beaucoup, et ne pas s'y risquer trop souvent.

12.

Le problème de la perfection ou comment un coquillage donne naissance à un poisson

En 1802, l'archidiacre Paley entreprit de chanter les louanges de Dieu en montrant que les organismes sont parfaitement conçus pour remplir le rôle qui leur est assigné. La perfection technique de l'œil des vertébrés lui inspira un discours enthousiaste sur la bienveillance divine ; l'étrange similitude qui existe entre certains insectes et les crottes de chèvre le remplissait d'admiration, car Dieu se doit de protéger toutes ses créatures, les petites comme les grandes. La théorie évolutionniste a finalement réduit à néant la théorie du grand dessein de l'archidiacre, mais certains aspects de cette théologie naturelle subsistent.

Les évolutionnistes modernes citent toujours les mêmes scénarios et les mêmes acteurs, seule l'interprétation a changé. On nous dit maintenant, avec le même émerveillement, que la sélection naturelle est l'instrument de la perfection. Me sentant intellectuellement proche de Darwin, je n'en doute pas. Mais ma confiance dans le pouvoir de la sélection naturelle a d'autres racines ; elle ne se fonde pas sur « les organes d'une perfection et d'une complexité extrêmes », comme les appelait Darwin. En fait celui-ci considérait cette perfection comme un problème. Il allait jusqu'à dire :

« Imaginer que l'œil, avec son aptitude unique à s'adapter à des distances différentes, à laisser pénétrer des quantités de lumière différentes et à corriger les inconsistances sphériques et chromatiques, est le produit de la sélection naturelle, semble, je l'avoue, absurde au plus haut degré. »

Je me suis servi plus haut des mouches cécidomyidées pour illustrer le problème des structures et des conduites à première vue dénuées de sens. Mais la valeur des organes « parfaits » ne peut être mise en doute ; la difficulté est d'expliquer comment ils se sont développés. Dans la théorie darwinienne, les adaptations complexes n'apparaissent pas d'un seul coup, car la sélection naturelle aurait alors pour unique rôle d'éliminer les individus inadaptés chaque fois que surgiraient des êtres mieux adaptés. Dans la théorie de Darwin, la sélection naturelle joue un rôle constructif : elle construit l'adaptation progressivement, au moyen d'une série d'adaptations intermédiaires, rassemblant des éléments qui n'ont apparemment de signification qu'en fonction de l'ensemble. À quoi rime une ébauche d'œil ? La protection de l'insecte camouflé en crotte est sans doute efficace, mais à quoi sert de ressembler pour 5 % seulement à des excréments ? Pour les critiques de Darwin, le problème était d'attribuer une valeur adaptative aux « étapes intermédiaires ». Darwin répondit en s'efforçant de déterminer celles-ci et de mettre leur fonction en évidence.

« La raison me dit que si l'on peut montrer qu'il existe de nombreuses étapes intermédiaires entre un œil imparfait et un œil complexe, parfait, chaque étape ayant son utilité pour l'individu [...] alors on pourra affirmer que la sélection naturelle est capable de produire un œil complexe, parfait, bien que cela soit difficile à imaginer, sans risquer de mettre en péril la rigueur interne de la théorie. »

La discussion fait rage aujourd'hui encore, et les organes « d'une perfection extrême » occupent une place de choix dans l'arsenal des créationnistes modernes.

Tout naturaliste a son exemple favori d'adaptation surprenante. Le mien est le « poisson » que l'on trouve chez certaines espèces de moules d'eau douce, les *Lampsilis*. Comme presque tous les coquillages, la *Lampsilis* vit à demi enfouie dans le sable, la partie postérieure émergeant seule. Au sommet de la partie visible se trouve une structure qui ressemble à s'y méprendre à un petit poisson. Le corps est placé dans le sens du courant, possède des nageoires latérales bien apparentes, une queue et même un œil. Plus incroyable en-

core, les nageoires ondulent en rythme, imitant les mouvements de la nage.

Presque tous les coquillages libèrent leurs œufs directement dans l'eau, où ils sont fécondés et où se déroule le développement embryonnaire. Mais les femelles unionides (nom technique des moules d'eau douce) gardent leurs œufs en elles, où ils sont fécondés par le sperme que les mâles voisins laissent échapper dans l'eau. Les œufs fécondés se développent dans les branchies et forment une poche, ou marsupium.

Chez les *Lampsilis*, le marsupium gonflé des femelles enceintes forme le « corps » de cet ersatz de poisson. Autour du poisson, des deux côtés, se trouvent des extensions du manteau, la « peau » qui protège les organes de l'animal et ne dépasse généralement pas le bord de la coquille. Par leur forme et leur couleur, ces extensions ressemblent à un poisson, avec une queue, souvent évasée, à une extrémité, et un œil à l'autre. Un ganglion spécial, situé à l'intérieur du manteau, innerve les nageoires. Pendant que les nageoires bougent rythmiquement, une pulsation, naissant à la queue, se propage le long du corps. Cette structure complexe, formée du marsupium et des extensions du manteau, ne se contente pas d'avoir l'apparence d'un poisson, elle en a également les mouvements.

Pourquoi un coquillage donne-t-il naissance à un poisson ? La réponse se trouve dans la biologie de la reproduction de la *Lampsilis*. Les larves d'unionides ne peuvent se développer si elles ne se fixent pas à un poisson au début de leur croissance. Presque toutes les larves d'unionides possèdent deux petits crochets. Une fois sorties du marsupium de leur mère, elles tombent au fond du cours d'eau et attendent le passage d'un poisson. Mais les larves de *Lampsilis* n'ont pas de crochet et ne peuvent se fixer d'elles-mêmes aux poissons. Pour survivre, il leur faut pénétrer dans la bouche d'un poisson et se frayer un chemin jusqu'aux branchies. L'ersatz de la *Lampsilis* est un leurre animé, qui imite l'apparence physique et les mouvements de l'animal qu'il doit attirer. Lorsqu'un poisson s'approche, la *Lampsilis* propulse des larves hors du marsupium ; le poisson en avale quelques-unes et celles-ci se fixent sur les branchies.

Figure 4

Le stratagème employé par la *Cyprogenia*, un genre voisin, montre à quel point il est important d'attirer un hôte. Ces moules « pêchent » suivant une méthode réinventée par les disciples d'Isaac Walton. Les larves sont-fixées à un « ver » rouge vif, composé d'une protéine fabriquée par la mère. Ces « vers » sont expulsés vers l'extérieur grâce au siphon exhalant. D'après plusieurs observateurs, les poissons recherchent ces « vers », et s'en nourrissent, n'hésitant pas à les tirer à eux quand ils ne sont pas entièrement sortis du siphon de la femelle.

Figure 5

On ne peut guère mettre en doute la fonction adaptative du « poisson »-leurre, mais comment est-il apparu ? Comment le manteau et le marsupium se sont-ils réunis pour produire ce trompe-l'œil ? La chance, ou une conception préétablie correspondent sans doute plus à ce que nous dicte notre intuition qu'une évolution progressive, au moyen de la sélection naturelle, passant par des étapes intermédiaires qui, au début du moins, ne devraient pas beaucoup ressembler à un poisson. Le poisson complexe de la *Lampsilis* est l'illustration parfaite de l'un des problèmes fondamentaux du darwinisme : peut-on mettre en lumière la valeur adaptative des étapes intermédiaires de cette structure ?

Le principe général, sur lequel s'appuient les évolutionnistes modernes pour résoudre ce problème, fait appel à une idée désignée, improprement, par le terme de « préadaptation¹⁷ ». Le succès d'une hypothèse scientifique comporte souvent un élément de surprise. Les solutions sont plus souvent dues à la reformulation des questions qu'à la recherche studieuse d'informations nouvelles dans un cadre ancien. Ainsi la préadaptation permet-elle de résoudre le problème de la fonction des stades intermédiaires en admettant que ces formes ne jouaient pas le même rôle que leurs descendantes. Par exemple, la réponse à la question : « À quoi peuvent bien servir 5 % d'un œil ? » est que le possesseur d'une structure intermédiaire de ce type ne l'utilisait pas pour voir.

Les premiers poissons, on le sait, n'avaient pas de mâchoires. Comment une structure aussi complexe, comprenant plusieurs os articulés, a-t-elle pu apparaître ? Les os existaient bien chez les an-

cêtres, mais ils avaient une autre fonction : ils servaient de support à une voûte de branchies située à l'arrière de la bouche. Ils étaient parfaitement adaptés à cette fonction respiratoire ; ils avaient été sélectionnés pour cette seule raison et ne « savaient » rien du rôle qu'ils seraient un jour appelés à jouer. La structure était déjà là, mais elle servait à respirer et non à manger.

Dans le même ordre d'idée, on peut se demander comment une nageoire de poisson a pu se transformer en un membre terrestre. Chez presque tous les poissons, les nageoires sont composées de fines arêtes parallèles qui seraient incapables de supporter le poids de l'animal à l'air libre. Mais chez un groupe de poissons d'eau douce vivant sur le fond (nos ancêtres) est apparue une nageoire pourvue d'un axe central résistant. Tout en elle la prédisposait à devenir une jambe, mais elle n'avait évolué qu'en fonction des nécessités de la vie subaquatique, probablement pour permettre au poisson de se déplacer sur le fond, par mouvement défini de l'axe central sur le substrat.

Bref, suivant le principe de la préadaptation, une structure peut changer radicalement de fonction sans que sa forme soit altérée dans les mêmes proportions. Il est possible de résoudre le problème des étapes intermédiaires en affirmant que les fonctions antérieures subsistent pendant que les nouvelles se mettent en place.

La préadaptation nous aidera-t-elle à comprendre comment la *Lampsilis* a donné naissance à son poisson ? C'est probable, mais à deux conditions. D'une part, il nous faut découvrir une forme intermédiaire, comprenant au moins quelques éléments du poisson et ayant une autre fonction. D'autre part, il faut mettre en évidence le rôle joué par le « poisson » pendant que se perfectionnait progressivement sa ressemblance.

La *Ligumia nasuta*, une proche parente de la *Lampsilis*, remplit la première condition. Dans cette espèce, le manteau n'a pas d'extensions chez les femelles enceintes. En revanche, elles présentent des membranes de couleur foncée entre les deux parties de la coquille, lorsque celle-ci est entrouverte. La *Ligumia* se sert de ces membranes pour produire un mouvement rythmique assez étrange. Les bords opposés des membranes se séparent, laissant libre un espace long de quelques millimètres au milieu de la coquille. On aperçoit alors l'inté-

rieur blanc de l'animal se détachant nettement sur la couleur foncée des membranes. Ce point blanc semble reculer vers l'arrière de la coquille, pendant qu'une onde de séparation se propage le long des membranes. Il semble que ce mouvement se produise environ une fois toutes les deux secondes. J.H. Welsh écrivit à ce propos :

« La régularité du rythme est remarquable. Pour l'observateur, et peut-être pour un poisson, c'est le point blanc qui semble se mouvoir sur le fond sombre de la moule et du substrat dans lequel elle est à moitié enfouie, et qui attire l'œil. Il est probable que cela est destiné à attirer les poissons, et il est possible que le leurre en forme de poisson provienne de cette adaptation spécialisée. »

Il s'agit toujours d'une structure destinée à attirer les poissons, mais le mécanisme est abstrait : mouvement régulier et non ressemblance visuelle. Si cette technique a été utilisée pendant l'évolution des extensions qui ont finalement produit le poisson, le problème des étapes intermédiaires se trouve résolu. Au départ, les mouvements du manteau attiraient les poissons ; le lent développement d'une technique de rechange n'a fait qu'améliorer le procédé.

La *Lampsilis* elle-même remplit la seconde condition. Bien que personne ne conteste que la ressemblance visuelle agisse comme un leurre, la meilleure spécialiste de la *Lampsilis*, L.R. Kreamer, met en doute l'idée suivant laquelle les « pulsations » du corps ne servent qu'à imiter les mouvements d'un poisson. Elle pense que ces pulsations sont destinées soit à aérer les larves qui se trouvent à l'intérieur du marsupium, soit à les aider à rester suspendues dans l'eau après leur libération. Là aussi, si la pulsation comportait ces avantages dès le départ, on peut considérer la similitude avec les mouvements d'un poisson comme une préadaptation. La ressemblance, imparfaite à l'origine, pouvait être améliorée par la sélection naturelle, cependant que les pulsations jouaient un rôle tout aussi important.

Le bon sens ne peut servir de guide à l'analyse scientifique, car il relève davantage des préjugés culturels que de l'honnêteté naturelle de l'enfant devant ce qu'il ignore. En tout cas, c'est le bon sens qui avait amené les adversaires de Darwin à croire que le changement progressif de la forme était l'indice du développement graduel d'une fonction. Comme ils ne pouvaient attribuer aucune valeur adaptative

aux premières étapes d'une fonction, ils conclurent qu'elles n'existaient pas (et que les structures parfaites étaient apparues d'un seul coup) ou, du moins, qu'elles ne résulteraient pas de la sélection naturelle. Le principe de la préadaptation (changement de la fonction dans la continuité de la structure) résout ce problème. Darwin termine le paragraphe consacré à l'œil par ce jugement plein de sagesse sur le bon sens :

« Quand on a affirmé pour la première fois que le soleil était immobile et que le monde tournait autour, le bon sens s'est élevé contre cette doctrine ; mais, comme le savent tous les philosophes, le vieux proverbe *Vox populi, vox dei* n'a pas sa place dans la réflexion scientifique. »

IV.

Modèles et ponctuations de l'histoire de la vie

13.

Les cinq règnes de la vie

Quand j'avais dix ans, je vis un film de science-fiction, *The Thing* (1951), qui me terrifia car il mettait en scène une carotte géante et meurtrière. Il y a quelques mois, je l'ai revu à la télévision où il repasait pour la énième fois. En tant qu'adulte, il m'a surtout mis en colère, car j'ai perçu son message politique, exprimant les sentiments dominants les plus grossiers de l'Amérique au moment de la guerre froide : le héros est un militaire aux idées bien carrées, ne désirant rien d'autre qu'anéantir totalement l'ennemi ; le « méchant » est un savant libéral et naïf qui voudrait en savoir plus sur « la chose ». La carotte et sa soucoupe volante représentent, de manière symbolique, la menace communiste ; les derniers mots du film – « surveillez les cieux » – agitent les sentiments d'insécurité et les réflexes « patriotards ».

À part cela, ce film touchait presque par inadvertance à un problème scientifique réel : celui du flou apparaissant dans toute classification des êtres vivants se voulant absolue. Par exemple, il semble que l'on pourrait classer les animaux en deux catégories : ceux dotés d'un langage conceptuel (nous) et ceux dépourvus de cette caractéristique (tous les autres). Mais, on s'est aperçu que les chimpanzés pouvaient, dans une certaine mesure, parler (chapitre 5). C'est une autre distinction absolue entre êtres vivants que mettait en question, de manière fictive, la carotte géante mobile, aux attitudes si humaines (et horrible).

Les êtres vivants sont soit des plantes, soit des animaux. Cette distinction est à la base de notre représentation de la diversité de la vie. Pourtant, ce n'est là encore qu'un préjugé engendré par notre statut

d'animal terrestre et notre grande taille. Il est vrai qu'on peut distinguer ainsi les organismes macroscopiques qui nous entourent, si l'on accepte de considérer les champignons comme des plantes, du fait qu'ils prennent racine et bien qu'ils soient totalement dépourvus de photosynthèse. Mais, si nous étions des créatures minuscules, flottant au milieu du plancton des océans, nous ne pourrions pas faire une telle distinction. Au niveau unicellulaire, l'ambiguïté est partout : « animaux » mobiles pourvus de chloroplastes ; cellules simples comme les bactéries, sans liens bien définis avec l'un ou l'autre groupe.

Les spécialistes de la terminologie ont institutionnalisé nos préjugés en divisant la vie en deux règnes : le règne végétal et le règne animal. On dira peut-être que cela n'est pas bien grave et que, si nous sommes capables de définir les organismes correctement, peu importe si les catégories de base ne rendent pas exactement compte de la richesse et de la complexité de la vie. Mais il se trouve qu'une classification n'est pas neutre, qu'elle est l'expression de la théorie qui contrôle nos idées. Le système rigide reposant sur la répartition en plantes et en animaux fausse notre vision de la vie et nous empêche de comprendre certains éléments déterminants de son histoire.

Il y a quelques années, l'écologiste R.H. Whittaker a proposé d'adopter un système comprenant cinq règnes. Récemment, la biologiste Lynn Margulis, de l'université de Boston, a défendu et amélioré ce système. Leur critique de la dichotomie traditionnelle commence avec les créatures unicellulaires.

Les conséquences de l'anthropocentrisme sont extrêmement nombreuses, et vont du pillage des ressources naturelles au massacre des baleines. Dans la terminologie, il nous conduit à faire des distinctions subtiles entre les créatures proches de nous, et très imprécises, entre les organismes « simples », en apparence plus éloignés. Il suffit d'une différence minimale dans la dentition pour définir un nouveau type de mammifère, mais toutes les créatures unicellulaires entrent en bloc dans la catégorie des organismes « primitifs ». Néanmoins, les spécialistes prétendent actuellement que la distinction fondamentale ne se situe pas entre les plantes et les animaux « supérieurs », mais à l'intérieur des créatures unicellulaires : les bactéries et les algues

bleues, d'une part, les autres groupes d'algues et les protozoaires (amibes, paramécies, etc.), d'autre part. Selon Whittaker et Margulis, il est impossible de dire s'il s'agit de plantes ou d'animaux, les organismes unicellulaires forment à eux seuls deux règnes¹⁸.

Les bactéries et les algues bleues n'ont pas de structures internes ou « organites ». Elles n'ont ni noyau, ni chromosomes, ni mitochondries (sorte de centrales énergétiques des cellules supérieures). On dit que ces organismes simples sont « procaryotes », c'est-à-dire dépourvus de noyau. Les cellules comportant des organites sont dites « eucaryotes » (pourvues d'un véritable noyau). Whittaker pense que cette distinction est « la plus claire et la plus efficace, du point de vue de la discontinuité, entre les niveaux d'organisation du monde vivant ». Et il avance trois arguments à l'appui de cette distinction :

1. L'histoire des organismes procaryotes. Les premières traces de vie ont été découvertes dans les roches vieilles de trois milliards d'années environ. Jusqu'à un milliard d'années avant notre ère, les fossiles ne révèlent que l'existence d'organismes procaryotes ; pendant deux milliards d'années, les matelas d'algues bleues ont été la forme de vie la plus complexe sur terre. Les opinions divergent en ce qui concerne la suite. J.W. Schopf, paléo-botaniste de l'université de Los Angeles, croit pouvoir affirmer qu'il a découvert, en Australie, des algues eucaryotes dans les roches vieilles d'un milliard d'années environ. D'autres soutiennent que les micro-organismes de Schopf sont en réalité le produit de la décomposition de cellules procaryotes. Si ces critiques sont exactes, les premiers organismes eucaryotes sont apparus à la fin du précambrien, juste avant la grande « explosion » du cambrien, il y a 600 millions d'années. Quoi qu'il en soit, la Terre a été le domaine exclusif des organismes procaryotes pendant une période représentant *au moins* deux tiers de l'histoire de la vie. Schopf appelle le précambrien « l'âge de l'algue bleue ».

2. Une théorie de l'origine des cellules eucaryotes. Margulis a relancé les discussions, il y a quelques années, en défendant une ancienne théorie. L'idée paraît absurde au premier abord, mais on en vient rapidement à l'examiner avec sérieux, et même à y adhérer. Selon Margulis, les cellules ont été, à l'origine, des colonies d'organismes procaryotes. Le noyau et la mitochondrie, par exemple,

étaient au départ des organismes procaryotes indépendants. Il arrive que des organismes procaryotes envahissent des cellules eucaryotes et vivent en symbiose avec elles. Presque toutes les cellules procaryotes ont à peu près la même taille que les organites ; la ressemblance entre le chloroplaste de certaines cellules eucaryotes photosynthétiques et certaines algues bleues est frappante. Enfin, certaines organites possèdent leurs propres gènes, qui leur permettent de se produire indépendamment, vestige de leur statut d'organisme à part entière.

3. La signification de la cellule eucaryote en ce qui concerne l'évolution. Les défenseurs de la contraception ont la biologie de leur côté quand ils affirment que le sexe et la reproduction sont au service d'objectifs différents. Le but de la reproduction est la propagation de l'espèce, et il n'existe rien de plus efficace que le système de division utilisé par les organismes procaryote. La fonction biologique du sexe, elle, est de favoriser la variabilité en mélangeant les gènes de deux individus – ou plus. Et si le sexe et la reproduction sont généralement liés, c'est parce qu'il est plus pratique d'effectuer le mélange dans un descendant.

Il ne peut y avoir évolution si les organismes ne possèdent pas des réserves importantes de variations génétiques. La sélection naturelle s'exerce en choisissant les variations génétiques favorables surgissant au sein d'un vaste patrimoine génétique collectif. Le sexe peut produire des variations sur une grande échelle au sein des populations, mais dans un ensemble. Le sexe peut produire un tel ensemble, mais, pour être efficace, la reproduction sexuelle exige que le matériel génétique soit concentré en unités distinctes (les chromosomes). En conséquence, chez les organismes eucaryotes, les cellules sexuelles ont la moitié des chromosomes des cellules normales. Quand deux cellules sexuelles se joignent pour produire un descendant, la quantité originelle de matériel génétique est reconstituée. Chez les organismes procaryotes, la reproduction sexuelle est rare et inefficace. Elle se fait au hasard, et ne comporte que le transfert de quelques gènes d'une cellule donneuse à une cellule receveuse.

La reproduction asexuelle produit des copies des cellules parentales, à moins qu'une mutation n'intervienne et ne fasse apparaître

une variation mineure. Mais les mutations sont rares et la variabilité des espèces asexuelles est trop limitée pour permettre l'évolution. Pendant deux milliards d'années, les matelas d'algues sont restés des matelas d'algues. Mais la cellule eucaryote a fait du sexe une réalité, et c'est pourquoi, moins d'un milliard d'années plus tard, il y a des hommes, des cafards, des hippocampes, des pétunias et des moules.

En ce qui concerne les organismes multicellulaires, la distinction entre les plantes et les animaux garde son sens traditionnel. Quel est donc le cinquième règne ? On classe les champignons dans le règne végétal. C'est probablement parce qu'ils ne peuvent pas se déplacer. Mais leur ressemblance avec les plantes ne va pas au-delà de cette caractéristique trompeuse. Les champignons les plus complexes ont un système de canaux apparemment semblable à celui des plantes, mais, alors que les canaux contiennent de la nourriture chez les plantes, c'est le protoplasme lui-même qui s'y écoule chez les champignons. Beaucoup de champignons se reproduisent en combinant les noyaux de plusieurs individus, ce qui donne un tissu multi-nucléique, sans qu'il y ait fusion des noyaux. On pourrait citer d'autres particularités qui les distinguent des plantes, mais l'essentiel est ailleurs : les champignons ignorent la photosynthèse. Ils vivent fixés à leur réserve de nourriture et se nourrissent par absorption, souvent en sécrétant des enzymes destinées à la digestion externe. Ce sont donc les champignons qui forment le cinquième règne.

Comme dit Whittaker, les trois règnes de la vie multicellulaire constituent une classification écologique et morphologique. Les trois modes de vie principaux de notre monde se retrouvent dans les plantes (production), les champignons (réduction) et les animaux (consommation). Et, pour mettre définitivement un terme à notre orgueil, je m'empresse d'ajouter que le cycle principal est celui de la production et de la réduction. Le monde fonctionnerait tout aussi bien sans consommateurs.

Le système à cinq règnes a l'avantage de rendre plus correctement compte de la diversité de la vie. Il distingue trois niveaux de complexité : les organismes unicellulaires procaryotes (monères), les organismes unicellulaires eucaryotes (protistes) et les organismes multicellulaires eucaryotes (plantes, champignons et animaux). D'un ni-

veau à l'autre, la vie se diversifie, ce qui est logique car, plus la complexité est grande, plus les possibilités de variation sont importantes. Au troisième niveau, la diversité est si grande qu'il nous faut la diviser en trois règnes distincts. Enfin, je remarque que le passage d'un niveau à l'autre se produit plus d'une fois : les avantages de la complexité sont tels que plusieurs lignes indépendantes convergent en direction d'un petit nombre de solutions possibles. Les membres de chaque règne sont unis par la structure et non par l'ascendance. D'après Whittaker, les plantes proviennent d'au moins quatre faisceaux d'évolution distincts, tous originaires des protistes ; les champignons de cinq faisceaux et les animaux d'au moins trois (mésozoaires, éponges et tout le reste).

Le système des cinq règnes répartis sur trois niveaux semble, au premier abord, souligner un progrès inévitable dans l'histoire de la vie. L'augmentation de la diversité et la multiplicité des transitions est peut-être le reflet d'une progression inexorable en direction de choses supérieures. Mais les éléments rassemblés par la paléontologie démentent cette interprétation. Le progrès dans le développement des organismes n'a pas été continu. Il y a eu, au contraire, de très longues périodes de stabilité et une explosion, qui a créé le système dans son entier. Pendant les deux tiers, voire les cinq sixièmes de l'histoire de la vie, la Terre n'a été habitée que par les monères, et rien ne nous permet de dire qu'il y a eu des organismes procaryotes, supérieurs ou inférieurs. De même, aucune structure nouvelle n'est apparue depuis que l'explosion du cambrien a donné naissance à notre biosphère¹⁹.

L'apparition du système a occupé environ 10 % de l'histoire de la vie, pendant l'explosion du cambrien, il y a environ 600 millions d'années. J'en retiendrai deux événements principaux : la formation de la cellule eucaryote – qui rendait la complexité possible en introduisant la variation génétique par l'intermédiaire d'une reproduction sexuelle efficace – et l'envahissement de l'espace écologique par des organismes eucaryotes multicellulaires.

Le mode de la vie était calme auparavant et il l'est redevenu depuis. Il faut considérer la récente apparition de la conscience comme l'événement le plus important depuis l'explosion du cambrien, ne se-

rait-ce qu'en raison de ses conséquences géologiques et écologiques. Les structures nouvelles ne sont pas forcément à l'origine des événements marquants de l'évolution. Les organismes eucaryotes continueront à engendrer nouveauté et diversité aussi longtemps que l'une de leurs dernières productions ne se contrôlera pas suffisamment pour assurer un avenir au monde.

14.

Un héros unicellulaire que personne n'a immortalisé

Ernst Haeckel, qui a rendu la théorie évolutionniste populaire en Allemagne, aimait les mots. Presque toutes ses créations sont mortes avec lui, il y a un demi-siècle, mais, parmi les survivants, se trouvent « ontogenèse », « phylogénèse » et « écologie ». Ce dernier doit maintenant faire face à un destin contraire : trop employé, il perd son sens. L'usage courant menace actuellement de taxer d'écologique tout ce qui n'a pas trait aux villes et ne contient pas de produits chimiques de synthèse. Dans son sens technique, l'écologie est l'étude de la diversité des organismes. Elle se concentre sur l'interaction des organismes et de leur environnement, en s'efforçant de répondre au problème fondamental de la biologie évolutionniste : « Pourquoi existe-t-il de si nombreux types d'organismes ? »

Pendant le premier siècle du darwinisme, les écologistes se sont posé cette question sans pouvoir y répondre. Face à l'écrasante complexité de la vie, ils choisirent le chemin de l'empirisme et amassèrent d'énormes quantités d'informations concernant des systèmes simples dans des régions limitées. Aujourd'hui, presque vingt ans après le centenaire de *l'Origine des espèces*, ce parent pauvre des disciples évolutionnistes occupe le devant de la scène. Stimulés par les efforts des hommes de science portés sur les mathématiques, les écologistes ont mis au point des modèles théoriques d'interaction des organismes qui s'appliquent sans difficulté aux données recueillies sur le terrain. Nous commençons enfin à comprendre (et à quantifier) les causes de la diversité des organismes.

Tout progrès scientifique significatif exerce généralement son influence en fournissant des éléments de solution qui permettent de mieux comprendre des problèmes insolubles dans les domaines voisins. L'écologie théorique, qui ne s'intéresse qu'au « temps écologique » (une saison ou, au plus, une année) influence la paléontologie, gardienne de la dimension la plus longue : les trois milliards d'années de l'histoire de la vie. C'est ainsi qu'une théorie écologique, qui établit un lien entre la diversité et la prédation, peut donner la solution de l'un des grands problèmes de la paléontologie : l'« explosion » du cambrien.

Il y a environ 600 millions d'années, au début de ce que les géologues nomment la période cambrienne, presque tous les types importants d'animaux invertébrés firent leur apparition, en quelques millions d'années. Que s'était-il passé au cours des quatre milliards d'années précédentes ? Et comment expliquer une si soudaine explosion de l'évolution de la vie.

Ces questions ont tourmenté les paléontologistes depuis que la théorie darwinienne a triomphé il y a plus d'un siècle. Il est vrai que des mouvements évolutifs rapides et des vagues d'extinction en masse ne sont pas totalement incompatibles avec la théorie darwinienne. Mais celle-ci comporte un biais conceptuel très profondément enraciné dans la pensée occidentale, biais qui nous incite à rechercher des transitions continues et des changements graduels : *natura non facit saltum* (« la nature ne fait pas de saut »), comme le proclamaient les anciens naturalistes.

L'explosion du cambrien préoccupait tellement Charles Darwin qu'il a écrit, dans la dernière édition de *l'Origine des espèces* : « Ce problème est actuellement sans solution et il peut constituer un argument valable contre le point de vue exposé ici. » La situation était, en effet, beaucoup plus mauvaise du temps de Darwin. À cette époque, on n'avait pas découvert un seul fossile antérieur au cambrien et les invertébrés complexes du cambrien étaient la forme de vie la plus ancienne que l'on connût. Du fait qu'un aussi grand nombre d'animaux différents, et tous complexes dès le départ, étaient apparus en même temps, il n'était pas impossible de soutenir que Dieu avait choisi le cambrien pour faire sa Création.

Le problème que se posait Darwin est partiellement résolu aujourd'hui. Il existe bien des fossiles précambriens, puisque des bactéries et des algues bleues ont été découvertes dans des roches vieilles de deux à trois milliards d'années.

Néanmoins, ces découvertes ne résolvent pas le problème de l'explosion du cambrien, car il ne s'agit encore que de bactéries, d'algues bleues et de quelques plantes plus complexes, comme les algues vertes. L'apparition d'animaux multicellulaires paraît toujours aussi brutale qu'auparavant²⁰.

Au siècle dernier, deux schémas principaux ont été utilisés pour expliquer scientifiquement l'explosion du cambrien.

D'abord, il est possible de prétendre qu'il s'agit d'une apparence. L'évolution a effectivement été lente et progressive, en accord avec les critères de la pensée occidentale. Ce qu'on appelle l'explosion n'est que la première apparition, dans les fossiles, de créatures qui avaient vécu et s'étaient développées au cours du précambrien. Mais alors, pourquoi cette faune précambrienne n'a-t-elle pas été fossilisée ? Il y a sur ce point un grand nombre de propositions différentes, totalement extravagantes ou éminemment plausibles. En voici quelques-unes :

1. Les roches cambriennes sont les premières à n'avoir pas été altérées ; les sédiments précambriens ont été soumis à des chaleurs et des pressions tellement élevées que les fossiles ont été effacés. Cette interprétation est fautive, sans contestation possible.

2. La vie est apparue dans les lacs situés à l'intérieur des terres. Le cambrien représente la migration de cette faune vers la mer.

3. Tous les premiers vertébrés étaient dépourvus de parties dures. Le cambrien représente l'apparition de ces parties dures, fossilisables.

Ce premier schéma a été abandonné quand on a découvert d'abondants gisements de fossiles précambriens ne comprenant rien de plus complexe que des algues. Néanmoins, l'argument concernant les parties dures contient sans doute une part de vérité, bien qu'il ne puisse fournir à lui seul une explication satisfaisante. Un coquillage sans coquille n'est pas un animal viable ; mais il ne suffit pas non plus

d'habiller n'importe quel mollusque pour en obtenir une. Il est évident que les branchies et la musculature ont évolué en même temps que la protection externe dure. L'apparition de parties dures se traduit souvent par la modification radicale de l'ancêtre dépourvu de coquille. Leur apparition soudaine au cambrien implique donc une évolution rapide de l'animal qu'elle protège.

Dans l'autre schéma, il y a réellement eu une explosion du cambrien, et elle a représenté un accroissement extrêmement rapide de la complexité. Un élément nouveau a dû apparaître dans l'environnement des précurseurs des métazoaires (animaux multicellulaires) du cambrien, et déclencher le processus d'évolution rapide. Il n'y a que deux possibilités, d'ailleurs liées entre elles : variations dans l'environnement physique ou dans l'environnement biologique.

En 1965, Lloyd V. Berkner et Lauriston C. Marshall, deux physiciens de Dallas, ont publié un article célèbre dans lequel ils prétendaient que la quantité d'oxygène contenue dans l'atmosphère terrestre était la cause physique directe de l'explosion du cambrien. Les géologues s'accordent à dire que l'atmosphère terrestre ne contenait, à l'origine, que de très petites quantités d'oxygène à l'état libre. L'oxygène est apparu progressivement, comme une conséquence de l'activité biologique que constituait la photosynthèse des algues précambriennes. Les métazoaires ont besoin de grandes quantités d'oxygène à l'état libre pour deux raisons : directement, parce qu'ils doivent respirer ; indirectement, parce que l'oxygène, sous forme d'ozone, absorbe les rayons ultraviolets, dans la haute atmosphère. Berkner et Marshall ont donc simplement proposé de considérer le début du cambrien comme la période à laquelle la quantité d'oxygène est devenue pour la première fois suffisante pour permettre la respiration et filtrer les rayons ultraviolets.

Mais cette conception séduisante s'est effondrée sous la pression des arguments géologiques. Les organismes photosynthétiques étaient probablement nombreux il y a plus de 2,5 milliards d'années. Est-il raisonnable de supposer que deux milliards d'années ont été nécessaires pour accumuler assez d'oxygène pour permettre la respiration ? De plus, certains sédiments datant de cette époque (entre un

et deux milliards d'années) contiennent de grandes quantités de roches fortement oxydées.

L'hypothèse de Berkner et Marshall est l'illustration d'une attitude commune à tous les non-biologistes, qui ont du mal à imaginer qu'un organisme vivant n'est pas semblable à une machine. Les modèles des physiciens reposent souvent sur des objets simples et inertes qui réagissent automatiquement aux stimulations des forces physiques. L'hypothèse de Berkner et Marshall repose sur une pensée rigide, que j'appelle « physicalisme », et selon laquelle les métazoaires seraient apparus, automatiquement, dès la disparition de l'obstacle physique qui s'opposait à leur existence. Cependant, la présence d'oxygène n'entraîne pas automatiquement le développement d'organismes capables de le respirer. L'oxygène est nécessaire au développement des métazoaires, mais non suffisant. En réalité, il est probable que la quantité d'oxygène avait atteint un seuil acceptable un milliard d'années avant l'explosion du cambrien. Tournons-nous vers la biologie.

Steven M. Stanley, de l'université John-Hopkins, a récemment montré qu'une théorie écologique bien connue – le principe de la moisson – peut servir de fondement à une analyse biologique²¹. Selon le grand géologue Charles Lyell, une hypothèse scientifique, pour être à la fois élégante et passionnante, doit aller à rencontre du bon sens. Le principe de la moisson est justement l'une de ces idées qui contredisent le bon sens. C'est ainsi qu'on pourrait croire que l'apparition d'un « moissonneur » (herbivore ou carnivore) réduirait le nombre d'espèces vivant sur un territoire donné : après tout, si un animal prélève de la nourriture dans une région, vierge avant son arrivée, il est logique de penser qu'il réduira la diversité et fera même complètement disparaître les espèces les moins représentées.

En réalité, l'étude de la représentation des organismes donne le résultat opposé. Dans les communautés de producteurs primaires (organismes qui fabriquent leur nourriture par photosynthèse et ne la prélèvent pas sur d'autres créatures), une ou quelques espèces s'imposeront et monopoliseront l'espace. La biomasse de ces communautés est énorme, mais le nombre d'espèces est généralement réduit. Dans un système de ce type, un « moissonneur » a tendance à s'attaquer en priorité aux espèces les mieux représentées, limitant ainsi

leur domination et créant de l'espace pour les autres espèces. Un bon moissonneur décime ses espèces favorites, mais ne les détruit pas – à moins qu'il ne désire mourir de faim. Un écosystème bien moissonné est donc diversifié au maximum, avec un grand nombre d'espèces représentées par quelques individus seulement. En d'autres termes, l'introduction d'un nouveau niveau dans la pyramide écologique tend à élargir le niveau immédiatement inférieur.

Un grand nombre d'études faites sur le terrain viennent confirmer le principe de la moisson : l'introduction d'un poisson prédateur dans un étang artificiel augmente la diversité du plancton. Si l'on retire les oursins d'une communauté d'algues diversifiées, une seule espèce s'assure la domination du territoire.

Considérons la communauté d'algues du précambrien, qui se développa pendant 2,5 milliards d'années. Elle était composée exclusivement de producteurs primaires. Elle n'était menacée par rien et, pour cette raison, était biologiquement uniforme. Elle évoluait très lentement et ne fut jamais très diversifiée, parce que l'espace était monopolisé par un petit nombre d'espèces très puissantes. D'après Stanley, l'explosion du cambrien est l'apparition d'herbivores – en l'occurrence des protistes unicellulaires qui dévoraient les autres cellules. L'espace ainsi créé a permis à de nouveaux producteurs de se développer, et cette diversité a permis à des moissonneurs spécialisés de se développer à leur tour. La pyramide écologique s'étendit simultanément dans deux directions : apparition de nouvelles espèces aux niveaux inférieurs et de carnivores aux niveaux supérieurs.

En sommes-nous sûrs ? Le premier protiste qui fut sans doute le premier héros de l'histoire de la vie, et que personne n'a immortalisé, n'a probablement jamais été fossilisé. Nous disposons pourtant de preuves indirectes, dont l'importance n'est pas négligeable. Les plus nombreuses communautés de producteurs du précambrien sont les stromatolites (matelas d'algues bleues déposés sur les sédiments). Aujourd'hui, les stromatolites ne sont installés que dans les environnements hostiles, généralement dépourvus de métazoaires – de lagons contenant une eau très salée, par exemple. Peter Garrett a montré que ces matelas ne subsistent dans un environnement marin normal que si les prédateurs en sont artificiellement chassés. Leur abon-

dance, au précambrien, témoigne donc certainement d'une absence de prédateurs.

Dans une conclusion franche, Stanley donne quatre raisons d'accepter sa théorie : **1.** elle rend compte de ce que nous connaissons de la vie au précambrien ; **2.** elle est simple ; **3.** elle est purement biologique et n'invoque aucun élément extérieur ; **4.** elle est, dans une large mesure, la conséquence directe d'un principe écologique établi.

Ces justifications ne correspondent pas à la conception simpliste du progrès scientifique, telle qu'on l'enseigne dans les lycées ou qu'on la présente dans les media. Stanley ne s'appuie pas sur des informations nouvelles fournies par des expériences rigoureuses. Sa deuxième raison est d'ordre méthodologique, la troisième philosophique et la quatrième se réfère à l'application d'une théorie antérieure. Seule la première se rapporte directement au précambrien, et elle se borne à constater que la théorie « rend compte » de ce que nous savons – ce qui est d'ailleurs le cas d'un grand nombre de théories.

Mais c'est exactement cela que doit être la pensée scientifique créatrice. Il ne s'agit pas seulement de rassembler des faits et d'en tirer une théorie, mais bien d'un processus complexe faisant appel à l'intuition, aux opinions et à la connaissance des autres domaines scientifiques. Le jugement et le savoir-faire de l'homme doivent intervenir à toutes les étapes. Après tout, et bien que nous ayons tendance à l'oublier, ce sont les êtres humains qui font la science.

15.

L'explosion du cambrien est-elle un trucage sigmoïde ?

Vers 1830, pressé par sa femme, Roderick Murchison renonça un beau jour aux plaisirs de la chasse à courre pour se consacrer aux joies, plus subtiles, de la recherche scientifique. Au cours de sa nouvelle carrière, cet aristocrate géologue s'est particulièrement intéressé aux débuts de l'histoire de la vie. Il a découvert que le premier peuplement des océans ne s'est pas fait progressivement, par l'apparition de formes de vie de plus en plus complexes. Il semble au contraire que presque tous les groupes importants soient apparus simultanément, au début de la période cambrienne, il y a environ 600 millions d'années. Pour Murchison, créationniste convaincu, c'était donc le moment où Dieu avait décidé de peupler la Terre.

Ces observations inquiétèrent fortement Darwin. Il pensait, lui, conformément à la théorie de l'évolution que les océans avaient « pullulé d'un pullulement d'âmes vivantes » avant le cambrien. Pour expliquer l'absence de fossiles plus anciens, il supposa que les continents tels que nous les connaissons actuellement n'avaient pas été recouverts de sédiments parce qu'ils se trouvaient sous des océans d'eau claire.

Le point de vue moderne fait la synthèse de ces deux conceptions. L'idée centrale de Darwin s'est vérifiée : la vie s'est bien développée, au cambrien, à partir d'éléments organiques préexistants, et non grâce à la main de Dieu. Mais les observations de Murchison sont le reflet d'événements réels, et non celui des lacunes de la recherche géologique. D'après les fossiles, il n'y a eu, pendant les 2,5 milliards d'années du précambrien, que des bactéries et des algues bleues, ou

presque. La complexité de la vie est effectivement apparue d'un seul coup au début du cambrien²².

Pendant un siècle, les paléontologistes ont essayé, sans succès, d'expliquer l'« explosion » du cambrien, le développement brutal de la diversité pendant les dix ou vingt premiers millions d'années de la période cambrienne. Peut-être était-ce la première fois que la quantité d'oxygène contenue dans l'air avait été suffisante pour entretenir la vie. Peut-être la Terre avait-elle été, jusque-là, trop chaude pour permettre à des formes de vie complexes de se développer (les algues simples supportent des températures beaucoup plus élevées que les animaux complexes). Ou bien, un changement dans la chimie des océans avait permis au carbonate de calcium de se déposer, donnant ainsi aux animaux la possibilité de sécréter des squelettes fossilisables.

Il semblerait que les choses soient sur le point d'être reconsidérées de fond en comble. Tout se passe comme si nous nous étions attaqués à ce problème par le mauvais côté. Il se peut, après tout, que l'explosion elle-même ne soit que la conséquence logique d'un processus dont l'origine remonte au précambrien. Si tel est bien le cas, le début du cambrien n'a plus rien d'extraordinaire et il faut rechercher la cause de l'« explosion » dans des événements antérieurs qui mirent en route le processus d'évolution vers les formes de vie complexes. Il semble bien, en effet, que l'explosion du cambrien ait obéi à une loi de croissance. Celle-ci prédit une phase d'accélération brutale, et l'explosion elle-même n'est alors pas plus fondamentale (ou ne nécessite pas d'explication plus particulière) que la période précédente, pendant laquelle la croissance est lente, ou que la période suivante, qui se traduit par une stabilisation. Les facteurs qui ont initié la première période sont également responsables de l'explosion. À l'appui de cette nouvelle perspective, examinons deux arguments fondés sur la quantification des fossiles. Cela nous permettra également de voir le rôle que peut jouer la quantification, en ce qui concerne la vérification des hypothèses, dans des domaines où une telle rigueur n'était traditionnellement pas de mise.

En géologie, le travail sur le terrain est une tâche épuisante, tant elle est minutieuse : cartographie des strates ; examen de leurs rela-

tions dans le temps grâce aux fossiles et à la « superposition, » physique (les plus récentes au-dessus des plus anciennes) ; détermination des types de roches, de la taille des grains et des caractéristiques de l'environnement. Les jeunes théoriciens ont trop souvent tendance à mépriser cette activité, qu'ils considèrent comme un travail de fourmi effectué par des gens sans imagination. Pourtant, sans les éléments fournis par ces observations, il n'y aurait tout simplement pas de science. Dans le cas qui nous occupe, la nouvelle conception de l'explosion du cambrien repose sur l'amélioration de la stratigraphie des débuts du cambrien, mise au point récemment par des géologues soviétiques. Ils ont divisé le cambrien inférieur en quatre étapes, et il est donc possible de situer aujourd'hui beaucoup plus précisément l'apparition des premiers fossiles. On peut maintenant définir avec exactitude l'époque correspondant à chaque apparition, alors que, jusque-là, tous les groupes étaient classés sous la rubrique « cambrien inférieur » – ce qui accentuait le caractère spectaculaire de l'explosion.

J.J. Sepkoski, paléontologiste à l'université de Rochester, a montré récemment que le rapport entre l'accroissement de la diversité des organismes et le temps, du précambrien supérieur à la fin de « l'explosion », est conforme à un modèle de croissance général : la courbe sigmoïde (courbe en forme de S). Considérons le développement d'une colonie de bactéries dans un milieu précédemment inhabité : chaque cellule se divise toutes les vingt minutes pour donner naissance à deux filles. La population augmente lentement, au début. Le rythme de division ne sera jamais plus rapide, mais les cellules mères sont d'abord peu nombreuses et la progression vers la période d'explosion de la population est lente. Cette phase de croissance lente forme le segment initial, qui s'élève lentement, de la courbe sigmoïde. La phase d'explosion, ou de croissance rapide vient ensuite, quand toutes les cellules d'une population nombreuse produisent chacune deux filles fécondes toutes les vingt minutes. Il est clair que cela ne peut se produire indéfiniment : le monde entier serait bientôt totalement envahi par les bactéries. Finalement, la colonie assure sa stabilité (ou sa disparition) en occupant tout son territoire, en épuisant ses réserves de nourriture, en polluant son espace vital avec ses propres

déchets et ainsi de suite. Cette stabilisation marque la fin de la phase d'expansion et parfait le S de la courbe sigmoïde.

Figure 6

Des bactéries à l'évolution de la vie la distance est grande. Mais la croissance sigmoïdale s'applique à d'autres systèmes et l'analogie se justifie. On peut comparer la division des cellules à la spéciation, et la gélose des récipients de laboratoire aux océans. La phase de croissance lente est le développement lent de la fin du précambrien, où nous avons découvert une faune modeste : coraux, méduses et vers. Dans ce cas, la célèbre explosion du cambrien n'est rien de plus que la phase de croissance rapide de ce processus ininterrompu, alors que la stabilisation post-cambrienne représente le seuil de tolérance de l'espace écologique au sein des océans. La vie n'est d'ailleurs apparue sur la terre ferme que plus tard.

Si les lois de la croissance sigmoïdale ont effectivement régi la diversification de la vie, alors, l'explosion du cambrien n'a plus rien d'extraordinaire. Ce n'est que la phase de croissance rapide d'un processus réglé par deux facteurs : d'une part, celui qui a initié la phase de croissance lente, pendant la période précambrienne ; d'autre part, celui qui a trait aux propriétés de l'environnement, permettant une croissance sigmoïdale.

Comme l'a écrit récemment S.-M. Stanley, paléontologiste à John-Hopkins, « on peut maintenant abandonner l'idée traditionnelle selon laquelle l'apparition de toutes les grandes classes d'animaux dès le début du cambrien... représente une énigme. Ce qui reste "le problème du cambrien" est cette attente de quatre milliards d'années depuis l'origine de la Terre avant que n'apparaisse la vie multicellulaire ».

Il est en effet possible d'éluider le problème posé par le cambrien en le reportant sur un état des choses antérieur, mais la nature et les causes de cet état des choses antérieur restent une énigme absolue. L'apparition à la fin du précambrien des cellules eucaryotes a sûrement une signification déterminante. Mais nous ignorons complètement pourquoi la cellule eucaryote est apparue justement à ce moment-là, plus de 2,5 milliards d'années après la formation de ses ancêtres procaryotes²³.

D'après Stanley, les algues procaryotes du précambrien occupaient tout l'espace disponible et empêchaient ainsi la formation d'organismes plus complexes en occupant l'espace nécessaire à leurs concurrents. Le premier herbivore eucaryote, au cours de son festin peu varié, mais copieux, aurait ainsi créé l'espace nécessaire au développement de ces concurrents.

Il est souvent passionnant de faire des déductions, mais on ne peut pas dire grand-chose de concret sur le premier facteur : celui qui a initié la croissance sigmoïdale. Il n'en va pas de même en ce qui concerne le second : la nature de l'environnement. La croissance sigmoïdale ne s'applique pas à tous les systèmes ; elle ne se produit que dans un seul type d'environnement. Nos bactéries de laboratoire ne se seraient pas développées suivant une courbe en forme de S dans un milieu déjà abondamment peuplé ou totalement dépourvu de nourriture. La courbe sigmoïdale n'apparaît que dans les systèmes ouverts, où l'espace et la nourriture sont tellement abondants que les organismes se multiplient jusqu'aux limites imposées par leur nombre même. Il est clair que les océans du précambrien constituèrent effectivement un de ces écosystèmes « vides », comportant de l'espace à volonté, de la nourriture en abondance et une absence de compétition. Les premières cellules eucaryotes pouvaient être reconnaissantes à leurs ancêtres procaryotes, non seulement pour la nourriture qu'ils fournissaient, mais également pour avoir produit l'oxygène de l'air par photosynthèse. La courbe sigmoïdale représente le premier peuplement des océans, le cambrien étant la phase de croissance rapide, schéma d'évolution prévisible dans un écosystème ouvert.

Il devrait être possible de différencier les animaux ayant évolué pendant la phase de croissance rapide de ceux qui sont apparus plus tard, au sein d'un système possédant son propre équilibre. J'ai consacré ces deux dernières années de recherche à la mise en évidence de ces différences. Mes collègues (T.J.M. Schopf, de l'université de Chicago, D.M. Raup et J.J. Sepkoski, de l'université de Rochester, et D.S. Simberloff, de l'université de Floride) et moi-même avons reconstitué des modèles d'arbres évolutifs, dans le cas où l'évolution est strictement due au hasard. Nous divisons chaque arbre en « branches » principales et analysons l'histoire de chaque branche

(que l'on appelle techniquement clade. Chaque clade est représenté par un diagramme « en fuseau ». Ces diagrammes sont obtenus par la méthode suivante : évaluation précise du nombre d'espèces appartenant à une période donnée et variation de la largeur du diagramme en fonction du résultat.

Nous effectuons ensuite des mesures sur ces diagrammes. L'une d'entre elles, que nous nommons CG, définit la position du centre de gravité (l'endroit où le clade est le plus large, ou le plus diversifié). Si le point correspondant à la diversité maximale se trouve au milieu de la durée du clade, la valeur du CG est 0,5. Si la diversité maximum intervient avant ce point, la valeur du CG est inférieure à 0,5.

Dans notre système, le CG est toujours voisin de 0,5. Le clade idéal est un diamant qui atteint sa largeur maximum au centre. Mais, dans ce système, l'équilibre est parfait. Les phases de croissance rapide sigmoïdales n'existent pas ; le nombre d'espèces est constant, car les extinctions sont aussi nombreuses que les formations.

J'ai consacré une bonne partie de l'année 1975 à compter les genres de fossiles et à déterminer leur longévité afin de construire des diagrammes en fuseau pour des clades réels. Je dispose actuellement de plus de quatre cents clades correspondant à des groupes postérieurs à la phase d'expansion de l'explosion du cambrien. La valeur moyenne du CG est : 0,4993. On ne peut être plus proche du 0,5 du monde idéalement équilibré ! Je possède aussi les diagrammes correspondant à des groupes apparus pendant la phase de croissance rapide et disparus ensuite. Le CG moyen est très inférieur à 0,5. Et cette valeur est inférieure à 0,5 parce que ces groupes se formèrent pendant une période de diversification rapide, mais disparurent à une époque stable où apparitions et extinctions ralentirent. La diversité maximale intervint donc tôt dans leur histoire, puisque les premiers individus faisaient partie de la phase de croissance rapide, mais leur extinction prit plus longtemps dans le monde stable qui suivit.

L'approche quantitative nous a permis de comprendre l'explosion du cambrien de deux façons. D'abord, il est possible de mettre en évidence le caractère sigmoïdal de la croissance et d'en reporter l'origine sur un événement antérieur ; le problème du cambrien, en lui-même, s'en trouve résolu. D'autre part, il est possible de déterminer la durée

et l'intensité de la phase d'expansion du cambrien en étudiant les données fournies par les diagrammes en fuseau.

Figure 7

Toutefois, le résultat le plus étonnant n'est pas la faible valeur du CG des clades du cambrien, mais le fait que le CG des clades ultérieurs corresponde à un monde idéalement équilibré. Est-il possible que l'équilibre se soit maintenu dans les océans malgré les tremblements de terre, les extinctions massives, les collisions de continents, la disparition et l'apparition des mers ? La phase d'extension du cambrien a peuplé les continents. Depuis, l'évolution a produit d'innombrables variations à partir d'un ensemble limité de structures. La vie océanique était abondante dans ses variétés, ingénieuse dans son adaptation et (si je puis me permettre une remarque anthropocentriste) étonnante de beauté. Et l'on peut dire que, depuis le cambrien, l'évolution n'a fait que recycler les produits de base de sa phase explosive.

16.

La mort en masse

Il y a environ 225 millions d'années, à la fin de la période permienne, la moitié des familles d'organismes marins mourut en quelques millions d'années... c'est-à-dire d'un seul coup. Parmi les victimes de cette extinction massive se trouvaient les trilobites, les coraux anciens, toutes les espèces d'ammonites, sauf une, presque tous les bryozoaires et les crinoïdes.

Cette vague d'extinction fut la plus dévastatrice de toutes celles qui ont ponctué l'histoire de la vie au cours des 600 derniers millions d'années. L'extinction du crétacé, il y a environ 70 millions d'années, vient ensuite. Elle a détruit 25 % des familles et a mis fin, sur la terre ferme, à la domination des dinosaures et de leurs parents, laissant ainsi le champ libre à la domination des mammifères et, finalement, à l'apparition de l'homme.

Aucun problème n'a été plus souvent traité en paléontologie – sans grand succès, il faut bien le dire. La liste des hypothèses qui ont été avancées remplirait l'annuaire du téléphone de Manhattan, et comprend presque toutes les causes imaginables : apparition de montagnes à l'échelle de la planète, désalinisation des océans, supernovae, radiations cosmiques, épidémies généralisées, rétrécissement de l'habitat, variations climatiques brutales et ainsi de suite. Ce problème n'est pas non plus passé inaperçu du public. Je me souviens bien de l'époque où il s'est posé à moi pour la première fois, alors que j'avais 5 ans, en voyant les dinosaures de Disney, dans *Fantasia*, marcher péniblement vers la mort, dans un paysage desséché, au son du *Sacre du printemps* de Stravinski.

Figure 8

L'extinction du permien dépassant toutes les autres, c'est sur elle que se sont concentrées les recherches. S'il était possible de l'expliquer, cela nous permettrait peut-être de comprendre les extinctions massives en général.

Pendant ces dix dernières années, des progrès importants ont été réalisés en géologie et en biologie de l'évolution, et la combinaison des deux permet de dégager une solution probable. Mais celle-ci est apparue si progressivement que peu de paléontologistes se rendent compte que leur problème le plus ancien et le plus important est en fait résolu.

Il y a dix ans, presque tous les géologues croyaient que les continents s'étaient formés là où ils se trouvent actuellement. On admettait que des masses de terre se soulevaient ou s'abaissaient parfois, et que les continents pouvaient « grandir » grâce à la sédimentation ou à l'apparition de montagnes à leurs extrémités, mais on refusait de croire qu'il leur arrivait de bouger. On avait bien proposé, au début du siècle, la théorie de la dérive des continents, mais, comme il n'avait pas été possible de mettre en évidence le mécanisme permettant aux continents de se déplacer, elle avait été universellement rejetée.

Aujourd'hui, l'étude du fond des océans a permis d'imaginer un mécanisme : la théorie des plaques tectoniques. La surface de la Terre est, en effet, composée d'un petit nombre de plaques bordées par des chaînes de montagnes sous-marines et par des zones de subduction. Le fond des océans croît par des additions nouvelles incessantes de matériaux rocheux au niveau des montagnes sous-marines, et ces additions poussent de côté les portions antérieurement formées des plaques. Pour contrebalancer ces additions, les portions les plus anciennes des plaques plongent à l'intérieur de la Terre au niveau des zones de subduction.

Les continents sont fixés sur ces plaques et se déplacent avec elles ; ils ne « labourent » pas le fond des océans, comme le prétendaient les anciennes théories. La dérive des continents n'est donc qu'une conséquence de l'existence des plaques tectoniques, dont les autres conséquences importantes sont les tremblements de terre, qui surviennent à la jointure de deux plaques (comme la faille de Saint-

Andréas, au large de San Francisco) et les chaînes de montagnes, qui apparaissent quand deux plaques supportant des continents entrent en collision. C'est ainsi que l'Himalaya est apparu quand le « radeau » indien a heurté l'Asie.

En reconstruisant l'histoire des mouvements des continents, on se rend compte que le permien a été le théâtre d'un événement unique : la réunion de tous les continents en un seul supercontinent. La grande extinction du permien en est tout simplement la conséquence.

Mais pourquoi ? C'est que les conséquences d'une telle fusion sont nombreuses, et vont de variations dans le climat et les courants marins jusqu'à l'interaction d'écosystèmes précédemment isolés. Il nous faut faire intervenir ici les progrès de la biologie de l'évolution, et nous tourner vers l'écologie théorique, qui permet une nouvelle approche de la diversité des formes de vie.

Après plusieurs dizaines d'années de travail descriptif et ne reposant sur aucune théorie, l'écologie a été stimulée par les approches quantitatives qui cherchent à mettre au point une théorie générale de la diversité des organismes. Nous commençons à mieux comprendre l'influence des différents facteurs d'environnement sur l'abondance et la distribution de la vie. Actuellement, beaucoup d'études montrent que la diversité, le nombre d'espèces différentes dans une région donnée sont fortement influencés, voire presque entièrement déterminés par la surface de la région habitable. Si, par exemple, on dénombre la quantité d'espèces de fourmis installées sur des îles de tailles différentes (mais similaires en ce qui concerne le climat, la végétation et l'éloignement du continent) on constate en général que plus l'île est vaste, plus le nombre d'espèces est élevé.

Il y a loin des fourmis des îles tropicales au peuplement des océans de l'époque permienne. Pourtant, nous avons de bonnes raisons de penser que la surface disponible a joué un rôle de premier plan dans les extinctions d'espèces. Si nous réussissons à évaluer la diversité des organismes et l'étendue de l'aire qu'ils occupaient, à diverses périodes du permien (quand les continents se réunirent), il sera possible de vérifier l'hypothèse du facteur « surface disponible ».

Il faut d'abord bien comprendre deux choses à propos de l'extinction du permien et des fossiles en général. Premièrement, l'extinction

du permien concerne uniquement les organismes marins. Les quelques plantes et vertébrés qui existaient alors n'ont pas été aussi profondément affectés. Deuxièmement, dans leur immense majorité, les fossiles sont ceux d'animaux vivant dans les eaux peu profondes des océans. Nous n'avons pratiquement pas de fossiles d'animaux installés au fond des océans. Donc, si nous voulons vérifier la théorie suivant laquelle la surface disponible a joué un rôle de premier plan dans l'extinction du permien, nous devons concentrer nos recherches sur les régions occupées alors par les mers peu profondes.

La réunion des continents a considérablement réduit la surface des mers peu profondes. En effet, si toutes les terres émergées antérieures au permien étaient entièrement entourées de mers peu profondes, leur réunion a éliminé celles qui se trouvaient aux sutures – de la même manière que, si l'on forme un seul rectangle avec quatre boîtes d'allumettes, le périmètre total est réduit de moitié. La mécanique des plaques tectoniques y est aussi pour quelque chose. Quand il se produit de grandes quantités de roches nouvelles, les montagnes sous-marines s'élèvent au-dessus du fond des océans. Cela chasse l'eau des bassins océaniques, le niveau général des mers s'élève et les continents sont partiellement submergés. À l'inverse, si la production de roches nouvelles diminue, les montagnes sous-marines diminuent de hauteur, et le niveau général des mers redescend.

Quand les continents entrèrent en collision, à la fin du permien, les plaques qui les supportaient s'emboîtèrent les unes dans les autres. Cela mit un frein à la formation de roches nouvelles au niveau des montagnes sous-marines. Celles-ci diminuèrent de hauteur et les mers peu profondes se retirèrent des continents. La diminution considérable de la surface des mers peu profondes n'a pas été causée par l'abaissement du niveau de la mer lui-même, mais par la configuration du fond des océans où cet abaissement s'est effectivement produit. Le fond de l'océan ne plonge pas uniformément de la côte aux grandes profondeurs. Aujourd'hui, les continents sont généralement bordés par une très large plate-forme continentale où l'eau n'est pas profonde. À l'extrémité de la plate-forme continentale, se trouve une pente abrupte. Si le niveau de la mer s'abaissait assez pour découvrir toute la plate-forme continentale, presque tous les hauts-fonds disparaîtraient. Il est bien possible que cela se soit produit au permien.

Thomas Schopf, de l'université de Chicago, a récemment vérifié l'hypothèse de l'extinction par réduction de la surface disponible. Il a d'abord étudié la répartition des mers peu profondes et les roches, afin de déterminer les limites des continents et l'étendue des mers peu profondes à plusieurs époques du permien, quand les continents se réunirent. Puis il a passé en revue toute la littérature paléontologique et dénombré les différents types d'organismes ayant vécu à ces époques. Daniel Simberloff, de l'université de Floride, a ensuite montré que l'équation mathématique qui lie le nombre d'espèces à la surface disponible correspond à ces données. De plus, Schopf a montré que l'extinction n'a pas affecté certains groupes plus que d'autres ; elle a frappé sans discernement tous les habitants des mers peu profondes. En d'autres termes, il est inutile de chercher des causes spécifiques liées aux particularités de tel groupe d'animaux. Il s'agit d'un problème général. Quand les mers peu profondes disparurent, le riche écosystème des débuts du permien ne fut plus assez étendu pour permettre à tous ses composants de survivre. Le sac devint trop petit et il fallut se débarrasser de la moitié des billes.

Il est satisfaisant de constater que la solution du plus extraordinaire problème de paléontologie est donnée par les progrès de deux domaines voisins : l'écologie et la géologie. Quand un problème s'est révélé insoluble pendant plus d'un siècle, il est inutile de chercher des informations supplémentaires et de les classer, comme par le passé, dans les catégories traditionnelles. Grâce à l'écologie théorique, nous avons pu poser la bonne question, et les plaques tectoniques nous ont fourni des arguments solides comme le roc.

V.

Théories de la Terre

17.

La sale petite planète du révérend Thomas

« Il semble que nous ne vivions pas dans le même monde que nos ancêtres... Dix hommes doivent travailler durement pour le bien-être d'un seul... La Terre ne nous nourrit qu'à force de travail et d'ingéniosité... L'air est souvent impur et pestilentiel. »

Ce n'est pas un tract écologiste. L'esprit y est, mais pas le style. Il s'agit du lamento du révérend Thomas Burnet, auteur du traité de géologie le plus populaire du XVII^e siècle : *The Sacred Theory of Earth*. Il y décrit une planète d'où l'Éden a disparu, et non pas un monde mis en coupe réglée par des individus avides.

De tous les ouvrages de géologie biblique, celui de Burnet est certainement le plus connu, le plus décrié et le plus mal compris. L'auteur s'est efforcé de donner une explication rationnelle aux événements décrits dans la Bible. Reportons-nous à une conception simpliste, mais très répandue, des rapports entre la science et la religion : ce sont des ennemis naturels et leur histoire montre que la science s'introduit de plus en plus profondément dans les domaines intellectuels précédemment occupés par la religion. Dans cette perspective, l'œuvre de Burnet apparaît comme une tentative dérisoire pour colmater une digue presque complètement effondrée. Mais en réalité, les rapports existant entre la science et la religion sont beaucoup plus complexes. La religion a souvent encouragé la science. Si la science a réellement un ennemi, ce n'est pas la religion, mais l'irrationalisme. En fait, Burnet a été victime des mêmes forces qui persécutèrent Scopes, le défenseur de la science, presque trois siècles plus tard, dans le Tennessee. Le cas de Burnet, à une époque et dans un

monde radicalement différents du nôtre, nous aidera sans doute à mieux comprendre les forces qui s'opposent continuellement à la science.

À première vue, la théorie de Burnet paraîtra sans doute si sottise et dépourvue de fondements que nous serons tentés de rejeter son auteur parmi les adversaires de la science. Mais si l'on examine sa méthode, on ne peut que le placer parmi les rationalistes scientifiques de son époque. Sa persécution par la théologie dogmatique rappelle la querelle Huxley-Wilberforce ou la controverse californienne à propos de la Création, jouées par les mêmes acteurs dans d'autres costumes.

Burnet cherche d'abord à déterminer d'où provenaient les eaux du déluge. Il avait la conviction que les océans ne pouvaient recouvrir les montagnes. « Croire que le monde pourrait être enseveli sous l'eau qu'il contient, a écrit un contemporain, équivaut à croire qu'un homme peut se noyer dans l'un de ses crachats. » Burnet rejeta donc l'idée suivant laquelle le déluge aurait été un phénomène local, amplifié à mauvais escient par des témoins qui n'avaient pas la possibilité de se déplacer sur de grandes distances, car cela revenait à mettre en question l'autorité des Saintes Écritures. Mais il rejeta plus fermement encore la conception suivant laquelle Dieu aurait créé, au moyen d'un miracle, l'eau supplémentaire... car cela s'opposait au rationalisme scientifique. Il en vint donc à faire le récit suivant de l'histoire de la Terre.

Après le chaos du vide originel, la Terre se constitua en une sphère parfaite. Les matériaux qui la composent se séparèrent d'eux-mêmes, en fonction de leur densité. Les roches lourdes et les métaux formèrent un cœur sphérique au centre, les liquides se déposèrent au-dessus et les matières volatiles constituèrent une sphère au-dessus des liquides. La couche de matières volatiles était, pour l'essentiel, composée d'air, mais contenait également des particules de terre. Celles-ci se déposèrent, le moment venu, et formèrent une surface parfaitement unie, dépourvue de relief, au-dessus de la couche liquide.

« Cette Terre unie, poursuit-il, vit les premiers balbutiements du monde et les premières générations de l'espèce humaine ; elle avait la beauté de la jeunesse et une nature florissante, pure et généreuse ;

pas un pli, pas une cicatrice, pas une fracture ; il n'y avait ni rochers, ni montagnes, ni cavernes profondes, ni failles infranchissables, tout n'était que douceur et uniformité. »

Cette perfection originelle ignorait les saisons car l'axe de la Terre était droit, et le Jardin d'Éden, situé à une latitude moyenne, jouissait d'un éternel printemps.

Mais l'évolution de la Terre exigeait que ce paradis terrestre disparût et cela se produisit naturellement quand l'homme se montra désobéissant et mérita une punition. Les pluies se firent rares, la Terre se dessécha et des crevasses apparurent. La chaleur du soleil vaporisa l'eau qui se trouvait sous la surface. Cette vapeur s'échappa par les crevasses, des nuages se formèrent et la pluie se mit à tomber. Mais quarante jours et quarante nuits ne suffisaient pas, et il fallait que des torrents supplémentaires s'échappent des profondeurs. La pluie ferma les crevasses, formant une sorte de Cocotte-minute sans soupape de sûreté, à l'intérieur de laquelle la pression monta. Finalement, la surface céda, provoquant des raz de marée, la rupture et le déplacement de la surface originelle, ce qui donna naissance aux montagnes et aux fosses océaniques. Cette dislocation fut si violente que la Terre fut chassée de son axe. Les eaux regagnèrent finalement les abysses, laissant derrière elles « des ruines gigantesques et hideuses..., des monceaux de cadavres disloqués ». Quant à l'homme, il avait été conçu pour vivre dans le Jardin d'Éden, et l'espérance de vie des patriarches, qui était supérieure à neuf cents ans, fut divisée par dix.

Ainsi, selon le révérend Thomas, nous habitons une « sale petite planète » dont nous attendons la transformation, conformément aux promesses des Écritures et aux lois de la physique. Les volcans de la Terre vont entrer en éruption tous à la fois, marquant le début de la conflagration universelle. La Grande-Bretagne protestante, avec ses réserves de charbon (presque toutes intouchées du temps de notre auteur), brûlera furieusement, mais l'incendie commencera certainement à Rome, patrie papiste de l'Antéchrist. Les particules partiellement carbonisées se déposeront lentement sur la Terre, formant de nouveau une sphère parfaite, dépourvue de reliefs. Ainsi débutera le règne de mille ans du Christ. À son terme, apparaîtront les géants

Gog et Magog qui provoqueront un nouvel affrontement entre le bien et le mal. Les saints iront dans le sein d'Abraham et la Terre, ayant accompli son cycle, deviendra une étoile.

Pure fantaisie ? En 1970 oui, mais pas en 1681. En fait, pour son époque, Burnet était un rationaliste et se rangeait, aux côtés de Newton, dans un monde où la loi occupait le devant de la scène. L'objectif principal de Burnet était d'expliquer l'histoire de la Terre non par des miracles ou des caprices divins, mais par des mécanismes naturels, physiques. Bien que la fable de Burnet soit imaginaire, ses personnages sont les forces physiques traditionnelles : dessèchement, évaporation, précipitation et combustion. Il est certain qu'il croyait que les Écritures décrivent sans ambiguïté les événements de l'histoire de la Terre, mais qu'il devait pourtant être possible d'en donner une explication scientifique, afin que la parole de Dieu ne contredise pas son œuvre. La raison et la révélation conduisent inévitablement à la vérité, mais, précise Burnet :

« Il est dangereux d'opposer l'autorité des Écritures à la raison, à propos du monde naturel, de peur que le temps, qui fait la lumière sur toute chose, ne révèle que ce que nous avons fait dire aux Écritures est éminemment faux. »

De plus, le Dieu de Burnet n'est pas le faiseur de miracles de l'âge préscientifique, mais l'horloger tout-puissant de Newton qui, après avoir créé la matière et les lois qui la régissent, laisse la nature suivre son cours :

« L'artisan capable de construire une horloge qui sonne toutes les heures par le simple jeu de ses rouages et de ses ressorts nous semble plus habile que celui qui a conçu son horloge de telle sorte qu'il lui faut en déclencher toutes les heures le mécanisme pour la faire sonner ; et s'il imaginait un mécanisme tel qu'il sonnerait toutes les heures et exécuterait tous ses mouvements sans défaillance pendant un temps donné et que, au terme de cette période, sur un simple signal ou la détente d'un ressort, elle tombe d'elle-même en pièces, ne le considérerait-on pas comme plus habile que celui qui devrait se déranger lui-même, le moment venu, et détruire son œuvre à coups de marteau ? »

Bien entendu, je ne prétends pas que Burnet était un homme de science au sens moderne du terme. Il ne fit aucune expérience et n'examina ni les roches ni les fossiles – alors que certains de ses contemporains se livraient déjà à ces activités. Sa méthode était fondée sur le raisonnement « pur » (c'est-à-dire qu'il ne quittait pas son fauteuil) et il écrivait avec autant de fermeté à propos de l'avenir invérifiable qu'à propos du passé vérifiable. À ma connaissance, aucun homme de science moderne n'emploie plus sa méthode – sauf Emmanuel Vélikovsky – car Burnet suppose que les Écritures se rapportent à des faits réels et imagine un mécanisme physique susceptible de les justifier, tout comme Vélikovsky invente une nouvelle physique planétaire, conforme à la lettre des textes anciens.

Pourtant, Burnet n'était pas l'un des piliers de la société théiste. En réalité, la théorie sacrée lui causa bien des ennuis. Dans la meilleure tradition de l'inquisition, l'évêque de Hereford attaqua Burnet pour la confiance qu'il mettait en la raison : « Ou bien son cerveau est fêlé parce qu'il attache trop de prix à son invention, ou bien son âme est pourrie par des desseins diaboliques »... bref, qu'il cherche à nuire à l'Église. Prenant position contre la science, un autre critique appartenant au clergé remarqua : « Bien que nous ayons Moïse, je crois que nous devons attendre qu'Élias nous enseigne ce que sont véritablement la Création et le Déluge²⁴. » John Keill, un mathématicien d'Oxford, prétendit que les explications naturelles de Burnet étaient dangereuses, parce qu'elles laissaient entendre que Dieu était superflu.

Néanmoins, Burnet prospéra pendant un temps. Il devint le confesseur de Guillaume III. On dit même que son nom fit partie de la liste des successeurs possibles de l'archevêque de Canterbury. Mais il finit par aller trop loin. En 1692, il publia un ouvrage dans lequel il proposait une interprétation allégorique des six jours de la Création... et perdit bientôt sa place, bien qu'il eût fait amende honorable, expliquant qu'il n'avait pas eu l'intention de nuire à l'Église.

Ce sont les dogmatistes et les adversaires du rationalisme qui vinrent à bout de Burnet, pas les théistes (il n'y avait pas un seul théiste remarquable dans l'Angleterre du XVII^e siècle). Cent ans plus tard, les mêmes hommes contraignirent Buffon à se rétracter. Cent

cinquante ans plus tard, ils s'en prirent à John Scopes. Aujourd'hui, ils essayent de faire disparaître la théorie de l'évolution des ouvrages de référence.

Il est certain que la science n'est pas exempte de tout reproche. Nous avons persécuté les dissidents, instauré un catéchisme et essayé d'exercer notre autorité dans le domaine de la morale, où elle ne peut se justifier. Pourtant, sans la science et le rationalisme, maintenus dans leur domaine, jamais les problèmes qui se posent à nous ne pourront être résolus. Mais les Yahoos²⁵ n'abandonnent jamais.

18.

Uniformité et catastrophe

La Gideon Society²⁶, qui pourvoit au confort spirituel des voyageurs, persiste à placer la date de la Création en 4004 avant Jésus-Christ, dans les notes sur le premier chapitre de la Genèse. Selon les géologues, notre planète est au moins un million de fois plus âgée : environ 4,5 milliards d'années.

Toutes les sciences ont contribué à mettre en doute l'idée suivant laquelle l'homme aurait une importance cosmique. L'astronomie a montré que nous occupons une petite planète, à la frontière d'une galaxie de taille moyenne, parmi des millions d'autres. La biologie nous a retiré notre statut d'exception aux lois de la nature, créée à l'image de Dieu. La géologie, elle, nous a donné l'immensité du temps et nous a appris que notre espèce n'en avait occupé qu'une part dérisoire.

En 1975, on a célébré le centenaire de la mort de Charles Lyell, héros de la révolution géologique, « miroir de tout ce qui avait réellement de l'importance en géologie », selon un biographe récent. Traditionnellement, on présente l'œuvre de Lyell de la manière suivante. Au début du XIX^e siècle, la géologie était dominée par les « catastrophistes », théologiens qui cherchaient à établir un lien entre les données expérimentales de la géologie et la chronologie biblique. Pour y parvenir, ils imaginèrent qu'il existait une rupture entre les modes de changement du passé et ceux du présent. Bien que l'évolution actuelle, sous l'action des vagues et des fleuves, soit lente et progressive, les événements passés, disaient-ils, furent brutaux et cataclysmiques... ou sinon comment auraient-ils pu se dérouler en quelques milliers d'années seulement ? Les montagnes apparaissaient du jour au lendemain et les précipices en un instant. Donc, les

lois naturelles avaient été altérées par la volonté du Seigneur, et le passé s'était ainsi trouvé exclu du domaine scientifique. D'après Loren Eiseley « [Lyell] a fait son entrée dans le domaine de la géologie alors qu'elle était un paysage sauvage et crépusculaire, agité de convulsions titanesques, de raz de marée, de créations et de disparitions surnaturelles. Des hommes de valeur avaient prêté leur nom à ces élucubrations théologiques ».

En 1830, Lyell publia le premier volume de ses *Principes de géologie*. Toujours selon l'histoire telle qu'on la raconte, il y proclamait avec audace que le temps n'a pas de limite. Ayant posé ce principe fondamental, il prit position en faveur d'une théorie « uniformitariste », doctrine qui fit de la géologie une science. Les lois naturelles sont invariables. Comme on dispose d'une quantité de temps illimitée, l'action lente et continue des éléments suffit pour expliquer le passé. Le présent donne la clé du passé.

L'histoire du rôle joué par Lyell ressemble à tous les récits qui composent généralement l'histoire des sciences : beaucoup d'imagination et peu d'éléments précis.

Il y a quelques mois, alors que je fouinais dans l'ancienne bibliothèque de Harvard, j'ai découvert un exemplaire des *Principes de géologie* annoté par Louis Agassiz (il y a dans les bibliothèques des quantités de trésors inconnus). Agassiz était le plus grand géologue américain, et un catastrophiste convaincu. Pourtant, ses annotations sont en contradiction évidente avec l'interprétation traditionnelle de l'œuvre de Lyell. On y retrouve toutes les critiques habituelles de l'école catastrophiste. Agassiz remarque, par exemple, que la seule action des éléments ne peut rendre compte de l'ampleur de certains événements, et qu'il ne faut donc pas rejeter la notion de cataclysme – ce qui ne l'empêche pas de conclure : « Cet ouvrage est sans aucun doute l'œuvre la plus importante dans ce domaine depuis que la géologie est devenue une science. »

Si les catastrophistes avaient une grosse moustache noire et les uniformitaristes une étoile d'argent, si Lyell était le shérif qui a chassé tous les méchants de la ville, suivant la version manichéenne de l'histoire de la science, alors les annotations d'Agassiz seraient absurdes, car le bandit ne peut pas changer de camp et s'associer au

shérif. Donc, ou bien le scénario est mauvais, ou bien Agassiz était fou.

Pourquoi Agassiz a-t-il fait l'éloge de Lyell ? Pour répondre à cette question, il faut analyser le prétendu uniformitarisme de Lyell. On s'apercevra alors que la géologie moderne est en fait un mélange de conceptions tirées de Lyell et des catastrophistes.

Charles Lyell exerçait la profession d'avocat et son livre est l'une des plus brillantes plaidoiries jamais publiées. C'est un mélange de documentation précise et d'arguments incisifs, agrémenté de quelques « chicaneries et artifices de langage ». Lyell s'est servi de deux tours de passe-passe principaux pour établir que le point de vue uniformitariste constituait le fondement de la seule vraie géologie.

D'abord, il s'est fabriqué un épouvantail pour mieux le démolir. En 1830, aucun géologue sérieux ne croyait plus que les cataclysmes avaient des causes surnaturelles ou que la Terre avait 6 000 ans. Pourtant, ces idées étaient très répandues chez les profanes et défendues par des théologiens pseudo-scientifiques. La rigueur scientifique exigeait leur défaite, mais ils avaient été exclus de la profession aussi bien par les catastrophistes que par les uniformitaristes. Agassiz a donc fait l'éloge de Lyell parce qu'il avait fait connaître au public la véritable position des géologues.

Ce n'est pas la faute de Lyell si les générations suivantes ont pris son épouvantail pour une description valable de l'opposition scientifique à l'uniformitarisme. Pourtant, tous les grands catastrophistes du XIX^e siècle – Cuvier, Agassiz, Sedgwick et Murchison en particulier – reconnaissaient que la Terre était très vieille et cherchaient à expliquer les cataclysmes par des causes naturelles. Si l'on affirme que la Terre n'a que 6 000 ans, et si l'on veut justifier les données de la géologie, la croyance à l'existence des catastrophes est une obligation. Mais l'inverse n'est pas vrai : l'existence des catastrophes n'implique pas que la Terre n'ait que 6 000 ans. Qu'elle ait 4,5 ou 100 milliards d'années, rien n'empêche les montagnes de se former très rapidement.

En réalité, les catastrophistes avaient l'esprit beaucoup plus empirique que Lyell. Il y a bien des indices de catastrophes : certaines roches sont fracturées et déformées, des faunes entières ont été

anéanties. Pour se débarrasser de cette difficulté, Lyell fit appel à son imagination, expliquant que les observations des catastrophistes étaient très imparfaites et qu'il fallait y inclure des éléments qu'il était possible de déduire mais non de vérifier.

D'autre part, l'« uniformité » de Lyell repose sur des éléments composites. Le premier d'entre eux est un critère méthodologique que les hommes de science, qu'ils soient catastrophistes ou uniformitaristes, ne peuvent qu'accepter. Les autres sont des propositions directement liées à l'observation, mais elles ont été vérifiées depuis et abandonnées. Il leur donna un nom puis eut recours à un artifice : il essaya de faire passer les arguments directement liés à l'observation en déclarant que la proposition méthodologique devait être acceptée « de peur que ne resurgisse l'ancien esprit de spéculation et que ne se manifeste de nouveau le désir de couper le nœud gordien plutôt que de le défaire ».

L'uniformité de Lyell repose sur quatre éléments différents :

1. Les lois naturelles sont immuables dans le temps et dans l'espace. Comme l'a montré John Stuart Mill, ce principe n'est pas relatif à une description du monde ; il s'agit d'une affirmation *a priori* que les scientifiques doivent poser s'ils veulent analyser le passé. Si le passé n'est pas stable, si Dieu peut violer à volonté les lois de la nature, la connaissance scientifique est impossible. C'était également l'avis d'Agassiz et des catastrophistes ; eux aussi cherchaient à expliquer les cataclysmes par des causes naturelles et ils soutinrent Lyell dans sa défense de la science contre l'intrusion de la théologie.

2. Les processus qui modèlent actuellement les surfaces de la Terre doivent pouvoir être invoqués pour expliquer les événements du passé (uniformité des processus au cours du temps). Seuls les processus actuels peuvent être observés. Cependant, il sera plus facile d'expliquer les événements du passé s'ils furent le résultat de processus se déroulant encore aujourd'hui. Cet argument, encore une fois, n'est pas relatif à l'observation du monde. C'est un principe de méthode scientifique. Et de nouveau, les hommes de science furent d'accord. Agassiz et les catastrophistes préféraient également les éléments actuels et comme Lyell s'appuyait sur une documentation très précise pour montrer de quoi ces éléments sont capables, ils applau-

dirent. Leur désaccord portait sur un autre point. Pour Lyell, les processus actuels suffisaient à expliquer le passé ; selon les catastrophistes, il fallait toujours donner la préférence à ces processus mais, pour expliquer certains événements, il fallait faire appel à des causes aujourd'hui disparues ou très affaiblies dans leur action.

3. Les variations géologiques sont lentes, progressives et continues, non cataclysmiques ou extrêmes (uniformité de rythme). Voilà enfin une proposition directement en rapport avec l'observation et donc vérifiable. C'est aussi la principale pomme de discorde entre Agassiz et Lyell. Les géologues modernes diront certainement que le point de vue de Lyell a largement prévalu, mais ils feront également remarquer que son insistance sur l'uniformité de rythme ne laissait aucune place à l'imagination. (Lyell, par exemple, n'a jamais accepté la théorie de la glaciation, défendue par Agassiz ; il ne voulait pas concéder que les quantités de glace et les vitesses d'écoulement avaient été différentes dans le passé.)

4. La Terre est restée fondamentalement la même depuis sa formation (uniformité de configuration). Ce dernier élément de l'uniformité est rarement contesté. Après tout, c'est une affirmation empirique, et d'ailleurs dans une large mesure incorrecte. C'est elle, pourtant, qui était la plus chère au cœur de Lyell, et sa conception de la Terre reposait sur elle. La Terre de Newton tourne sans fin autour de son étoile et son histoire n'a pas de sens. Un instant particulier est semblable à tous les instants. Ne pouvait-on appliquer cette vision grandiose à la géologie de notre planète ? Il arrive que les continents et les océans changent de place, mais les proportions ne changent pas dans le temps ; les espèces vont et viennent, mais la complexité moyenne de la vie ne change pas. Variations infinies dans les détails, invariabilité de la structure... dynamique de l'équilibre, pour employer le jargon actuel.

Contrairement à tout ce qu'on savait, Lyell en vint à affirmer qu'on découvrirait des mammifères dans les couches les plus anciennes des roches fossilifères. Pour concilier sens de l'Histoire et dynamique de l'équilibre, il supposa que les fossiles connus ne représentaient qu'une partie d'une « grande année », cycle grandiose qui reprendra quand « l'énorme iguanodon fera de nouveau son appari-

tion dans les forêts, et l'ichtyosaure dans les mers, pendant que le ptérodactyle volera de nouveau sous les futaies de fougères arborescentes ».

Les catastrophistes le prirent au mot. Ils entendirent que l'histoire de la vie avait un sens, ce qui était bien leur avis. Rétrospectivement, ils ont eu raison.

Presque tous les géologues diront que leur science doit tout à la victoire de l'uniformitarisme de Lyell sur le catastrophisme, doctrine non scientifique. En fait, la géologie est un mélange harmonieux de deux écoles scientifiques : l'uniformitarisme rigide de Lyell et le catastrophisme scientifique d'Agassiz et de Cuvier. Nous admettons les deux premières uniformités de Lyell, mais les catastrophistes les admettaient également. La troisième uniformité, dans un sens moins rigide, constitue sa contribution la plus importante. La quatrième (celle à laquelle il tenait le plus) est complaisamment passée sous silence.

Pourtant, il y aurait beaucoup à dire sur la conception de Lyell. La dynamique de l'équilibre peut sembler complètement inconciliable avec certains aspects de l'histoire de la vie et de la Terre, qui semblent bien avoir un sens. Mais le christianisme médiéval était capable d'inclure les deux points de vue dans sa conception de l'histoire. Dans les vitraux de Chartres, l'histoire de l'humanité est représentée linéairement. Elle débute au transept nord, fait le tour de la nef et se termine au transept sud. Elle a un sens : il y a une Création, une venue du Christ, une résurrection des morts. Mais il existe également un système de correspondances destiné à donner une impression d'intemporalité. Le Nouveau Testament rappelle l'Ancien. Marie est le buisson ardent, parce que tous deux possédaient en eux le feu divin et ne furent pas détruits par lui. Le Christ est comme Jonas parce qu'ils réapparurent tous deux après trois jours. Les deux conceptions – directionnalisme et dynamique de l'équilibre – ne sont pas inconciliables. La géologie devrait également chercher à réaliser leur synthèse.

19.

Le choc de Vélikovsky

Il y a peu, Vénus sortit de Jupiter, comme Athéna du front de Zeus... au sens propre ! Elle prit ensuite la forme et l'orbite d'une comète. En 1 500 avant Jésus-Christ, à l'époque où les juifs quittèrent l'Égypte, la Terre traversa deux fois la queue de Vénus, ce qui eut des avantages et des inconvénients : la manne des cieux – ou plutôt des hydrocarbures contenus dans la queue de la comète – et les rivières rouges de sang des fléaux bibliques : le fer de la même queue. Poursuivant sa course folle, Vénus entra en collision avec Mars – ou le frôla – perdit sa queue et s'installa sur son orbite actuelle. Mars quitta alors sa position et faillit heurter la Terre en 700 avant Jésus-Christ. Cela provoqua une terreur telle et le désir d'oublier ces événements fut si ardent qu'ils ont été gommés de notre conscience. Pourtant, tapis dans notre mémoire inconsciente, ils provoquent la peur, la névrose, l'agressivité et la guerre.

Cela ressemble fort au scénario d'un très mauvais film. Il s'agit néanmoins d'une théorie sérieuse exposée par Emmanuel Vélikovsky dans *Worlds in collision*. Et Vélikovsky n'est ni un idiot ni un charlatan, bien que, pour exprimer mon opinion en citant l'un de mes confrères, il se soit pour le moins glorieusement trompé.

Son livre, *Worlds in collision*, publié il y a vingt-cinq ans, est, aujourd'hui encore l'objet de nombreuses discussions. Il a également soulevé une série de problèmes sans rapport direct avec les questions scientifiques elles-mêmes. Les universitaires qui ont essayé d'empêcher la publication de l'ouvrage de Vélikovsky ont certainement eu tort. Mais il ne suffit pas d'être persécuté pour être Galilée, encore faut-il avoir raison. D'ailleurs, l'attitude à l'égard des hérétiques a

changé. Bruno a été brûlé vif ; Galilée, après avoir visité la salle de torture, fut consigné chez lui. Vélikovsky a gagné de la publicité et beaucoup d'argent. L'inquisiteur Torquemada était diabolique. Les scientifiques, adversaires de Vélikovsky, sont simplement des sots.

Vélikovsky part du principe que les événements rapportés dans les chroniques antiques ont réellement eu lieu. Par exemple, si, selon la Bible, le soleil s'est arrêté, Vélikovsky pense que cet événement s'est réellement produit (puisque l'attraction exercée par Vénus a arrêté pour un temps la rotation de la Terre). Puis il essaye de mettre au point une explication physique, même bizarre, susceptible de rendre ces faits compatibles. Un scientifique ferait exactement le contraire et se servirait des connaissances physiques pour décider si les légendes sont effectivement vraies. Deuxièmement, Vélikovsky sait bien que les lois de l'univers de Newton, où les corps célestes sont soumis aux forces de la gravitation, ne permettent pas aux planètes de se promener. Il propose donc une physique entièrement nouvelle, fondée sur des forces électromagnétiques. Bref, Vélikovsky reconstruit la mécanique céleste afin d'établir la véracité des légendes antiques.

Ayant conçu une théorie cataclysmique de l'histoire humaine, Vélikovsky chercha ensuite à généraliser sa physique en l'étendant au temps géologique. En 1955, il publia *Earth in upheaval*, son traité de géologie. Après avoir mis Newton et la physique moderne en question, il s'attaqua à Lyell et à la géologie moderne. Il supposa que, si nous avons reçu deux fois en trois mille cinq cents ans la visite de planètes à la dérive, ce seraient les catastrophes, et non le changement lent et progressif défini par l'uniformitarisme de Lyell, qui caractériseraient l'histoire de la Terre.

Vélikovsky fouina dans la littérature géologique de ces cent dernières années à la recherche de cataclysmes... déluges, tremblements de terre, volcans, apparitions de montagnes, extinctions massives, changements de climat. Il trouva tout ce qu'il voulait et chercha à tout cela une cause commune :

« Ce qui les a déclenchés, écrit-il, a dû être brutal et violent ; cela a certainement dû se produire plusieurs fois, mais à intervalles irréguliers ; et ce devait être d'une puissance titanesque. »

Comme on pouvait s'y attendre, il invoqua les forces électromagnétiques des corps célestes extérieurs à la Terre. Il démontra en particulier que ces forces perturbaient rapidement l'orbite de la Terre, et parvenaient, dans des cas extrêmes, à la retourner complètement, les pôles se trouvant alors à l'équateur. Sa description des conséquences de ce déplacement brutal de l'axe de la Terre est très vivante :

« À ce moment, un tremblement de terre secouerait le globe. L'air et l'eau, mis en mouvement, continueraient sur leur lancée ; des tornades se déclencheraient et les océans envahiraient les continents... Il y aurait production de chaleur, les roches fondraient, les volcans entreraient en éruption, la lave surgirait hors des fissures et recouvrirait des régions entières. Les montagnes jailliraient des plaines. »

Si *Worlds in collision* reposait sur le témoignage des chroniqueurs, *Earth in upheaval* s'appuie uniquement sur les ouvrages concernant la géologie. Toute l'argumentation de Vélikovsky se base sur sa lecture de la littérature géologique. Et là, il faut bien dire qu'il le fait sans aucun discernement.

Tout d'abord, il suppose que la similarité des formes reflète la simultanéité des occurrences, et il prend l'exemple de poissons fossiles découverts en Angleterre, dans des dépôts sédimentaires datant du dévonien (entre 350 et 400 millions d'années avant notre époque). Il y voit des indices de mort violente : corps tordus, absence de prédation, et même des signes de « surprise et de terreur » imprimés à jamais sur les traits des fossiles. Et il en conclut que c'est probablement une catastrophe brutale qui a exterminé ces poissons. S'il est vrai que la mort n'est jamais une circonstance réjouissante pour n'importe qui, il faut rappeler que ces fossiles sont répartis dans des sédiments de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, ce qui correspond à plusieurs millions d'années de déposition ! De même, les cratères de la Lune se ressemblent tous, et ils proviennent tous de l'impact d'une météorite. Mais ce phénomène s'étend sur des milliards d'années et l'hypothèse de Vélikovsky, selon laquelle ils sont apparus simultanément dans le bouillonnement de la Lune en fusion, a été définitivement ruinée par les vols *Apollo*.

D'autre part, il estime que les événements sont d'autant plus foudroyants que leurs conséquences sont plus importantes. C'est ainsi

qu'il décrit avec force détails les centaines de mètres cubes d'eau qui se sont évaporés des océans et ont formé les grands glaciers du pléistocène. Pour lui, les océans ont d'abord été portés à ébullition et il y a eu ensuite un refroidissement général :

« Une suite d'événements particuliers était nécessaire : les océans ont libéré de la vapeur d'eau et cette eau, vaporisée, est tombée, sous forme de neige, dans les régions tempérées. Le froid a dû prendre rapidement la place de la chaleur. »

Pourtant, les glaciers ne se sont pas formés du jour au lendemain. Ils sont apparus « rapidement », suivant les critères de la géologie, mais les quelques milliers d'années nécessaires à leur formation suffirent à l'accumulation progressive de la neige grâce aux précipitations annuelles. Il est inutile de faire bouillir les océans ; il neige encore au nord du Canada.

Troisièmement, Vélikovsky a tendance à prendre des catastrophes localisées pour des cataclysmes à l'échelle de la planète. Aucun géologue ne conteste que des raz de marée, des tremblements de terre ou des éruptions volcaniques se soient produits localement. Mais cela n'a rien à voir avec les catastrophes globales, causées par le déplacement de l'axe de la Terre, dont parle Vélikovsky. Néanmoins, presque tous les « exemples » de Vélikovsky sont des événements localisés combinés à une extrapolation injustifiée, destinée à démontrer leur impact planétaire. Il parle, par exemple, de la carrière d'Agate Springs, dans le Nebraska. Il s'agit d'un « cimetière » de mammifères qui contient les ossements de près de 20 000 animaux. Mais cette concentration n'est pas forcément l'indice d'une catastrophe. Les rivières et les océans sont parfaitement capables d'accumuler progressivement d'immenses quantités d'ossements et de coquilles. Et même si ces animaux ont été effectivement noyés par un déluge localisé, rien ne prouve que leurs contemporains, sur les autres continents, aient subi le même sort.

Quatrièmement, Vélikovsky utilise exclusivement des sources périmées. Avant 1850, presque tous les géologues considéraient les catastrophes comme l'agent principal du changement géologique. Ces hommes n'étaient pas des imbéciles et défendaient leur position d'une manière cohérente. Si on ne lit que leurs ouvrages, leurs

conclusions semblent se tenir. Et lorsqu'il parle de la disparition des poissons fossiles, Vélikovsky ne cite que l'ouvrage de Hugh Miller, paru en 1841, et ceux de William Buckland, parus en 1820 et 1837. La volumineuse littérature de ces cent dernières années n'est pourtant pas complètement dépourvue d'intérêt. De même, Vélikovsky se réfère à l'ouvrage de John Tyndall, paru en 1883, en ce qui concerne l'explication météorologique de l'origine de la glaciation. Pourtant, ce sujet a été l'un des plus discutés de notre siècle.

Enfin, il manque de soin, d'exactitude et recourt sans arrêt à des tours de passe-passe. *Earth in upheaval* fourmille d'erreurs mineures, de demi-vérités qui sont sans importance en elles-mêmes, mais qui reflètent soit une attitude cavalière à l'égard des ouvrages de géologie, soit, plus simplement, l'inaptitude à les comprendre. Ainsi, Vélikovsky attaque le postulat central de l'uniformitarisme, selon lequel il est possible d'expliquer le passé par les mécanismes du présent, en affirmant qu'il n'y a pas actuellement formation de fossiles. Il suffit d'avoir sorti de vieux os du fond d'un lac ou d'avoir déterré des coquillages sur une plage pour savoir que cette affirmation est tout simplement absurde. De même, Vélikovsky réfute le gradualisme darwinien en prétendant que « certains organismes, comme les foraminifères, ont franchi toutes les époques géologiques sans participer à l'évolution ». On trouve parfois cette affirmation dans la littérature datant de l'époque où l'on n'avait pas encore étudié sérieusement ces animaux unicellulaires. Mais personne ne l'a plus soutenue depuis la publication du gros ouvrage descriptif de J.A. Cushman, dans les années vingt. Enfin, nous apprenons que les roches ignées, le granité et le basalte, « contiennent les fossiles d'innombrables organismes vivants ». Voilà qui est nouveau, pour tous les paléontologistes professionnels.

Mais toutes ces critiques sont peu de chose devant la réfutation la plus décisive des faits cités par Vélikovsky : leur explication par la dérive des continents et la tectonique des plaques. Et là, on ne peut faire des reproches à Vélikovsky. Il y en a bien d'autres, et des plus orthodoxes que lui, à avoir été démolis par cette grande révolution de la pensée géologique. Dans *Earth in upheaval*, Vélikovsky affirme, avec juste raison, que la dérive des continents ne peut expliquer les phénomènes qu'il cite à l'appui de sa théorie. Et, pour rejeter cette idée, il

s'est servi de l'argument le plus souvent cité par les géologues : l'absence d'un mécanisme capable de faire bouger les continents. Ce mécanisme, on le connaît aujourd'hui, puisqu'on a prouvé que le fond de l'océan s'étend. La faille d'Afrique n'est pas une cassure qui se serait produite quand la Terre se serait retournée ; elle fait partie du système de failles de la Terre, c'est la frontière entre deux plaques. L'Himalaya n'est pas apparu quand la Terre a changé d'axe, mais quand la plaque indienne est entrée en collision avec l'Asie. Les volcans du Pacifique, l'« Anneau de feu » ne résultent pas de la fonte des roches lors du dernier déplacement de l'axe, ils marquent l'endroit où deux plaques se rencontrent. Il y a des coraux fossiles dans les régions polaires, du charbon dans l'Antarctique, et des indices de glaciation permienne dans les régions tropicales d'Amérique du Sud. Mais il est inutile de supposer que la Terre s'est retournée pour expliquer tout cela : il suffit de dire que les continents ont dérivé, passant par des régions climatiques différentes, avant de prendre leur position actuelle.

Avec les plaques tectoniques, Vélikovsky a perdu beaucoup plus que son mécanisme de déplacement de l'axe ; c'est le fondement même de sa théorie catastrophiste qui est en cause. Comme dit Walter Sullivan, dans un livre récent sur la dérive des continents, la théorie des plaques tectoniques a renforcé la position des uniformistes en expliquant les événements passés par des mécanismes qui fonctionnent actuellement avec une intensité à peu près égale. Car les plaques bougent aujourd'hui encore, entraînant leurs continents. Et toutes les conséquences de ce déplacement : la ceinture de tremblements de terre et de volcans, la collision des continents, la disparition massive de faunes entières s'expliquent très logiquement par le mouvement ininterrompu de ces plaques géantes, au rythme de quelques centimètres par an.

L'affaire Vélikovsky soulève le problème de l'impact de la science sur le public. Comment le profane peut-il juger les affirmations contradictoires d'auteurs qui se présentent comme des experts ? Tous ceux qui savent écrire peuvent tourner une démonstration convaincante sur n'importe quel sujet sans rapport avec la spécialité du lecteur. Même von Daniken paraît bon, si on ne lit que *Chariots of the Gods*. Je ne peux me permettre de juger les bases historiques de *Worlds in collision*. Je sais peu de chose de la mécanique céleste et

encore moins de l'histoire du Moyen Empire égyptien – mais j'ai entendu des experts fustiger la chronologie de Vélikovsky. Je ne veux pas montrer que l'amateur a forcément tort. Pourtant, quand je vois combien Vélikovsky se sert mal d'éléments qui me sont familiers, j'ai des doutes sur l'utilisation qu'il fait des matériaux que je ne connais pas. Mais que peut faire celui qui n'est spécialiste ni en égyptologie, ni en astronomie, ni en géologie, lorsqu'il est confronté à une hypothèse aussi passionnante, si l'on tient compte de la tendance, que nous avons tous, à nous ranger aux côtés du plus faible ?

Bon nombre des conceptions fondamentales de la science moderne étaient au départ des spéculations hérétiques avancées par des gens extérieurs à la profession. Pourtant, l'Histoire déforme notre jugement. Nous chantons les louanges du héros anticonformiste, mais pour un hérétique qui réussit, des centaines d'hommes ont défié les conceptions dominantes et ont perdu. Qui a entendu parler d'Eimer, de Cuénot, de Trueman, ou de Lang, les premiers défenseurs de l'orthogénèse (évolution dirigée) face à la marée darwinienne ? Je continue à me ranger aux côtés des profanes qui prêchent l'hérésie, mais je ne pense pas que Vélikovsky sera parmi les gagnants de ce jeu, qui compte parmi les plus difficiles.

20.

Le succès de la dérive des continents

Quand la nouvelle orthodoxie darwinienne se répandit en Europe, le plus brillant de ses adversaires, le vieil embryologiste Karl-Ernst von Baer, remarqua, avec une ironie amère, que toute théorie qui triomphe est passée par trois étapes. D'abord, elle a été considérée comme fausse puis rejetée comme contraire à la religion, et finalement, elle a été acceptée en dogme, et tous les hommes de science prétendent qu'ils en ont les premiers reconnu la valeur.

Lorsque j'ai eu connaissance pour la première fois de la théorie de la dérive des continents, elle subissait l'inquisition de la deuxième étape. Kenneth Caster, le seul paléontologiste américain de poids à oser la défendre ouvertement, vint faire une conférence à Antioch College, où j'ai fait mes premières armes. Nous n'avions pas une réputation de conservatisme acharné, mais nous pensions presque tous que ses idées étaient à peine sensées. Comme j'en suis maintenant à la troisième étape, je me souviens parfaitement que Caster a semé dans mon esprit les graines fécondes du doute. Je me souviens que, quelques années plus tard, alors que je terminais mes études à l'université Columbia, mon professeur de stratigraphie, homme au demeurant fort distingué, traita avec dérision un partisan australien de la dérive, invité à l'Université. Il alla même jusqu'à diriger le chahut des étudiants, qui tout imprégnés de la « vraie » doctrine, conspuèrent ce conférencier. (Encore une fois, avec le recul, je me souviens de cet épisode avec amusement, mais aussi une pointe de remords.) Au crédit de mon professeur, je dois mentionner qu'il s'est converti deux ans plus tard, et a passé le reste de sa vie à réviser son œuvre.

Aujourd'hui, dix ans plus tard, mes propres étudiants seraient encore plus durs avec ceux qui nieraient l'existence de la dérive des continents. Un fou prophétique est amusant, un demeuré rétrograde est simplement pitoyable. Comment un changement aussi radical a-t-il pu s'opérer en dix ans ?

Presque tous les hommes de science soutiennent, ou du moins affirment en public, que leur profession s'approche à grands pas de la vérité parce qu'elle accumule des connaissances de plus en plus nombreuses dans le cadre d'une technique infallible appelée « la méthode scientifique ». Si tel était le cas, il serait facile de répondre à cette question. Les faits, tels qu'on les connaissait il y a dix ans, parlaient contre la dérive des continents. Depuis, nous avons eu connaissance d'éléments nouveaux et nous avons révisé notre opinion en conséquence. Pourtant, ce scénario est en général inapplicable et, dans ce cas, complètement inadapté.

Pendant la période de rejet pratiquement universel, les faits favorables à la dérive des continents, c'est-à-dire l'étude des couches géologiques observables sur les cinq continents, étaient en tout point semblables à ceux que nous connaissons aujourd'hui. On repoussait la théorie parce que personne n'avait pu imaginer un mécanisme physique permettant aux continents de se déplacer sur le fond solide des océans. En l'absence de mécanisme plausible, la théorie était considérée comme absurde. Il était toujours possible d'expliquer autrement les éléments qui lui semblaient favorables. Si ces explications paraissaient partielles ou forcées, elles restaient moins improbables que la dérive des continents. Au cours de ces dix dernières années, on a découvert des faits nouveaux, qui concernent cette fois le fond des océans. Grâce à ces éléments, une bonne dose d'imagination créatrice et une meilleure compréhension de l'intérieur de la Terre, on a échafaudé une nouvelle théorie de la dynamique planétaire. Dans le cadre de la théorie des plaques tectoniques, on ne peut échapper à la dérive des continents. Les vieilles observations sur les couches géologiques continentales, qui étaient autrefois unanimement rejetées, ont été remises à l'honneur et ont servi à prouver définitivement l'existence de la dérive. En bref, nous acceptons maintenant la dérive des continents parce qu'elle fait partie de la nouvelle orthodoxie.

Cet épisode est typique du progrès scientifique. Des faits nouveaux rassemblés dans le cadre de vieilles théories sont rarement le prélude à une réelle évolution de la pensée. Les faits ne « parlent pas d'eux-mêmes » ; ils sont interprétés à la lumière de la théorie. La pensée créatrice, dans les sciences autant que dans les arts, est le moteur du changement. La science est une activité essentiellement humaine, non l'accumulation mécanique, automatique d'informations objectives qui conduirait, grâce aux lois de la logique, à des conclusions inévitables. Je vais essayer d'illustrer cette thèse à l'aide de deux exemples tirés de l'arsenal classique de la théorie de la dérive des continents. Ils se rapportent à des faits qu'il avait fallu écarter quand la dérive n'était pas acceptée.

1. La glaciation de la fin du paléozoïque. Il y a environ 240 millions d'années, les glaciers couvraient en partie ce qui est actuellement l'Amérique du Sud, l'Antarctique, l'Inde, l'Afrique et l'Australie. Si les continents sont immobiles, cette distribution présente des difficultés en apparence insolubles :

a. l'orientation des stries en Amérique du Sud indique que les glaciers venaient de ce qui est actuellement l'océan Atlantique (les stries sont des éraflures du lit du glacier, produites par les rochers emprisonnés dans la glace). Les océans forment un seul système, et les courants chauds qui prennent naissance dans les régions tropicales empêchent qu'aucune partie majeure d'un océan ouvert puisse geler ;

b. les glaciers africains couvraient des régions actuellement tropicales ;

c. les glaciers indiens se sont développés dans les régions subtropicales de l'hémisphère Nord. De plus, les stries indiquent qu'ils ont pris naissance dans les eaux tropicales de l'océan Indien ;

d. il n'y avait pas de glaciers sur les continents du nord. Si la Terre était assez froide pour geler l'Afrique tropicale, pourquoi n'y avait-il pas de glaciers en Sibérie et dans le nord du Canada ?

Toutes ces difficultés disparaissent si l'on suppose que les continents du sud – y compris l'Inde – n'en formaient qu'un seul pendant cette période glaciaire, et se trouvaient plus au sud, recouvrant le pôle. Les glaciers sud-américains prirent naissance en Afrique, non

dans l'océan ; l'Afrique « tropicale » et l'Inde « subtropicale » étaient situées près du pôle Sud. Le pôle Nord se trouvait au milieu d'un immense océan, ce qui empêchait la formation de glaciers dans l'hémisphère Nord. Plus personne n'en doute aujourd'hui.

2. *La distribution des trilobites du cambrien* (arthropodes fossiles qui vivaient il y a 500 ou 600 millions d'années). Les trilobites cambriens d'Europe et d'Amérique du Nord se divisent en deux faunes distinctes, dont la répartition sur les cartes modernes est assez étrange. Les trilobites « atlantiques » vivaient en Europe et dans quelques régions de la limite est de l'Amérique du Nord : à l'est (mais pas à l'ouest) de Terre-Neuve et dans le sud-est du Massachusetts, par exemple. Les trilobites « pacifiques » vivaient en Amérique et dans quelques endroits de la côte ouest de l'Europe : le nord de l'Écosse et le nord-ouest de la Norvège, notamment. Il est pratiquement impossible d'expliquer cette répartition si les continents ont toujours été séparés par 5 000 kilomètres d'océan.

Mais la dérive des continents suggère une solution satisfaisante. Au cambrien, l'Europe et l'Amérique du Nord étaient séparées ; les trilobites « atlantiques » vivaient autour de l'Europe, les trilobites « pacifiques » autour de l'Amérique. Ces deux continents, qui présentent actuellement des sédiments où sont ensevelis les trilobites, s'approchèrent l'un de l'autre et finirent par se souder. Plus tard, ils se séparèrent de nouveau, mais pas exactement suivant la ligne de leur jonction. Des morceaux de l'ancienne Europe, contenant des trilobites « atlantiques », restèrent fixés à la limite est de l'Amérique, alors que des parties de l'ancienne Amérique restaient solidaires de la face ouest de l'Europe.

Aujourd'hui, on cite souvent ces deux exemples comme « preuves » de l'existence de la dérive des continents, alors qu'ils étaient unanimement rejetés auparavant – et cela non parce que les informations étaient moins complètes, mais simplement parce que personne n'avait imaginé un mécanisme capable de faire bouger les continents. Les premiers partisans de la dérive croyaient que les continents se déplaçaient en labourant le fond de l'océan. Alfred Wegener, le père de la dérive des continents, prétendit, au début du siècle, que la gravité, à elle seule, était capable de mettre les conti-

nents en mouvement. Les continents dériveraient lentement – vers l’ouest, par exemple – parce qu’ils seraient retenus par l’attraction de la Lune et du Soleil, alors que la Terre continuerait sa rotation sous eux. Les physiciens tournèrent la chose en dérision et montrèrent, chiffres à l’appui, que la gravité est trop faible pour mouvoir des masses aussi imposantes. Alexis du Toit, défenseur sud-africain de Wegener, changea de tactique. Il prétendit que le fond de l’océan se liquéfiait sous l’effet de forces radioactives aux abords des continents, ce qui permettait à ceux-ci de se déplacer. Cette hypothèse « sur mesure » ne fit rien pour la crédibilité de l’idée de Wegener.

Puisque la dérive paraissait absurde en l’absence d’un mécanisme qui permette de l’expliquer, les géologues orthodoxes se mirent en devoir d’expliquer les éléments qui jouaient en sa faveur comme une suite de coïncidences.

En 1932, le célèbre géologue américain Bailey Willis s’efforça de rendre les indices de glaciation compatibles avec l’immobilité des continents. Il fit surgir pour cela un véritable *deus ex machina* : les isthmes, étroites bandes de terre franchissant avec désinvolture plus de 5 000 kilomètres d’océan. Il en plaça un entre l’est du Brésil et l’ouest de l’Afrique, un autre allant d’Afrique en Inde *via* la République malgache, et un reliant le Vietnam à l’Australie, par Bornéo et la Nouvelle-Guinée. Son collègue de Yale, le professeur Charles Schuchert, en ajouta un qui liait l’Australie à l’Antarctique et un deuxième, qui réunissait l’Antarctique à l’Amérique du Sud, isolant ainsi un océan du reste des eaux du monde. Un tel océan pourrait geler à partir du sud, permettant ainsi aux glaciers de couvrir l’est de l’Amérique du Sud. Ses eaux froides auraient également pu alimenter les glaciers d’Afrique du Sud. Les glaciers indiens, situés au-dessus de l’équateur, à plus de 4 500 kilomètres au nord des glaces du sud, exigeaient une explication distincte. Willis écrivit : « Il n’est pas raisonnablement possible d’établir un lien entre ces faits. Il faut étudier ce cas en fonction des conditions générales et sur la base des conditions géographiques et topographiques locales. » L’esprit inventif de Willis était à la hauteur de la tâche : il imagina qu’il y avait à cet endroit des reliefs tellement élevés que le produit de l’évaporation des eaux chaudes du sud s’y déversait sous forme de neige. Pour rendre compte de l’absence de glace dans les zones arctiques et tempérées de l’hémisphère

Nord, Willis mit au point un système de courants marins qui lui permit de postuler l'existence d'« un courant chaud, coulant en profondeur et se dirigeant vers le nord, qui faisait surface dans l'Arctique et agissait comme un système de chauffage central ». La solution des isthmes convenait parfaitement à Schuchert, qui écrivit :

« Une bande de terre allant de l'Afrique au Brésil, une autre de l'Amérique du Sud à l'Antarctique (elle n'a pas complètement disparu aujourd'hui), une autre encore de cette région polaire à l'Australie puis, par la mer d'Arafoura, à Bornéo, Sumatra et l'Asie, plus les structures généralement acceptées de dispersion le long des plateformes continentales, les vents, les courants marins et les oiseaux migrateurs suffisent pour expliquer la répartition de la vie dans les océans et sur terre, pendant l'histoire géologique, sur la base de la disposition actuelle des continents. »

Toutes ces bandes de terre n'avaient qu'une seule chose en commun : elles étaient parfaitement hypothétiques ; il n'existait pas une seule preuve concrète de leur existence. Pourtant, de peur que l'on ne considérât un peu rapidement la saga des isthmes comme un conte de fées inventé par des gardiens du dogme désireux de préserver à tout prix une orthodoxie insoutenable, il faut remarquer que pour Willis, Schuchert et tous les géologues en vue dans les années trente, une chose paraissait à l'évidence plus absurde encore que des bandes de terre longues de milliers de kilomètres. Cette chose c'était la dérive des continents.

Pour des imaginations aussi fertiles, les trilobites du cambrien ne présentaient pas de difficulté insurmontable. On interprétait les régions de l'Atlantique et du Pacifique comme des environnements différents plutôt que comme des lieux différents : eaux peu profondes dans le Pacifique, plus profondes dans l'Atlantique. Comme on avait toute liberté pour inventer à son gré la configuration du fond des océans du cambrien, les géologues dessinèrent leurs cartes et modélèrent leur orthodoxie.

Quand la dérive des continents fut mise à la mode, dans les années soixante, les études classiques des roches continentales ne jouèrent aucun rôle. La dérive fut la conséquence directe d'une nouvelle théorie, fondée sur de nouvelles informations. Les absurdités de

la théorie de Wegener reposaient sur sa conviction que les continents « labouraient » le fond de l'océan. Était-il possible que la dérive se produisît d'une autre façon ? Le fond des océans, la croûte terrestre doit avoir un volume constant. Alors, si certains de ces morceaux bougent, cela ne doit-il pas ouvrir des trous béants à la surface de la Terre ? Rien ne paraît plus évident. Mais si cela n'ouvrait pas de trous ?

En général, ce sont nos théories qui définissent l'impossible, pas la nature. L'essence des théories révolutionnaires est l'inattendu. Si les continents doivent effectivement « labourer » le fond des océans, la dérive ne peut pas exister. Mais supposons que les continents soient solidaires de la croûte et suivent passivement le mouvement des morceaux de croûte. Cependant, nous venons de dire que la croûte ne peut pas se déplacer sans laisser des trous. Nous atteignons ici une impasse dont on ne peut sortir que par un effort d'imagination, et non par une saison de fouille dans les Appalaches. Il nous faut imaginer une conception de la Terre totalement différente.

Il est possible d'éluder le problème des trous grâce à un postulat audacieux, et qui paraît valide. Si deux morceaux du fond de l'océan s'éloignent l'un de l'autre, ils ne laisseront pas de trou si les matériaux venus de l'intérieur de la Terre comblent le vide. Ou, pour le dire autrement, l'apparition de matériaux nouveaux est peut-être la force motrice qui permet au fond de l'océan de se déplacer. Mais, puisque la Terre ne grandit pas, il doit exister des régions où le fond de l'océan sombre à l'intérieur de la Terre, de telle sorte que soit maintenu un équilibre entre création et destruction de croûte.

En réalité, il semble que la surface de la Terre soit divisée en moins de dix « plaques » majeures limitées sur leur périmètre par d'étroites zones de création – les « dorsales océaniques » – et de destruction – les « fosses ». Les continents sont solidaires de ces plaques et se déplacent en même temps qu'elles quand elles s'éloignent des zones de création de croûte. Dès lors, la dérive des continents n'est plus une théorie en elle-même, c'est une conséquence de notre nouvelle orthodoxie : les plaques tectoniques.

Nous avons maintenant une théorie mobiliste, aussi définitive et inébranlable que le staticisme qu'elle a remplacé. À sa lumière, les

observations classiques, favorables à la dérive, ont été exhumées et élevées au rang de preuves. Pourtant, ces observations n'ont joué aucun rôle dans l'établissement de l'existence de la dérive. Celle-ci n'a été acceptée que comme conséquence nécessaire d'une nouvelle théorie.

Il n'existe pas de « faits purs » dans notre monde complexe, et la nouvelle orthodoxie est désormais le cadre de l'analyse de toutes les nouvelles données. Il y a cinq ans, les paléontologistes ont découvert dans l'Antarctique un reptile fossile : le *Lystrosaurus*. Cet animal vécut également en Afrique du Sud et – probablement – en Amérique du Sud, bien qu'on n'ait pas découvert sur ce continent de roches datant de l'époque appropriée. Prétendre devant Willis et Schuchert que c'était là un argument en faveur de la dérive, c'eût été courir à l'échec... et non sans raisons. Car, actuellement, l'Amérique du Sud et l'Antarctique sont presque liés par une chaîne d'îles, et une bande de terre les a certainement mis en contact à plusieurs reprises dans le passé. Il suffirait même d'un abaissement minime du niveau de la mer pour faire apparaître cette bande de terre aujourd'hui. Il est fort possible que le *Lystrosaurus* ait traversé à pied sec. Pourtant, le *New York Times* a publié un article affirmant, sur cette seule base, l'existence de la dérive des continents.

Une telle primauté de la théorie étonnera sans doute beaucoup de lecteurs. Ne conduit-elle pas au dogmatisme, à l'irrespect des faits ? Cela est évidemment possible, mais ce n'est pas inévitable. Depuis toujours, les théories sont chassées par de nouvelles théories, ce qui prouve que l'orthodoxie n'est pas inébranlable. D'autre part, l'engouement actuel pour les plaques tectoniques ne me déplaît pas. Mon intuition, influencée, à n'en pas douter par l'environnement culturel, me souffle que cette théorie est fondamentalement correcte. De plus, je la trouve tout à fait passionnante. C'est plus qu'il n'en faut pour montrer que la science traditionnelle est parfois infiniment plus intéressante que tout ce que peuvent inventer les von Däniken de cet âge où la crédulité humaine n'est pas moindre qu'autrefois.

VI.

La taille et la forme. Des églises aux cerveaux et aux planètes

21.

La taille et la forme

Nous avons beau admirer la diversité des espèces animales et nous réjouir de leurs bizarreries, il faut cependant reconnaître qu'il existe des limites à la structure des organismes. Il est même facile de mettre en évidence des constantes dans les rapports de la taille et de la forme.

Les animaux sont des objets physiques. La sélection naturelle les modèle au mieux de leurs intérêts. En conséquence, ils doivent adopter la forme la mieux adaptée à leur taille. L'influence relative de certaines forces fondamentales (la pesanteur, par exemple) varie régulièrement en fonction de la taille, et les animaux réagissent en modifiant systématiquement leur forme.

La géométrie dans l'espace elle-même est une cause majeure de corrélation entre la taille et la forme. Du simple fait que sa taille augmentera, un objet verra sa surface relative diminuer, sans que sa forme change. Cette diminution survient parce que le volume augmente en fonction du cube de la longueur (longueur \times longueur \times longueur) alors que la surface n'augmente qu'en fonction de son carré (longueur \times longueur). En d'autres termes, le volume augmente plus rapidement que la surface.

En quoi cela concerne-t-il les animaux ? Les fonctions qui dépendent de la surface doivent alimenter le corps tout entier. La nourriture digérée passe dans le corps au travers de surfaces ; l'oxygène est absorbé par l'intermédiaire de surfaces ; la résistance des os des jambes dépend de la surface de leur section – mais les jambes doivent supporter un corps dont le poids augmente du cube de sa longueur. Galilée fut le premier à mettre ce principe en évidence, en

1638, dans ses *Discorsi*, chef-d'œuvre qu'il écrivit quand il fut consigné chez lui par l'inquisition. Il y montre que les os des gros animaux doivent épaissir disproportionnellement pour parvenir à la même résistance relative que les os fins d'une créature de petite taille.

Figure 9

Lors de l'évolution progressive des animaux de grande taille et complexes, une solution a été trouvée au problème de la diminution relative de la surface : le développement d'organes internes. Les poumons sont essentiellement des sacs, aux circonvolutions multiples, qui permettent de créer la surface nécessaire à l'échange des gaz. Le système circulatoire irrigue, lui, un espace interne qu'il est impossible d'atteindre par diffusion directe au travers de la surface externe, chez les organismes de grande taille. Quant aux villosités de notre intestin grêle, elles augmentent la surface qui permet l'absorption de la nourriture (les petits mammifères n'en possèdent pas et n'en ont pas besoin).

D'autres animaux n'ont pas d'organes internes. S'ils grossissent, il leur faut changer complètement de forme, d'une manière si radicale que les possibilités d'évolution ultérieure sont sacrifiées à une spécialisation extrême. Ainsi, un ténia peut mesurer 6 mètres, mais sa largeur ne pourra excéder un centimètre parce que la nourriture et l'oxygène doivent pouvoir pénétrer directement à travers la surface externe et atteindre toutes les parties du corps.

D'autres animaux sont condamnés à rester petits. Les insectes respirent par des invaginations de la surface externe. L'oxygène doit passer à travers ces surfaces pour se répandre dans tout le corps. Puisque ces invaginations doivent être plus nombreuses et comporter davantage de circonvolutions en fonction de la taille du corps, elles imposent une limite à la croissance de l'insecte. Un insecte de la taille d'un mammifère, même petit, serait composé exclusivement d'invaginations et il n'y aurait plus de place pour les organes internes.

Nous sommes prisonniers de notre taille, et nous imaginons rarement combien le monde doit sembler différent aux petits animaux. Notre surface est petite relativement à notre taille, laquelle nous assujettit à l'action de la pesanteur, déterminant notre poids. Mais la pesanteur est négligeable pour les animaux de très petite taille, qui

ont une surface importante, proportionnellement à leur poids. Ils vivent dans un monde dominé par les tensions de surface, et apprécient les plaisirs et les dangers de leur environnement d'une manière qui nous est totalement étrangère.

Il n'y a rien d'extraordinaire à ce que les insectes puissent marcher sur un mur vertical ou à la surface de l'eau. La force de pesanteur, qui les tire vers le bas, est facilement compensée par des forces d'adhésion de surface. Si on jette un insecte d'une grande hauteur, il descend lentement, les forces de friction agissant à sa surface étant plus forte que la pesanteur.

La faiblesse relative des forces de pesanteur permet également un mode de croissance que les animaux plus gros ne pourraient pas se permettre. Les insectes ont un squelette externe et ne peuvent grandir qu'en s'en débarrassant pour en sécréter un nouveau, plus spacieux. Pendant la période de la mue, le corps n'est pas protégé. Un mammifère de grande taille, dépourvu de structures de soutien, deviendrait une masse informe sous l'influence de la pesanteur ; en revanche, un insecte de petite taille peut maintenir sa cohésion (les homards et les crabes qui sont apparentés aux insectes peuvent atteindre une plus grande taille parce qu'ils vivent dans l'eau au moment de la mue, bénéficiant ainsi d'une quasi-absence de poids grâce à la poussée d'Archimède). Nous avons là une autre explication de la petite taille des insectes.

Il semble que les scénaristes de films d'horreur et de science-fiction ignorent tout des rapports de la taille et de la forme. Ces « explorateurs du possible » ne peuvent pas se débarrasser des préjugés de leurs perceptions. Quand ils mettent en scène des héros minuscules, ceux-ci se comportent exactement, comme des individus de taille normale. Ils font du bruit lorsqu'ils tombent, manient l'épée et nagent avec une souplesse olympique. Les insectes gigantesques de trop nombreux films continuent de marcher sur des murs verticaux et de voler, même lorsqu'ils ont la dimension de dinosaures. Quand le gentil entomologiste de *Them* découvre que les reines de fourmis géantes ont entamé leur vol nuptial, il fait ce calcul rapide : une fourmi normale mesure moins d'un centimètre et peut voler plusieurs centaines de mètres ; ces fourmis mesurent plus d'un mètre : elles

doivent donc être capables de voler plus de 1 500 kilomètres. Elles pourraient même aller jusqu'à Los Angeles... où elles se trouvent effectivement, tapies dans les égouts ! Mais l'aptitude à voler dépend de la surface des ailes alors que le poids que celles-ci doivent soutenir augmente du cube de la longueur. On peut affirmer que, même si les fourmis géantes avaient résolu les problèmes de la respiration et de la croissance, leur masse seule les aurait définitivement clouées au sol.

D'autres caractéristiques essentielles des organismes changent plus rapidement encore, lorsque la taille augmente. L'énergie cinétique, dans certains cas, peut être égale à la longueur puissance cinq. Quand un enfant moitié moins grand que vous tombe, sa tête heurte le sol avec une énergie égale non à la moitié, mais à $1/32^e$ de la vôtre dans la même chute. L'enfant est protégé plus par sa taille que par la « souplesse » de sa tête. En revanche, nous sommes à l'abri de ses accès de violence, car la force de frappe d'un enfant n'est, elle aussi, égale qu'à $1/32^e$ de celle que nous pouvons déployer. J'ai toujours eu beaucoup de sympathie pour les malheureux nains soumis au fouet du cruel Alberich, dans *l'Or du Rhin*, de Wagner. Étant donné leur taille minuscule, ils n'ont en effet aucune chance d'extraire, armés de pics, les métaux précieux exigés par leur maître.

Ce principe exerce sans doute une influence déterminante sur la forme des organismes. « L'anatomie comparée, a pu écrire J.B.S. Haldane, est en grande partie l'histoire de la lutte pour accroître la surface relativement au volume. » Cependant, sa généralité n'est pas limitée au domaine de la vie, car la géométrie dans l'espace influence aussi bien les bateaux, les immeubles et les machines que les animaux.

Les églises médiévales permettent de faire des observations intéressantes, car il en existe de toutes tailles et parce qu'elles ont été construites avant que l'invention des charpentes métalliques, de l'éclairage et de l'air conditionné ne permettent aux architectes modernes de défier les lois de la taille. La petite église de Little Tey, dans l'Essex, en Angleterre, est une construction rectangulaire, toute simple, avec une abside en demi-cercle. Des fenêtres, percées dans les murs extérieurs, permettent à la lumière de pénétrer dans l'édifice. Si nous devons construire une cathédrale en nous contentant d'agran-

dir cette structure, la surface des murs et des fenêtres augmenterait par le carré de la longueur, alors que le volume que la lumière devrait atteindre augmenterait par le cube de la longueur. En d'autres termes, la surface des fenêtres augmenterait beaucoup plus lentement que le volume à éclairer. Bref, l'intérieur d'une telle cathédrale serait plus noir que l'âme de Judas. Les églises médiévales, comme les ténias, sont dépourvues de structures internes et doivent changer de forme afin d'augmenter leur surface externe lorsqu'elles sont plus grandes. De plus, si les grandes églises devaient être relativement étroites, c'est que les plafonds étaient constitués de voûtes de pierre et qu'on ne pouvait franchir de grandes largeurs sans supports intermédiaires. La salle du chapitre de Batalha, au Portugal, qui compte parmi les plus larges voûtes de pierre de l'architecture médiévale, s'effondra trois fois pendant la construction et fut finalement construite par des condamnés à mort.

Prenons comme exemple la cathédrale de Norwich, qui date du XII^e siècle. Le rectangle de la nef est beaucoup plus étroit que celui de Little Tey ; l'abside comporte des chapelles et il existe un transept perpendiculaire à l'axe principal. Toutes ces « adaptations » augmentent la proportion de murs par rapport au volume. On dit souvent que les transepts servent à donner à l'église la forme d'une croix latine. Il est possible que des motifs théologiques soient à l'origine de la position de ces « excroissances », mais les lois de la taille rendent leur présence obligatoire. Très peu de petites églises possèdent un transept. Les architectes médiévaux connaissaient leur affaire, même si, pour autant que nous sachions, ils ignoraient tout des lois de la taille.

Les organismes de grande taille, comme les grandes églises, ont un nombre limité de possibilités. Au-dessus d'une certaine taille, tous les gros animaux terrestres ont à peu près la même allure : jambes épaisses et corps court, trapu. Les grandes églises médiévales sont relativement longues et ont de nombreuses excroissances. L'« invention » des organes internes a permis aux animaux de conserver la forme très pratique d'un extérieur simple contenant un volume interne important. L'invention de l'éclairage et des charpentes métalliques a permis aux architectes modernes de construire de grands meubles cubiques. Les limites ont été reculées, mais les lois sont en-

core en vigueur. Il n'y a pas d'église médiévale plus large que longue ; aucun gros animal ne ressemble à un teckel.

Figure 10

J'ai surpris un jour, sur un terrain de jeux de New York, une conversation d'enfants. Deux petites filles parlaient de la taille des chiens. L'une d'elles demanda : « Est-ce qu'un chien peut être aussi gros qu'un éléphant ? » Sa camarade répondit : « Non, s'il était aussi gros qu'un éléphant, il ressemblerait à un éléphant. » Elle disait vrai.

22.

L'intelligence humaine

1. Le corps

« La taille, fit un jour remarquer Julian Huxley, est fascinante en elle-même. » Les zoos sont pleins d'éléphants, d'hippopotames de girafes et de gorilles. Et qui n'était pas du côté de King Kong dans les batailles qu'il livrait au sommet des gratte-ciel ? L'intérêt que nous portons aux créatures plus grosses que nous déforme l'idée que nous nous faisons de notre propre taille. On croit en général que l'*Homo sapiens* est une créature de dimension modeste. En fait, les êtres humains comptent parmi les animaux les plus gros de la Terre ; plus de 99 % des espèces sont plus petites que nous. Sur les 190 espèces de primates, seul le gorille nous dépasse régulièrement en taille.

Dans le rôle de souverains de la planète que nous nous sommes attribué, nous avons pris grand soin de répertorier les caractéristiques qui nous permettent d'atteindre ce statut élevé. On cite souvent, entre autres critères, notre cerveau, la position debout, l'usage de la parole et l'aptitude à chasser en groupe. Mais je constate avec étonnement que l'on a rarement considéré notre taille comme un des facteurs déterminants de notre évolution.

Malgré sa mauvaise réputation dans certains cercles, l'intelligence consciente est certainement la condition *sine qua non* de notre statut actuel. Aurait-elle pu se développer dans un corps plus petit ? Un jour de 1964, à la foire de New York, je suis entré dans le stand de la Libre Entreprise, pour m'abriter. Il y avait, bien en évidence, une fourmilière et une pancarte où l'on pouvait lire : « Vingt millions d'années de stagnation de l'évolution. Pourquoi ? Parce que la fourmilière est

un système socialiste et totalitaire. » Cette affirmation ne mérite pas vraiment qu'on s'y arrête, néanmoins, je ferai remarquer que les fourmis se débrouillent très bien et que c'est leur taille, plutôt que leur structure sociale, qui entrave le développement de leurs capacités intellectuelles.

À l'époque du transistor, il est possible de construire des radios de la taille d'une montre et des téléphones minuscules grâce à la micro-électronique. Cette miniaturisation pourrait nous conduire à croire, bien à tort, que la taille ne joue elle-même aucun rôle dans le fonctionnement des mécanismes complexes. Mais la nature ne miniaturise pas les neurones, pas plus que les autres cellules. Dans les organismes, l'éventail de la taille des cellules est beaucoup plus limité que celui de la taille des corps. Les petits animaux ont tout simplement moins de cellules que les gros, le cerveau humain contient plusieurs milliards de neurones ; la fourmi, à cause de sa petite taille en possède plusieurs centaines de fois moins.

On n'a pu mettre en évidence aucune relation directe entre la taille d'un cerveau et l'intelligence chez l'être humain (on cite souvent le cas d'Anatole France, qui avait un cerveau de moins de 1 000 centimètres cubes, et celui d'Olivier Cromwell, dont le cerveau dépassait largement 2 000). Mais on ne peut étendre cette observation aux différences entre les espèces, et certainement pas à ce qui distingue les êtres humains des fourmis du point de vue de la taille. Pour être efficace, un ordinateur doit être composé de milliards de circuits et une fourmi ne peut en contenir un nombre suffisant parce que, les cellules ayant pratiquement toujours la même taille, les petits cerveaux sont composés d'un plus petit nombre de neurones. C'est pourquoi, la taille du corps était la condition préalable de l'intelligence consciente.

Nous pouvons même affirmer que, pour fonctionner comme ils le font, les êtres humains *doivent* avoir la taille qui est la leur. Dans un article à la fois provocant et amusant, F.W. Went a montré que la vie humaine ne pourrait être telle que nous la connaissons si nous avions la taille d'une fourmi (même en supposant que nous puissions résoudre le problème de l'intelligence dans un petit cerveau, ce qui est impossible). Puisque le poids augmente beaucoup plus rapidement que la surface, à mesure que la taille d'un objet s'accroît, le rapport de

la surface au volume est très élevé chez les petits animaux. Ils vivent dans un monde dominé par les forces de surface qui n'exercent pratiquement aucune influence sur nous.

Un homme de la taille d'une fourmi pourrait enfiler des vêtements, mais les forces d'adhésion l'empêcheraient de les retirer. Les gouttes d'eau ayant une taille minimale, en dessous de laquelle elles ne peuvent exister, cela rendrait la douche impossible, chaque goutte, même de taille minimale, serait reçue comme un gros caillou. Si notre homoncule réussissait à se mouiller et essayait de se sécher avec une serviette, il y resterait collé pour le restant de ses jours. Il lui serait impossible de se servir un verre ou de faire du feu : pour être stable, une flamme doit mesurer plusieurs millimètres. Il pourrait obtenir une feuille d'or assez fine pour confectionner un livre à sa taille, mais les forces d'adhésion l'empêcheraient de tourner les pages.

Notre conduite et nos aptitudes correspondent donc à notre taille. Il nous est impossible d'être deux fois plus grands, parce que l'énergie cinétique d'une chute serait de seize à trente-deux fois plus importante, et que notre poids lui-même (multiplié par huit) serait supérieur à ce que nos jambes pourraient soutenir. Les géants qui mesurent entre 2,40 mètres et 2,70 mètres meurent jeunes ou deviennent invalides très tôt à cause du surmenage des articulations et des os. Si nous étions moitié moins grands, il nous serait impossible de manier la massue avec une puissance suffisante pour chasser les gros animaux – puisque l'énergie cinétique serait de seize à trente-deux fois moindre. Nous ne serions pas assez forts pour lancer un javelot ou une flèche ; nous ne pourrions pas couper du fendre le bois avec des outils primitifs et extraire des minéraux avec des pics ou des burins. Toutes ces activités étant essentielles dans notre développement, il faut en conclure que seule une créature d'une taille très proche de la nôtre peut avoir franchi les étapes de notre évolution. Je ne prétends pas que nous habitons le meilleur des mondes possibles ; je me contente de montrer que nos activités ont été limitées par notre taille, et que celle-ci a, dans une large mesure, modelé notre évolution.

2. Le cerveau

Le cerveau humain pèse en moyenne 1 300 grammes. Ce cerveau est contenu dans une tête bulbeuse, en forme de ballon, différente de celle de tous les gros mammifères. Est-il possible de mesurer la supériorité en fonction de la taille du cerveau ?

Le cerveau des éléphants et celui des baleines est plus gros que le nôtre. Mais cela ne confère pas aux gros mammifères une supériorité en ce qui concerne les capacités intellectuelles, Plus le corps est grand, plus le cerveau doit être gros – pour en coordonner les fonctions. Il nous faut donc trouver le moyen de ne pas faire intervenir la taille du corps dans nos calculs. En effet, le calcul d'un rapport simple entre le poids du cerveau et le poids du corps ne nous permettra pas d'avancer. Ce rapport est généralement plus élevé chez les petits mammifères que chez l'homme ; c'est-à-dire qu'ils possèdent plus de cerveau par unité de poids du corps. La taille du cerveau augmente effectivement en fonction de celle du corps, mais à un rythme beaucoup plus lent.

En comparant le poids du cerveau et le poids du corps chez les mammifères adultes, on découvre que l'augmentation de la taille du cerveau correspond à deux tiers de celle du corps. Puisque le rapport de l'augmentation de la surface à celle du poids est à peu près le même, nous supposons que le poids du cerveau ne dépend pas du poids du corps, mais principalement de la *surface* du corps où viennent aboutir un si grand nombre de nerfs. Cela explique pourquoi le cerveau des gros animaux est, en valeur absolue, plus lourd que celui des êtres humains (parce qu'ils sont plus corpulents) et le cerveau des petits animaux plus gros, en valeur relative, que celui des êtres humains (parce que la taille du corps décroît plus rapidement que celle du cerveau).

Figure 11

On peut résoudre ce paradoxe en comparant le poids du cerveau à celui du corps chez les mammifères adultes. Le critère correct n'est ni la valeur absolue ni la valeur relative de la taille ; c'est la différence entre la taille réelle et la taille correspondant à un poids donné. Pour juger la taille de notre cerveau, il faut la comparer à celle du cerveau d'un mammifère moyen d'un poids sensiblement égal au nôtre. Et, suivant ce critère, nous sommes bien, comme nous étions en droit de

nous y attendre, le mammifère qui possède le plus gros cerveau. Aucune espèce n'est plus que nous, au-dessus de la taille théorique.

Les relations entre le poids et la taille du cerveau nous aident à mieux comprendre l'évolution de notre cerveau. Notre ancêtre africain (ou du moins notre cousin), l'*Australopithecus africanus*, avait une capacité crânienne moyenne de 450 centimètres cubes. Le cerveau des gorilles est souvent plus gros, et beaucoup de spécialistes se sont servis de ce fait pour supposer que l'australopithèque avait une psychologie pré-humaine. Selon un ouvrage de référence récent, « le cerveau de l'homme-singe d'Afrique du Sud était à peine plus gros que celui des autres singes et ses aptitudes psychologiques étaient probablement en rapport ». Mais *A. africanus* ne pesait que 25 ou 45 kilos (femelle et mâle respectivement, suivant une estimation de l'anthropologue David Pilbeam), alors qu'un gorille mâle peut peser jusqu'à 300 kilos. On peut donc affirmer sans risque que le cerveau de l'australopithèque était plus gros que celui des primates non humains, si l'on se sert du critère correct qui consiste à comparer avec la taille correspondant à un poids donné.

Le cerveau humain est maintenant trois fois plus gros que celui de l'australopithèque. On a souvent dit que ce développement était le plus rapide et le plus important de l'évolution. Mais notre corps s'est également beaucoup développé. Cette croissance du cerveau n'est-elle que la conséquence de celle du corps ou bien marque-t-elle l'apparition de niveaux d'intelligence nouveaux ?

Pour répondre à cette question, j'ai comparé la capacité crânienne et le poids, tel qu'on a pu le reconstituer, chez les hominidés fossiles suivants, qui représentent peut-être notre lignage : *Australopithecus africanus* ; *Homo habilis* découvert par Richard Leakey, dont la capacité crânienne est proche de 800 centimètres cubes et qui date d'un peu moins de 2 millions d'années (David Pilbeam en a estimé le poids en se fondant sur le fémur) ; *Homo erectus* de Choukoutien (homme de Pékin) ; et l'*Homo sapiens* moderne. La courbe montre que notre cerveau s'est développé beaucoup plus rapidement que l'on n'aurait pu s'y attendre en fonction des compensations découlant de la taille du corps.

Figure 12

Ma conclusion ne va pas à rencontre de la tradition, et à même de quoi renforcer la trop bonne opinion que nous avons de nous-mêmes. Quoi qu'il en soit, la taille de notre cerveau a réellement augmenté plus que ne l'exigeait le développement de notre corps. Nous sommes véritablement plus malins que nous ne l'étions.

23.

Histoire du cerveau des vertébrés

La nature ne livre les secrets de son passé qu'avec la plus grande parcimonie. Les paléontologistes échafaudent leurs théories en se fondant sur des fragments de fossiles en mauvais état, conservés dans des suites incomplètes de roches sédimentaires. On ne connaît en général les mammifères fossiles que par leurs dents – le matériau le plus dur du corps – et quelques os. Un paléontologiste célèbre a fait remarquer que l'histoire des mammifères, telle que nous la révèlent les fossiles, n'est guère plus qu'une évolution de dents.

Nous nous réjouissons lorsqu'il nous arrive de découvrir des parties organiques : mammoths conservés dans la glace ou ailes d'insectes sous forme de film carbonisé dans les schistes. Pourtant, presque tout ce que nous savons de l'anatomie des fossiles ne provient pas de ces données exceptionnelles, mais d'indices généralement présents sur les os, comme les traces laissées par l'insertion des muscles ou les trous permettant le passage des nerfs. Par chance, le cerveau laisse également son empreinte sur les os qui le protègent. Lorsqu'un vertébré meurt, son cerveau se décompose rapidement, mais il arrive que le vide qu'il laisse se remplisse de sédiment qui produit, en durcissant, un moulage naturel. Ce moulage ne garde rien de la structure interne du cerveau, mais sa taille et sa surface externe reproduisent fidèlement l'original.

Malheureusement, il est impossible de se servir simplement du volume d'un moulage fossile pour mesurer l'intelligence de l'animal ; le travail de paléontologiste n'est jamais aussi simple. Deux problèmes se posent.

D'abord, quelle est la signification de la taille du cerveau ? Il ne semble pas qu'il y ait un rapport entre l'intelligence et les variations de la taille du cerveau à l'intérieur d'une même espèce (le cerveau humain en état de fonctionnement peut avoir un volume de 1 000 à plus de 2 000 centimètres cubes). Toutefois, les différences entre les individus à l'intérieur d'une espèce ne constituent pas le même phénomène que les différences, en valeur moyenne, entre les espèces. On pourrait supposer, par exemple, que les variations de la taille du cerveau entre l'être humain et le thon mettent en lumière une caractéristique significative de l'intelligence. D'ailleurs, le paléontologiste n'a pas le choix. Il doit faire avec ce qu'il a, et la taille du cerveau est pratiquement son seul indice.

Ensuite, la taille du cerveau n'est pas déterminée par les capacités intellectuelles, mais par la taille du corps. Un gros cerveau ne traduit rien de plus que les besoins d'un grand corps. De plus, nous l'avons vu, le rapport de la taille du cerveau à celle du corps n'est pas simple. Le cerveau grossit plus lentement que l'animal. Les petits animaux ont le cerveau relativement gros ; c'est-à-dire que le rapport du poids du corps à celui du cerveau est élevé. Il faut trouver le moyen d'échapper à l'influence de la taille du corps. On y parvient en établissant l'équation du rapport « normal » entre le poids du cerveau et le poids du corps.

Supposons qu'on s'intéresse aux mammifères. On établit la liste des poids du cerveau et du corps pour un nombre aussi élevé que possible d'espèces différentes. Ces espèces représentent les points de notre courbe ; la fonction qui relie ces points entre eux montre que l'augmentation du poids du cerveau est égale aux deux tiers de celle du corps. Il est alors possible de comparer le poids du cerveau de n'importe quel mammifère au poids de celui d'un mammifère « moyen » de taille comparable. Ce procédé permet d'échapper à l'influence de la taille du corps. Chez le chimpanzé, par exemple, le cerveau pèse en moyenne 395 grammes. Selon notre équation, le cerveau d'un mammifère moyen de même taille pèserait 152 grammes. Le cerveau du chimpanzé est donc 2,6 fois plus lourd qu'il ne « devrait » être (395/152). Pour désigner ce rapport, on parlera de « quotient d'encéphalisation ». Les valeurs supérieures à 1 définissent les

cerveaux plus gros que la moyenne ; les valeurs inférieures à 1, les cerveaux plus petits que la moyenne.

Mais cette méthode ne va pas sans difficultés pour le paléontologiste. Il est maintenant nécessaire de déterminer le poids de l'animal entier. Les squelettes complets sont très rares et on fait souvent des estimations reposant sur quelques os. De plus, et c'est une difficulté supplémentaire, le cerveau n'occupe la totalité de la boîte crânienne que chez les mammifères et les oiseaux. Dans ce cas, le moulage reproduit parfaitement la taille et la forme du cerveau. Mais chez les poissons, les amphibiens et les reptiles, le cerveau n'occupe qu'une partie du crâne, et le moulage est donc plus grand que le cerveau. Il faut alors déterminer quelle partie du moulage représente le cerveau tel qu'il se présentait. Pourtant, malgré cette pléthore de difficultés, il a été possible de reconstituer d'une manière convaincante l'évolution de la taille du cerveau chez les vertébrés.

Le psychologue californien Harry J. Jerison en a récemment présenté tous les éléments – qui proviennent en grande partie de dix ans de recherches effectuées par lui – dans un livre intitulé : *The Evolution of the Brain and Intelligence*²⁷.

Jerison s'attaque principalement à l'idée très répandue selon laquelle on peut classer les différents types de vertébrés suivant une échelle de perfectionnement allant des poissons aux mammifères en passant par les amphibiens, les reptiles et les oiseaux. Jerison préfère un point de vue fonctionnel, qui établit une correspondance entre la taille du cerveau et les contraintes du mode de vie. Il y a actuellement deux catégories de vertébrés : les vertébrés à sang chaud (oiseaux et mammifères) et leurs parents à sang froid (amphibiens, poissons et reptiles). Il est certain que, pour une même taille de l'animal, le cerveau des vertébrés à sang chaud est plus gros que celui de leurs parents à sang froid. Mais il n'y a pas pour autant un progrès continu vers des niveaux supérieurs ; il existe seulement une corrélation entre la taille du cerveau et la physiologie. En fait, Jerison pense que le cerveau des mammifères s'est développé en réaction aux nécessités de leur existence alors qu'ils n'étaient que de petites créatures vivant à la périphérie d'un monde dominé par les dinosaures. D'après lui, les premiers mammifères étaient nocturnes, et il leur fallait traduire les

perceptions auditives et olfactives en informations spatiales, que les animaux diurnes pouvaient obtenir immédiatement par la vue, ce qui rendit nécessaire le développement du cerveau.

Dans ce cadre, Jerison présente quantité de réflexions passionnantes. Je déteste réfuter les idées reçues, mais je ne peux cacher à mes lecteurs que le cerveau des dinosaures n'était pas minuscule. Il avait exactement la taille qu'il fallait à un reptile de sa corpulence. Le brontosauve est dans le même cas, dans la mesure où le cerveau des gros animaux est proportionnellement plus petit, et celui des reptiles, quel que soit leur poids, moins développé que celui des mammifères.

Des animaux fossiles intermédiaires combler l'espace entre les vertébrés modernes à sang chaud et à sang froid. On ne connaît l'archéoptéryx qu'au travers d'une douzaine de spécimens, mais l'un deux comporte un moulage de cerveau en bon état. Cette forme intermédiaire, pourvue de plumes et de dents reptiliennes, possédait un cerveau qui occupe exactement le milieu de l'espace laissé vide entre les reptiles et les oiseaux modernes. Les mammifères primitifs, qui se développèrent rapidement après la disparition des dinosaures, possédaient un cerveau intermédiaire entre celui des reptiles et celui des mammifères modernes de poids comparable.

Il est même possible de comprendre le mécanisme de cette évolution en remontant à l'origine de l'un des éléments qui l'ont inspirée. Jerison a calculé le quotient d'encéphalisation des carnivores et de leurs proies probables parmi les herbivores ongulés de quatre groupes distincts : les mammifères « archaïques » du début du tertiaire²⁸ ; les mammifères « complexes » du début du tertiaire ; les mammifères du milieu et de la fin du tertiaire et les mammifères modernes. N'oublions pas qu'un quotient d'encéphalisation de 1 correspond à la taille théorique du cerveau chez un mammifère moderne moyen.

	<i>Herbivores</i>	<i>Carnivores</i>
Début du tertiaire (archaïque)	0,18	0,44
Début du tertiaire (complexe)	0,38	0,61

Milieu et fin du <u>tertiaire</u>	0,63	0,76
Moderne	0,95	1,10

Chez les herbivores comme chez les carnivores, la taille du cerveau n'a donc pas cessé d'augmenter au cours de l'évolution, mais à toutes les étapes, les carnivores sont en avance. Il semble que les animaux qui doivent capturer des proies pour survivre ont besoin d'un plus gros cerveau que ceux qui se nourrissent de plantes. Et, à mesure que le cerveau se développait chez les herbivores (probablement en réaction à l'intense pression sélective imposée par les prédateurs), le cerveau des carnivores se développait également pour maintenir la différence.

Le cas de l'Amérique du Sud permet de vérifier cette hypothèse. Avant que n'apparût, il y a 2 millions d'années, l'isthme de Panama, l'Amérique du Sud était un continent isolé. Les carnivores complexes n'y avaient pas pénétré, et le rôle des prédateurs était tenu par des marsupiaux carnivores au quotient d'encéphalisation peu élevé. Ici, la taille du cerveau des herbivores n'a pas augmenté. Le quotient d'encéphalisation moyen resta inférieur à 0,5 pendant toute la durée du tertiaire. De plus, ces herbivores furent rapidement éliminés quand des carnivores complexes, venus du nord, franchirent l'isthme. Là encore, la taille du cerveau constitue une adaptation au mode de vie, non un caractère possédant en lui-même une prédisposition à la croissance. Lorsqu'on constate un accroissement de la taille du cerveau chez une espèce donnée, on peut l'expliquer par des exigences liées au statut écologique de cette espèce. Ainsi, la taille élevée du cerveau des requins ne devrait pas nous surprendre ; ce sont, après tout, les plus gros carnivores de l'océan, et la taille du cerveau reflète le mode de vie, non l'époque à laquelle a débuté l'évolution. De même, le cerveau des dinosaures carnivores, tels que l'allosaure et le tyrannosaure était plus gros que celui des herbivores comme le brontosauure.

Mais qu'en est-il de nous ? L'histoire des vertébrés permet-elle de mieux comprendre pourquoi une espèce particulière possède un cerveau aussi gros ? Voici un élément de réflexion. Le plus ancien moulage de cerveau de primate est celui d'une créature vieille de 55 mil-

lions d'années : le *Tetoniuss homunculus*. Son quotient d'encéphalisation, calculé par Jerison, est de 0,68. Cela ne représente que deux tiers de la taille d'un mammifère moderne de même taille actuellement vivant, mais, à son époque, c'était de loin le plus gros cerveau (compte tenu de la correction habituelle concernant le poids). En fait, il était près de trois fois plus gros que celui d'un mammifère moyen de son époque. Les primates sont en tête depuis le début ; notre cerveau n'est que la conséquence d'une évolution entamée dès l'apparition des mammifères. Mais pourquoi les petits mammifères arboricoles, primitifs, qui ressemblaient davantage à des rats ou à des musaraignes qu'à ce que l'on considère aujourd'hui comme des mammifères complexes, se sont-ils dotés d'un gros cerveau ? À cette question, qui compte parmi les plus importantes, nous ne savons toujours pas répondre.

24.

Taille et surface des planètes

En 1829, Charles Lyell résuma sans détours l'idée centrale de sa révolution géologique à son confrère et-adversaire Roderick Murchison :

« Mon œuvre, écrivait-il, cherche à mettre en lumière un principe de raisonnement scientifique [...] selon lequel les causes qui agissent depuis les époques les plus reculées agissent encore aujourd'hui, exactement dans les mêmes conditions qu'actuellement. »

La doctrine du changement lent, continu et uniforme a profondément influencé la pensée du XIX^e siècle. Darwin l'a adoptée trente ans plus tard et, depuis cette époque, les paléontologistes recherchent dans les fossiles des cas d'évolution lente et progressive. Mais d'où vient la préférence de Lyell pour le changement progressif ?

Toute généralisation cosmique a des causes complexes. Lyell s'est en partie contenté de transporter ses préjugés politiques dans la nature : si l'histoire de la Terre montre que tout changement est lent et progressif, entravé par le poids d'événements passés, les libéraux ne devraient pas trop craindre la montée des troubles sociaux. Mais la nature n'est pas une scène vide sur laquelle les hommes de science exposent leurs préférences ; elle parle d'elle-même. Parmi les forces qui modèlent la surface de notre planète, nombreuses, c'est vrai, sont celles qui agissent lentement et progressivement. Lyell pouvait mesurer l'épaisseur des dépôts de limon dans le lit des rivières et l'érosion progressive des collines. Le gradualisme de Lyell, bien que trop rigide dans sa formulation, explique en grande partie l'histoire de la Terre.

Les processus de transformation de notre planète résultent de l'action de ce que Franck Press et Raymond Siever appellent les mo-

teurs interne et externe de la Terre. Notre soleil fournit l'énergie au moteur externe, mais son influence dépend de l'atmosphère de la Terre. Press et Siever écrivent :

« L'énergie solaire fait naître dans l'atmosphère un système de vents compliqué qui nous donne les climats et le temps, et elle produit dans les océans un système de courants lié à l'atmosphère. L'eau et les gaz des océans et de l'atmosphère réagissent chimiquement avec les sols et transportent les matériaux d'un endroit à un autre. »

L'action de presque tous ces processus est progressive, dans la tradition lyellienne la plus classique ; leur ampleur résulte de l'accumulation de changements infimes. L'eau de ruissellement emporte les sols, les dunes se déplacent dans les déserts, les vagues attaquent les côtes pendant que les courants transportent le sable et le déposent ailleurs.

La chaleur produite par la radioactivité constitue l'énergie du moteur interne. Certaines de ses actions (tremblements de terre, éruptions volcaniques, par exemple) nous paraissent brutales et catastrophiques, mais le mode de fonctionnement du moteur, mis en évidence, il y a une dizaine d'années, doit probablement mettre en joie le fantôme de Lyell. La chaleur interne fait bouger la surface de la Terre et les continents se déplacent au rythme de quelques centimètres par an. Étendu sur 200 millions d'années, ce mouvement progressif a divisé l'unique continent initial en plusieurs parties, pour donner finalement la répartition des terres que nous connaissons.

Pourtant, la Terre est différente des autres planètes (dites « terrestres ») de notre système solaire, caractérisées par leur petite taille, leur nature rocheuse et leur proximité du Soleil : Mercure, Vénus, Mars et notre Lune. Mars, Mercure et la Lune sont couverts de cratères produits par la chute de météorites. En fait, la surface de Mercure n'est qu'un immense champ de cratères. La surface de la Lune est composée de deux régions principales : les hautes terres, où les cratères sont nombreux, et les « mers », étendues couvertes de lave basaltique, où ils sont rares. Le gradualisme de Lyell, parfaitement adapté à notre terre, est incapable de rendre compte de l'histoire des planètes voisines.

Prenons, par exemple, l'histoire de la Lune, telle qu'on se la représente à partir des données fournies par les vols *Apollo*, que W. Ian Ridley, géologue de l'université Columbia, a mis en ordre. La croûte de la Lune est devenue rigide il y a environ 4 milliards d'années. Il y a environ 3,9 milliards d'années, la période de bombardement météorique intense était terminée, les mers et les principaux cratères s'étaient formés. Il y a entre 3,1 et 3,8 milliards d'années, la chaleur due à la radioactivité a produit la lave basaltique qui a rempli les mers. Puis il y eut de nouveau production de chaleur, mais celle-ci ne put atteindre la surface, et la croûte se solidifia. Il y a environ 3,1 milliards d'années, la croûte devint trop épaisse pour permettre au basalte de s'échapper et toute activité cessa à la surface de la Lune. Depuis, en dehors de la chute occasionnelle d'une grosse météorite et de l'arrivée continuelle de petites, il n'est rien arrivé d'important.

La Lune n'a pas changé depuis 3 milliards d'années. Elle ne possède pas d'atmosphère capable d'éroder et de recycler les matériaux qui composent sa surface, et il lui est impossible de produire assez de chaleur interne pour changer d'allure. La Lune n'est pas morte, mais elle est à coup sûr tranquille. La concentration des tremblements de lune à 800 ou 1 000 kilomètres sous la surface donne un aperçu de l'épaisseur de la croûte, si l'on pense aux 70 petits kilomètres de la lithosphère terrestre. Il se peut qu'il existe une zone partiellement en fusion sous la croûte de la Lune, mais elle est trop profonde pour que son influence se fasse sentir. La surface de la Lune est très ancienne et porte les marques de ses convulsions : énormes météorites et jaillissements de lave. La caractéristique du début de son histoire est une évolution rapide ; ces trois derniers milliards d'années n'ont pratiquement rien apporté de nouveau.

Ainsi, ce qui rend la Terre si différente de ses voisines, c'est le rôle important joué par des processus cumulatifs, plutôt que par de très anciennes catastrophes. Peut-être le lecteur sera-t-il tenté de croire que cela est dû à des différences complexes de composition. Mais, pour autant que nous sachions, toutes les planètes « terrestres » sont fondamentalement semblables, en ce qui concerne la densité et la minéralogie. La seule véritable différence est la taille, et rien d'autre. La Terre est beaucoup plus grosse que ses voisines.

Galilée, on l'a vu, a été le premier à mettre en évidence l'influence déterminante de la taille sur la forme et le comportement des objets physiques. Les objets de grande taille ne sont pas soumis au même équilibre de forces que les mêmes objets de petite taille (les planètes sont forcément à peu près sphériques), c'est un principe géométrique fondamental.

Considérons maintenant le rapport de la surface au volume dans le cas de deux sphères de rayons différents. On obtient la surface en multipliant le carré du rayon par une constante, le volume en multipliant le cube du rayon par une autre constante. Donc, le volume augmente plus rapidement que la surface quand l'objet considéré grossit.

J'estime que la conception de Lyell selon laquelle le changement s'effectue continûment est une conséquence du faible rapport surface/volume de la Terre, et non la caractéristique de tout changement, contrairement à ce qu'il croyait. On peut supposer que l'histoire de la Terre n'a pas été, au début, très différente de celle de ses voisines. Il dut y avoir une époque à laquelle notre planète était couverte de cratères. Mais il y a des milliards d'années qu'ils ont disparu sous l'action des deux machines de la Terre : démantelés par la machine interne (soulevés, recouverts de lave, ou engloutis dans les profondeurs par subduction aux jointures des plaques lithosphériques) ou rapidement effacés par l'érosion atmosphérique de la machine externe.

Ces deux machines ne peuvent agir que parce que la Terre est assez grosse pour posséder une surface peu importante et un champ gravitationnel puissant. Mercure et la Lune ne possèdent pas d'atmosphère, et leur surface est figée. L'atmosphère est indispensable au fonctionnement de la machine externe. L'équation de Newton lie la force de la gravité directement à la masse de deux corps et inversement au carré de la distance qui les sépare. Pour calculer la force gravitationnelle nécessaire pour maintenir une molécule de vapeur d'eau sur la Terre et sur la Lune, il suffit de connaître la masse de la planète (puisque la masse d'une molécule est constante) et la distance de la surface d'une planète à son centre. La masse d'une planète augmente en fonction du cube de son rayon, alors que le carré de la distance de la surface au centre n'est que le carré du rayon. Donc, le champ gravi-

tationnel d'une planète, qui s'exerce sur les particules atmosphériques, augmente de r^2/r^3 (r étant le rayon de la planète). Dans le cas de Mercure et de la Lune, ce champ n'est pas assez puissant pour retenir une atmosphère ; les particules les plus lourdes elles-mêmes ne restent pas longtemps. Le champ de la Terre, lui, est assez puissant pour retenir une atmosphère permanente qui permet à la machine externe de fonctionner.

La chaleur interne est produite par la radioactivité au sein d'une planète. Elle est irradiée dans l'espace par la surface de la planète. Les petites planètes, où le rapport de la surface au volume est élevé, perdent rapidement leur chaleur et se solidifient sur une épaisseur relativement importante. Les grosses conservent leur chaleur et la mobilité de leur surface.

Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait disposer d'une planète de taille intermédiaire, car elle présenterait alors un mélange de catastrophes anciennes et de processus progressifs. Mars est dans ce cas. Sa taille le place exactement entre la Terre et notre Lune ou Mercure. Il y a des cratères sur presque la moitié de la surface de Mars ; le reste porte des traces discrètes de l'action des machines interne et externe. La gravité de Mars est faible, comparativement à celle de la Terre, mais elle est assez importante pour retenir une atmosphère ténue (deux cents fois moins dense que la nôtre). Sa surface est balayée par les vents et on a observé des champs de dunes. Les indices d'érosion fluviale sont plus nets encore, bien que mystérieux, étant donné la pauvreté de l'atmosphère martienne en vapeur d'eau. Précisons toutefois que ce mystère s'est trouvé en partie résolu quand on a découvert que les calottes glaciaires de Mars étaient composées principalement d'eau gelée et non de dioxyde de carbone, comme on le croyait jusqu'ici. Il semble également probable que des quantités considérables d'eau restent gelées dans le sol lui-même. Cari Sagan m'a montré des photos représentant des cratères pourvus d'extensions lobées. On ne peut guère interpréter ces extensions que comme de la boue liquéfiée, s'échappant du cratère après l'impact, le sol gelé fondant sous l'action de la chaleur. Il ne peut pas s'agir de lave parce que les météorites qui ont formé ces cratères étaient trop petites pour produire une chaleur suffisante pour faire fondre les roches.

Il existe également de nombreux indices de chaleur interne, que certaines hypothèses récentes lient aux mécanismes du déplacement des plaques de la Terre. Il y a sur Mars une région volcanique avec des montagnes géantes plus imposantes que toutes celles de la Terre. Le mont Olympe est large de 500 kilomètres à la base, mesure 8 kilomètres de haut et son cratère fait 70 kilomètres de diamètre. Le *Vallis Marineris*, tout proche, est un canyon aux proportions gigantesques : 120 kilomètres de large, 6 kilomètres de profondeur et plus de 5 000 kilomètres de long.

Pour conclure, disons que de nombreux géologues pensent maintenant que les plaques de la Terre sont mises en mouvement par des remontées de chaleur et de matériaux fondus provenant des profondeurs de la Terre (sans doute à la limite entre le noyau et le manteau, soit à environ 3 200 kilomètres sous la surface). Ces remontées atteignent la surface pratiquement toujours aux mêmes endroits et soutiennent les plaques. Les îles Hawaï, par exemple, forment essentiellement une chaîne linéaire, plus âgée à mesure qu'on s'avance en direction du nord-ouest. Si la plaque du Pacifique se déplace sur une remontée fixe, il est possible que les îles Hawaï soient apparues une par une.

Mars, avec sa taille intermédiaire, devrait être plus actif que la Lune et moins que la Terre. La croûte de la Lune est si épaisse qu'elle ne peut se déplacer ; la chaleur de l'intérieur ne parvient pas à la surface. La croûte de la Terre, au contraire, est assez fine pour se diviser en plaques mobiles. Supposons que la croûte de Mars soit suffisamment fine pour permettre à la chaleur de gagner la surface, mais trop épaisse pour se diviser et bouger sensiblement. Supposons également qu'il existe des remontées de chaleur aussi bien sur Mars que sur la Terre. Le mont Olympe pourrait indiquer l'emplacement d'une remontée située sous une croûte incapable de bouger, et l'on pourrait le comparer à des sortes d'îles Hawaï empilées les unes sur les autres. Le *Vallis Marineris* pourrait être l'indice d'un début de déplacement des plaques : la croûte se serait fendue, mais elle aurait été dans l'incapacité de bouger.

La science, lorsqu'elle fonctionne bien, a une démarche unifiante. Il est assez passionnant de constater que les principes auxquels est

soumise la mouche qui se promène au plafond sont les mêmes que ceux qui déterminent le caractère unique de notre planète. Pascal a fait remarquer, dans une métaphore planétaire, que la connaissance est comme une sphère dans l'espace : plus on apprend, c'est-à-dire plus la sphère est grosse, plus on est en contact avec l'inconnu (la surface de la planète). C'est vrai. Mais n'oublions pas le principe des surfaces et des volumes. Plus la sphère est grosse, plus le rapport du connu (volume) à l'inconnu (surface) est élevé. Souhaitons que l'accroissement de l'ignorance continue à se développer dans ce rapport à l'accroissement de la connaissance.

VII.

Science et société... Point de vue historique

25.

Les héros et les fous

Lorsque j'étais jeune et romantique, je croyais que ma vie d'homme de science serait justifiée si je réussissais à découvrir ne serait-ce qu'un seul fait nouveau, contribuant ainsi, même modestement, à l'identification du merveilleux temple du savoir humain. L'idée avait de la noblesse, mais la métaphore était sotte. Pourtant, cette métaphore symbolise aujourd'hui encore la pensée d'un grand nombre de scientifiques.

Suivant l'idée que l'on se fait généralement du progrès scientifique, le chemin qui va de l'ignorance et de la superstition à la vérité passe par l'observation et l'accumulation des faits. Dans cette perspective réconfortante, l'histoire de la science n'a qu'un intérêt anecdotique, car elle ne peut que relever les erreurs du passé et honorer ceux qui ont eu l'intuition de la vérité finale. Elle est aussi transparente qu'un mélodrame démodé : la vérité (telle qu'elle nous apparaît actuellement) est seule juge et les hommes de science du passé se divisent en bons, qui ont eu raison, et en méchants, qui ont eu tort.

Ces dix dernières années, les historiens de la science ont complètement abandonné cette conception. La science n'est pas une recherche d'informations objectives se situant hors du contexte subjectif et émotionnel. C'est une activité de création, dont les plus grands représentants se sont comportés en artistes plus qu'en machines à analyser les informations. Les nouvelles théories ne sont pas simplement la conséquence de découvertes récentes, mais le produit de l'imagination créatrice influencée par le contexte social et politique. Il ne faut pas porter un jugement sur le passé en fonction de nos propres convictions et considérer comme des héros les hommes de

science qui nous semblent avoir eu raison en fonction de critères sans rapport avec ce qu'ils voulaient dire. C'est pure folie de dire qu'Anaximandre (au VI^e siècle avant Jésus-Christ) était le premier des évolutionnistes, sous prétexte que, voulant montrer que l'eau était le plus important des quatre éléments, il soutint que la vie était apparue dans les océans. Pourtant, presque tous les ouvrages de référence expriment cette opinion.

Je vais m'efforcer ici de présenter les « méchants » le plus souvent cités par les ouvrages de référence et montrer que leurs théories étaient à la fois raisonnables pour leur époque et pleine d'enseignements pour la nôtre. Les méchants sont les « préformationnistes » du XVIII^e siècle, partisans d'une embryologie démodée. D'après les ouvrages de référence, les préformationnistes croyaient que l'œuf humain (ou le sperme) contenait un minuscule homoncule dont le développement de l'embryon n'était que la croissance. L'absurdité de cette idée, selon les textes, est renforcée par sa conséquence directe : l'*emboîtement*²⁹. En effet, s'il y avait un homoncule dans les ovaires d'Ève, il y avait nécessairement un homoncule plus petit dans les ovaires de l'homoncule, et ainsi de suite jusqu'à l'inconcevable : un être humain complètement formé, plus petit qu'un électron... Les préformationnistes devaient être des dogmatistes aveugles, opposés à la méthode expérimentale, soutenant une doctrine *a priori* en dépit des informations fournies par les sens, puisqu'il suffit de briser un œuf de poule pour observer le développement de l'embryon. En réalité, affirmait leur porte-parole, Charles Bonnet, « le préformationnisme est le triomphe de la raison sur les sens ».

Les héros des ouvrages de référence, en revanche, sont les « épigénéticiens ». Ceux-ci, du moins passèrent leur temps à observer les œufs et non à imaginer des théories fantaisistes ! Ils ont prouvé, grâce à leurs observations, que l'embryon se développe progressivement. Au milieu du XIX^e siècle, ils avaient imposé leur point de vue. Une fois de plus, l'observation pure avait vaincu le préjugé et le dogme.

Figure 13

En fait, ce n'est pas aussi simple. Les observations des préformationnistes étaient aussi précises et détaillées que celles des épigénéti-

ciens. De plus, s'il nous faut absolument des héros, cet honneur pourrait aussi bien échoir aux préformationnistes, qui soutinrent, contre les épigénéticiens, une conception de la science très proche de la nôtre.

Il ne faut pas confondre les élucubrations de quelques personnages marginaux avec les conceptions d'une école. Les préformationnistes importants, Malpighi, Bonnet et von Haller, savaient parfaitement bien que l'embryon de poulet ressemble, au début, à un tube et devient de plus en plus complexe à mesure que les organes se différencient dans l'œuf. Ils avaient étudié et reconstitué l'embryologie du poulet dans une série d'observations pénétrantes, d'une qualité supérieure à tout ce qu'ont pu réaliser les épigénéticiens à la même époque.

Les préformationnistes et les épigénéticiens étaient, au reste, d'accord sur les observations. Mais, alors que les épigénéticiens étaient prêts à prendre ces observations à la lettre, les préformationnistes voulaient aller « au-delà des apparences ». Ils déclarèrent que le développement, tel qu'on pouvait l'observer, était trompeur. Au début, l'embryon est tellement minuscule, gélatineux et transparent qu'il était impossible de discerner les structures préformées à l'aide des microscopes rudimentaires que l'on possédait alors. « Il ne faut pas croire, écrivit Bonnet en 1762, que l'existence des êtres organisés commence quand ils deviennent visibles, et il ne faut pas enfermer la nature dans les limites strictes de nos sens et de nos instruments. » De plus, les préformationnistes ne croyaient pas que les structures préformées constituaient un homoncule minuscule dans l'œuf lui-même. Les rudiments se trouvaient évidemment dans l'œuf, mais dans une position et une proportion telles qu'ils étaient sans rapport avec la morphologie de l'adulte. Bonnet, toujours en 1762 : « Quand le poulet est encore un embryon, la forme, les proportions et la disposition de ses organes diffèrent beaucoup de ce qu'elles deviendront plus tard. S'il était possible d'observer l'embryon sous un fort grossissement, tel qu'il est au début, il nous serait impossible d'identifier un poulet. Les différentes parties d'un poulet ne se développent pas uniformément et toutes en même temps. »

Mais comment les préformationnistes expliquaient-ils la réduction jusqu'à l'absurde de l'emboîtement et la programmation de toute notre histoire dans les ovaires d'Ève ? Très simplement puisque... cette idée n'était pas absurde au XVIII^e siècle.

Tout d'abord, les hommes de science croyaient que le monde n'avait que quelques milliers d'années... et qu'il ne durerait guère davantage. En conséquence, il suffisait de programmer un nombre limité de générations, et non pas de quoi remplir les millions d'années de la chronologie géologique moderne.

Deuxièmement, il n'y avait pas, au XVIII^e siècle de théorie de la cellule pour fixer la limite inférieure de la taille des organismes. Il semble aujourd'hui absurde de postuler l'existence d'un homoncule plus petit que la taille minimale d'une cellule. Mais un savant de l'époque n'avait aucune raison de supposer qu'il existe une limite inférieure à la taille. En fait, on croyait que les animalcules de Leeuwenhoek, créatures unicellulaires et microscopiques qui avaient stimulé les imaginations dans toute l'Europe, possédaient un ensemble complet d'organes en miniature. Bonnet, favorable à la théorie corpusculaire, selon laquelle la lumière est composée de minuscules particules, s'extasiait sur l'inconcevable petitesse des millions de particules de lumière qui pénétraient toutes en même temps dans les yeux de l'animalcule. « La nature peut faire aussi petit qu'elle le désire, disait-il. Nous ignorons tout de la limite inférieure de la division de la matière, mais nous constatons qu'elle est merveilleusement divisée. De l'éléphant à la mite, de la baleine à l'animalcule, 27 millions de fois plus petit que la mite, du globe du Soleil à la particule de lumière quelle extraordinaire multitude de degrés intermédiaires ! »

Pourquoi les préformationnistes désiraient-ils tant ne pas s'en tenir aux apparences ? Pourquoi n'acceptaient-ils pas ce qu'ils pouvaient observer directement ? Considérons l'alternative suivante : ou bien les organes existent dès le départ, ou bien l'œuf fécondé est complètement dépourvu de formes. Si l'œuf est dépourvu de formes, il est pratiquement certain qu'une force extérieure impose une structure à une matière qui n'est que potentiellement capable de la produire. Mais de quelle force peut-il bien s'agir ? Est-elle différente suivant le type d'animal ? Est-il possible de la connaître, de l'étudier, de la per-

cevoir, de la toucher ? Peut-il s'agir d'autre chose que de la justification sans fondement d'un vitalisme mystique ?

Le préformationnisme était dans la tradition de Newton. Il était destiné à préserver une attitude que nous qualifierions aujourd'hui de « scientifique » contre un vitalisme que suggéraient les faits bruts. Si l'œuf était effectivement constitué d'un matériau inorganisé, homogène, dépourvu d'organes préformés, comment pouvait-il devenir aussi complexe sans l'intervention d'une force directrice ? Ce ne pouvait être que parce que la structure (et pas seulement le matériau brut) nécessaire au développement de cette complexité se trouve déjà dans l'œuf. Dans cette optique, ce que dit Bonnet du triomphe de la raison sur les sens paraît plus raisonnable.

En fin de compte, peut-on dire que l'embryologie, telle que nous la concevons aujourd'hui, reflète le succès de l'épigénétique ? Le juste milieu d'Aristote permet de résoudre tous les grands débats, celui-ci comme les autres. Dans l'optique d'aujourd'hui, les épigénéticiens avaient raison ; les organes se différencient progressivement à partir de rudiments pendant le développement de l'embryon ; il n'existe pas d'organes préformés. Mais les préformationnistes avaient également raison de croire que la complexité ne peut apparaître à partir d'un matériau brut, informe, et qu'il y a, dans l'œuf lui-même, un élément capable de présider à son développement. Tout ce que l'on peut dire (comme si cela avait de l'importance), c'est qu'ils se sont trompés sur la nature de ce « quelque chose », en croyant qu'il s'agissait d'organes préformés là où nous voyons les instructions codées contenues dans l'ADN. Mais pouvait-on s'attendre à mieux de la part d'hommes de science du XVIII^e qui ne connaissaient ni le piano mécanique ni l'ordinateur ? L'idée d'un programme codé ne faisait pas partie de leur équipement intellectuel.

Et, si nous y réfléchissons, qu'y a-t-il de plus extraordinaire que de prétendre que l'œuf contient des milliers d'instructions, enregistrées dans des molécules et commandant aux cellules de sécréter ou de cesser de sécréter certaines substances, qui règlent le déroulement des réactions chimiques ? L'idée des organes préformés me semble beaucoup moins extraordinaire. Le seul argument en faveur de l'idée d'instructions codées est que celles-ci semblent réellement exister.

26.

La posture fait l'homme

Aucune expédition n'a fait davantage pour la renommée et le prestige de l'American Muséum of Natural History que celles qui, dans les années vingt, ont eu pour but le désert de Gobi. Les découvertes, auxquelles elles donnèrent lieu, et notamment celles des premiers œufs de dinosaure, furent passionnantes et nombreuses, et leur récit lui-même est dans la veine des meilleurs films héroïques de Hollywood. Aujourd'hui encore, il est difficile de trouver un livre d'aventures plus passionnant que celui de Roy Chapman Andrews, au titre très chauviniste de *The New conquest of Central Asia*. Néanmoins, ces expéditions n'atteignirent pas l'objectif qu'elles s'étaient fixé : la découverte des ancêtres de l'homme dans cette partie du monde. Cet échec est dû à une raison toute simple : c'est en Afrique que nous sommes apparus et avons évolué, comme l'avait soupçonné Darwin cinquante ans plus tôt.

C'est pendant les années vingt qu'on découvrit nos ancêtres africains (ou du moins nos plus proches cousins) dans des sédiments déposés dans les cavernes. Mais ces australopithèques ne correspondaient pas à l'idée que l'on se faisait du « chaînon manquant », et de nombreux hommes de science refusèrent de les considérer comme des représentants de notre lignage. Le chaînon manquant devait être une forme intermédiaire du point de vue du corps et du cerveau, et les australopithèques n'entraient pas dans ce cadre. Leur cerveau était effectivement plus gros que celui des singes de taille comparable, mais pas tellement. L'augmentation de la taille du cerveau ne s'est produite qu'une fois franchi le stade de l'australopithèque. Pourtant, ces australopithèques se tenaient aussi droits que vous et moi. Comment cela est-il possible ? Si notre évolution est la conséquence

de la croissance du cerveau, comment est-il possible que la position debout, autre trait distinctif de l'homme, soit apparue d'abord ? En 1963, George Gaylord Simpson s'est servi de ce problème pour illustrer « l'impossibilité où nous nous trouvons parfois de prévoir les découvertes, même lorsque ces prévisions reposent sur des bases solides. Dans le domaine de l'évolution, l'un des exemples est notre incapacité à prévoir la découverte d'un chaînon manquant aujourd'hui connu (l'australopithèque) qui se tenait debout et fabriquait des outils, mais qui avait l'apparence et la capacité crânienne d'un singe ».

Il faut attribuer cette impossibilité en premier lieu à un préjugé qui est à l'origine d'une déduction incorrecte et selon lequel c'est notre cerveau qui nous permet de dominer les autres animaux. En conséquence, c'est le développement du cerveau qui a dû être le moteur de notre évolution à toutes les étapes. On retrouve cette idée tout au long de l'histoire de l'anthropologie. Karl-Ernst von Baer, le plus grand embryologiste du XIX^e siècle (qui ne cède le pas qu'à Darwin lui-même dans mon panthéon personnel des héros de la science) a écrit en 1828 : « La station debout n'est que la conséquence du développement du cerveau [...], les différences entre l'homme et les animaux résultent de la structure du cerveau. » Un siècle plus tard, l'anthropologiste anglais G.E. Smith affirmait : « Le singe n'est pas devenu homme grâce à l'adoption de la station debout, ni grâce à l'invention du langage articulé, mais grâce au perfectionnement progressif du cerveau et au lent développement de la structure psychologique, dont la station debout et la parole ne sont que des manifestations accidentelles. »

Contre cette quasi-unanimité en faveur du cerveau, quelques rares hommes de science ont soutenu la primauté de la station. Sigmund Freud a fondé sur elle la presque totalité de sa théorie de l'origine des civilisations, d'abord dans les lettres de Wilhelm Fleiss, dans les années 1890, puis dans *Malaise dans la civilisation*, pendant les années trente. Freud voulait montrer que la posture debout a favorisé la vue au détriment de l'odorat. Cette transformation aurait fait passer la stimulation sexuelle des mâles de l'odeur cyclique des chaleurs à la visibilité continue des organes génitaux de la femelle. Le désir incessant des mâles aurait entraîné l'apparition d'une réceptivité continue chez la femelle. Presque tous les mammifères ne s'accouplent

qu'au moment de l'ovulation ; les êtres humains sont sexuellement actifs à tout moment. Et c'est cette sexualité permanente qui aurait créé les liens familiaux et rendu la civilisation possible ; les animaux, qui ne s'accouplent que cycliquement, ne sont pas motivés pour créer des structures familiales stables. « La civilisation serait donc née, conclut Freud, quand l'homme a adopté la posture debout. »

Bien qu'elles n'aient pas été soutenues par les anthropologues, les idées de Freud sont à l'origine d'une variante dans la tradition qui soutient la primauté de la station debout. Et c'est incidemment cette variante que nous avons tendance aujourd'hui à considérer comme apte à expliquer la morphologie des australopithèques et le cheminement de l'évolution humaine. Le cerveau ne peut pas se développer à partir du vide. Il faut une incitation, et celle-ci pourrait bien être un changement de mode de vie favorisant nettement l'intelligence. La station debout libère les mains des tâches de locomotion et favorise la manipulation. Pour la première fois, il était possible de fabriquer et d'utiliser des outils et des armes. L'accroissement de l'intelligence est, dans une large mesure, dû aux possibilités innombrables liées à la libération des mains.

Naturellement, aucun anthropologue n'a été assez naïf pour soutenir que l'évolution du cerveau et celle de la posture furent radicalement distinctes, que l'un d'eux fut complètement humain avant que l'autre ne commençât à se développer. Il y eut des interactions et des renforcements mutuels. Néanmoins, le changement de posture a certainement été plus rapide que le développement du cerveau ; la libération des mains a précédé l'évolution du cerveau.

Prouvant une fois de plus que la modération n'a pas toujours raison, Lorenz Oken, collègue mystique et obscur de von Baer, tomba sur l'argument « correct » en 1809, alors que von Baer se fourvoyait encore quelques années plus tard. « La station debout est ce qui distingue l'homme, écrit Oken. Les mains sont libérées et peuvent remplir toutes leurs fonctions... La liberté du corps entraîne la liberté de l'esprit. » Mais au XIX^e siècle, le champion de la station debout était le défenseur allemand de Darwin : Ernst Haeckel. Sans la moindre information directe, Haeckel a reconstitué notre ancêtre et lui a même

donné un nom scientifique : *Pithecanthropus alalus*, l'homme singe pourvu d'un petit cerveau et incapable de parler³⁰.

Mais pourquoi, malgré les objections soulevées par Oken et Haeckel, l'idée de la primauté du cerveau est-elle aussi solidement enracinée ? Une chose est sûre : elle ne reposait pas sur des observations directes... puisqu'il n'en existait aucune, que ce soit en faveur d'une position ou de l'autre. Exception faite de *l'homme de Neandertal* (qui, de l'avis de presque tous les anthropologues, est une variante géographique de notre propre espèce) on ne découvrit aucun fossile humain avant les dernières années du XIX^e siècle, c'est-à-dire longtemps après que le dogme de la primauté du cerveau se fut installé. Mais les débats sans fondements objectifs sont souvent parmi les plus révélateurs de l'histoire de la science, car, en l'absence de la rigueur imposée par les faits, les influences sociales qui s'exercent sur la pensée – et que les savants essayent continuellement de nier – apparaissent en toute clarté.

En fait, nous devons au XIX^e siècle un exposé brillant, dont l'auteur surprendra sans doute beaucoup de lecteurs puisqu'il s'agit de Friedrich Engels³¹. Engels a écrit, en 1876, un traité intitulé *le Rôle du travail dans le passage du singe à l'homme*, qui ne fut publié qu'en 1896, après sa mort, et qui n'a malheureusement exercé aucune influence sur la science occidentale.

Engels considère trois caractéristiques essentielles de l'évolution humaine : le langage, la taille du cerveau et la station debout. Il pense que la première étape a été la descente des arbres et que nos ancêtres, installés sur le sol, se sont progressivement redressés. « Ces singes, vivant sur le sol, perdirent l'habitude de se servir de leurs mains et adoptèrent une attitude de plus en plus droite. Ce fut une étape décisive du passage du singe à l'homme. » La position debout libérait les mains et permettait l'utilisation d'outils (c'est ce qu'Engels appelle le travail). Le développement de l'intelligence et le langage vinrent plus tard.

« Ainsi, poursuit Engels, la main n'est pas seulement un outil de travail, c'est également le produit du travail. Ce n'est que par le travail, par l'adaptation à des opérations toujours nouvelles [...], par l'utilisation toujours renouvelée des améliorations léguées par héri-

tage dans des opérations nouvelles, de plus en plus complexes, que la main humaine a atteint le degré de perfection qui lui a permis de faire naître les peintures de Raphaël, les statues de Thorvaldsen, la musique de Paganini. »

Engels présente ses conclusions comme si elles se déduisaient naturellement des prémices de sa philosophie matérialiste, mais je suis persuadé qu'il les a chipées à Haeckel. Les deux formulations sont presque identiques, et dans un autre essai écrit en 1874, Engels cite les pages correspondantes de Haeckel. Mais peu importe. L'importance de l'essai d'Engels ne réside pas dans ses conclusions elles-mêmes, mais dans l'analyse politique pénétrante par laquelle il montre que la science fondait son raisonnement sur une affirmation arbitraire : la primauté du cerveau.

À mesure que les êtres humains maîtrisaient leur environnement matériel, continue Engels, de nouvelles techniques s'ajoutèrent à la chasse primitive : l'agriculture, le filage, la poterie, la navigation, les arts et les sciences, les lois et la politique puis, finalement, « le reflet grotesque des choses humaines dans l'esprit humain : la religion ». À mesure que la richesse augmentait, des groupes d'hommes s'emparèrent du pouvoir et contraignirent les autres à travailler pour eux. Le travail, source de toutes les richesses et premier moteur de l'évolution de l'homme, fut assimilé au statut de ceux qui travaillaient pour les dirigeants. Comme les dirigeants gouvernaient par leur volonté (c'est-à-dire par l'action de l'esprit) il apparut que le cerveau était lui-même le moyen du pouvoir. Les philosophes se mirent sous la protection de l'Église ou de l'État. Même si Platon n'avait pas consciemment l'intention de soutenir les privilèges des dirigeants à l'aide d'une philosophie prétendument abstraite, sa propre position sociale l'encourageait à insister sur la primauté, la domination de la pensée, considérée comme plus noble et plus importante que le travail qu'elle supervise. La tradition idéaliste a dominé la philosophie jusqu'à l'époque de Darwin. Son influence était si subtile et si pénétrante que même des matérialistes scientifiques, mais apolitiques, tels que Darwin n'y échappèrent pas. Il faut connaître un préjugé avant de le combattre. La primauté du cerveau semblait si évidente et si naturelle qu'on la tenait pour acquise, sans se douter qu'elle reflétait un préjugé social profondément ancré, lié à la position des penseurs profes-

sionnels et de leurs protecteurs dans la communauté. Et Engels conclut :

« On a attribué tout le mérite des progrès rapides de la civilisation à l'esprit, au développement de l'activité du cerveau. Les hommes s'accoutumèrent à expliquer leurs actes par leurs pensées et non par leurs besoins. Ainsi, à mesure que le temps passait, une vision idéaliste du monde, en particulier depuis la disparition de l'ancien monde, s'est installée dans l'esprit des hommes. Elle s'exerce aujourd'hui encore à un degré tel que même les plus matérialistes des hommes de science, comme ceux de l'école de Darwin, sont incapables d'avoir une idée claire de l'origine de l'homme, parce que, soumis à cette idéologie, ils ne peuvent reconnaître le rôle joué par le travail. »

L'importance de l'essai d'Engels ne réside pas dans le fait que l'australopithèque a confirmé la théorie qu'il propose (*via* Haeckel)³², mais plutôt dans l'analyse pénétrante du rôle de la science et des pressions sociales qui influencent la pensée.

En fait, la distinction faite entre la tête et la main et relevée par Engels, a beaucoup fait pour établir et limiter le cours de la science dans l'Histoire. La science académique, par exemple, est soumise à un idéal de recherche « pure » qui, autrefois, empêchait le savant de recourir à l'expérience et à l'observation empirique. La science de la Grèce antique a souffert de l'interdiction faite aux penseurs patriciens d'effectuer les tâches manuelles des artisans plébéiens. Les barbiers du Moyen Âge, qui pansaient les blessures sur les champs de bataille, ont plus contribué au progrès de la médecine que les médecins traditionnels, qui examinaient rarement les malades et fondaient leurs traitements sur leur connaissance de Galien et d'autres textes. Aujourd'hui encore, les chercheurs « purs » ont tendance à dénigrer la pratique et on entend toujours, avec une fréquence désespérante, dans les cercles académiques, des termes tels que « école de pétanque » ou « lycée d'ânes ». Si nous voulions tenir compte du message d'Engels, et si nous nous rendions compte que notre croyance en la supériorité intrinsèque de la recherche pure n'est que l'expression de préjugés sociaux, peut-être pourrions-nous amener les hommes de

science à unir la théorie à la pratique, ce dont un monde qui oscille dangereusement au bord de l'abîme a grand besoin.

Racisme et récapitulation

« L'adulte qui conserve le plus grand nombre de caractéristiques fœtales (ou) infantiles est incontestablement inférieur à celui qui les a dépassées. En fonction de ces critères, la race blanche, européenne, est en haut de la liste, la race noire, africaine, en bas. »

D.G. Brinton, 1890.

« Me fondant sur ma théorie, je suis un défenseur de l'inégalité des races. Pendant son développement embryonnaire, le Noir va au-delà d'une étape qui est le stade final chez l'homme blanc. Si le ralentissement du développement embryonnaire se poursuit chez les Noirs, il est possible que ce qui est actuellement une étape de transition pour cette race devienne le stade final. Toutes les races peuvent atteindre le niveau supérieur de développement qui caractérise actuellement la race blanche. »

L. Bolk, 1926.

Les Noirs sont inférieurs, selon Brinton, parce qu'ils conservent des caractéristiques juvéniles. Les Noirs sont inférieurs, suivant Bolk, parce que leur développement se poursuit au-delà des traits juvéniles que les Blancs conservent. Il paraît difficile d'invoquer deux arguments plus contradictoires pour justifier la même opinion.

Les arguments proviennent de différentes lectures, dans un domaine très technique de la théorie évolutionniste : les rapports entre l'ontogenèse (développement des individus) et la phylogenèse (évolution des lignées). Mon intention n'est pas de traiter ce sujet en profondeur, mais de montrer comment fonctionne le racisme pseudo-scientifique. Nous avons tendance à croire que le progrès scientifique chasse la superstition et le préjugé. Or Brinton tirait son racisme de la théorie de la récapitulation, selon laquelle les individus, pendant leur

croissance embryonnaire et infantile, reflètent le stade adulte de leurs ancêtres ; Bref, que tout individu, au cours de son développement, escalade son arbre généalogique. Pour les partisans de la récapitulation, les branchies du fœtus humain symbolisaient le poisson adulte dont nous descendons. Et, dans la perspective raciste, l'enfant blanc franchit des étapes de développement intellectuel caractéristiques du stade adulte des races « inférieures ». À la fin du XIX^e siècle, le récapitulationnisme était l'une des deux ou trois théories « scientifiques » de l'arsenal raciste.

À la fin des années vingt, cependant, la théorie de la récapitulation s'était complètement effondrée. En fait, comme je l'ai déjà montré, les anthropologues se sont mis à interpréter l'évolution de l'homme d'une manière radicalement opposée. Bolk prit la tête du mouvement en montrant que l'évolution humaine passe par la rétention des étapes de la jeunesse de nos ancêtres et la disparition des structures adultes. Ce processus se nomme : néoténie. Ce retournement aurait dû entraîner la déroute du racisme blanc : au moins, une mise à l'écart discrète des conceptions antérieures ; au mieux, la reconnaissance que les informations traditionnelles, interprétées en fonction de la nouvelle théorie, mettaient en évidence la supériorité des Noirs – puisque la rétention des traits juvéniles était devenu facteur du progrès. Rien de tout cela ne se produit. On oublia tranquillement les informations traditionnelles, et Bolk en chercha de nouvelles pour affirmer, une fois de plus, l'infériorité des Noirs. Dans le cadre de la néoténie, les races « supérieures » doivent conserver un grand nombre de caractéristiques juvéniles au stade adulte. Bolk écarta donc les « faits » embarrassants dont les récapitulationnistes s'étaient servis, et répertoria les quelques caractéristiques juvéniles de l'adulte blanc.

Figure 14

Il est clair que, dans ce cas, la science n'a pas influence l'attitude raciale. C'est exactement le contraire : l'idée *a priori* de l'infériorité des Noirs a déterminé la sélection des informations. À partir d'un ensemble de données susceptibles de fonder n'importe quelle conception raciale, les hommes de science ont choisi les faits correspondant à leurs prémisses et leur ont fait dire ce qu'ils voulaient qu'ils disent.

Il y a une morale à cette histoire, et c'est qu'il n'existe pas actuellement, et qu'il n'y a jamais eu, une seule preuve incontestable, en ce qui concerne la détermination génétique des traits, du bien-fondé des distinctions raciales. Ce manque de preuves n'a pourtant pas empêché l'opinion scientifique de s'exprimer. Il nous faut donc en conclure que cette expression était un acte politique plutôt que scientifique... et que les hommes de science ont tendance à se conduire en conservateurs, puisqu'ils rendent « objectif » ce que la société a envie d'entendre.

Mais je reviens à mon histoire. Ernst Haeckel, qui a fait connaître la pensée de Darwin, a vu dans la théorie évolutionniste une arme sociale.

« D'un côté, écrit-il, il y a l'évolution et le progrès, guidés par le clair étendard de la science ; de l'autre, guidés par le drapeau noir de la hiérarchie, il y a la servitude spirituelle et le mensonge, l'absence de raison et la barbarie, la superstition et la récession... L'évolution est l'artillerie lourde de la bataille pour la vérité ; des régiments entiers de sophismes à double sens tombent [sous ses coups] comme sous l'effet d'un pilonnage d'artillerie. »

La récapitulation était l'argument favori de Haeckel (il l'appelait « loi biogénétique », et c'est lui l'auteur de la phrase célèbre : L'ontogénèse est le reflet de la phylogénèse). Il s'en est servi pour contester la prétention des nobles à un statut particulier (ne sommes-nous pas tous des poissons à l'état d'embryons ?) et pour ridiculiser l'immortalité de l'âme, car où se trouve l'âme si nous ne sommes que des embryons en forme de ver ?

Mais Haeckel et ses confrères ont également invoqué la récapitulation pour établir la supériorité raciale des Blancs d'Europe du Nord. Ils passèrent en revue l'anatomie et les comportements humains se servant de tout ce qu'ils pouvaient trouver, du cerveau au nombril, et Herbert Spencer claironna : « Les caractéristiques intellectuelles du primitif [...] sont celles de l'enfant civilisé. » En 1864, Cari Vogt s'exprima plus vigoureusement encore : « Le Noir adulte possède en ce qui concerne les facultés intellectuelles, la nature de l'enfant. Certaines tribus ont fondé un État et possèdent une organisation propre, mais pour le reste, on peut affirmer sans risque d'erreur que la race

dans son ensemble n'a rien apporté, dans le passé autant que dans le présent, au progrès de l'humanité qui soit digne d'être conservé. » Et l'anatomiste français Etienne Serres est allé jusqu'à prouver que les mâles noirs sont primitifs parce que la distance entre le nombril et le pénis ne grandit pas (comparativement à la taille totale) au cours de la vie alors que, chez l'enfant blanc, la séparation est petite au début mais augmente pendant la croissance. L'élévation du nombril comme indice de progrès !...

Ces arguments généraux furent largement utilisés par la société. Edward Drinker Cope, plus connu par sa « querelle sur les fossiles » qui l'opposa à Othniel Charles Marsh, a comparé les peintures rupestres à des dessins d'enfants blancs et de « primitifs » adultes : « On découvre que les réalisations des premières races sont semblables à celles que la main inexperte de l'enfant trace sur son ardoise ou à celles que le sauvage dessine sur des rochers. » L'école d'« anthropologie criminelle » a stigmatisé les imperfections génétiques des délinquants et les a comparés aux enfants et aux adultes africains ou indiens. « Certains d'entre eux, a écrit l'un de ses représentants les plus zélés, seraient l'orgueil et l'aristocratie morale d'une tribu d'indiens. » Havelock Ellis a remarqué que les criminels blancs, les enfants blancs et les Indiens d'Amérique du Sud, en général, ne rougissent pas de honte.

L'impact politique de la récapitulation se fit surtout sentir dans la justification de l'impérialisme. Kipling, dans son poème sur « le fardeau de l'homme blanc », décrit les sauvages vaincus comme « mi-enfants, mi-démons ». Si la conquête de terres lointaines allait contre les principes chrétiens, la science pouvait toujours soulager les consciences en faisant remarquer que les peuples primitifs, comme les enfants blancs, sont incapables de se gouverner eux-mêmes. Pendant la guerre hispano-américaine, on discuta beaucoup, aux États-Unis, pour savoir s'il fallait ou non annexer les Philippines. Alors que les adversaires de l'impérialisme citaient Henry Clay, qui croyait le Seigneur incapable d'avoir créé une race inapte à se gouverner, le révérend Josuah Strong répondit : « La conception de Clay remonte à une époque où la science n'avait pas montré que les races se développent au fil des siècles comme les individus au fil des années, et qu'une race sous-développée, incapable de se gouverner elle-même,

n'est pas davantage l'œuvre du Tout-Puissant qu'un enfant auquel il faut dicter sa conduite. » D'autres affichèrent un point de vue « libéral » et exprimèrent leur racisme sur le monde paternaliste : « Un monde sans peuples primitifs ressemblerait à un monde sans enfants. Nous devrions être aussi justes avec les “races désobéissantes” qu'avec les “enfants désobéissants”. »

Mais la récapitulation avait une faiblesse qui lui fut fatale. Si les caractéristiques de l'ancêtre adulte deviennent les structures juvéniles du descendant, il faut que leur développement soit accéléré, afin qu'il y ait la place d'ajouter de nouvelles caractéristiques adultes à la fin de l'ontogenèse du descendant. Lorsqu'on redécouvrit la génétique mendélienne, en 1900, cette « loi de l'accélération » s'effondra, entraînant avec elle la théorie de la récapitulation. En effet, si les gènes produisent des enzymes et si les enzymes contrôlent le rythme des processus, l'évolution peut agir soit en ralentissant le développement, soit en accélérant. La récapitulation rend l'accélération nécessaire, mais la génétique montre que le ralentissement est tout aussi probable. Quand les savants se mirent à chercher des indices de ralentissement, l'attention se concentra sur notre espèce. Or, dans bien des domaines, les êtres humains ont évolué en conservant les caractéristiques juvéniles communes aux primates et même aux autres mammifères. Je n'en veux pour exemple que notre crâne bulbeux, notre gros cerveau, la position ventrale du *foramen magnum* (qui favorise la station debout), la petite taille des mâchoires et l'absence relative de poils.

Pendant un demi-siècle, les défenseurs de la récapitulation avaient rassemblé des « données » raciales ; toutes montraient que les adultes des races inférieures étaient semblables aux enfants blancs. Quand la récapitulation s'effondra, les partisans de la néoténie de l'homme possédaient toujours ces données. Une réinterprétation objective aurait dû conduire à admettre que les races « inférieures » sont supérieures. Car, comme l'a écrit Havelock Ellis, l'un des premiers défenseurs de la néoténie, « le progrès de notre race a été le progrès du rajeunissement ». En fait, on adopta ce nouveau critère. Désormais, ce serait donc la race la plus proche de l'enfant qui endosserait le manteau de la supériorité. Les vieilles données furent simplement écartées, et Bolk se démena comme un beau diable pour

prouver que l'adulte blanc est comme l'enfant noir. Et il finit évidemment par trouver – c'est toujours possible quand on le veut vraiment. Les Noirs adultes, expliqua-t-il, ont le crâne long, la peau sombre, les mâchoires nettement proéminentes et une denture « archaïque » ; alors que les Blancs adultes et les enfants noirs ont le crâne court, la peau claire (ou du moins, plus claire) et de petites mâchoires. Passons sur les dents. « Il semble que la race blanche soit plus évoluée, parce qu'elle est plus retardée », énonce Bolk. Havelock Ellis avait dit presque la même chose en 1894 : « Dans presque toutes les races africaines, l'enfant est aussi intelligent que les petits Européens, mais alors que l'Africain devient stupide et obtus en grandissant, et que sa vie sociale se résume à une routine pleine de superstitions, l'Européen garde toute la vivacité de l'enfant. »

De peur que l'on ne prenne ces idées pour les erreurs d'une époque révolue, je ferai remarquer que l'argument néoténique a été encore invoqué en 1971 par un généticien déterministe éminent dans la querelle du QI. H. Eysenck prétend, en effet, que le développement sensori-moteur des enfants noirs, qu'ils soient africains ou américains, est plus rapide que celui des enfants blancs. Il montre également qu'un développement sensori-moteur rapide pendant la première année de la vie correspond à un QI faible par la suite. C'est un cas classique de corrélation sans signification, indépendante de la causalité, Supposons que les différences de QI dépendent entièrement de l'environnement, le développement moteur rapide n'est pas la cause de la faiblesse du QI ; ce n'est qu'un autre moyen de distinguer les races... tout de même moins efficace que la couleur de la peau. Néanmoins, Eysenck invoque la néoténie à l'appui de son interprétation génétique : « Ces découvertes, écrit-il, sont importantes à cause d'un principe général de biologie suivant lequel plus l'enfance est longue, plus grandes sont, en général, les aptitudes intellectuelles et cognitives de l'espèce. »

Mais il y a une faille dans l'argument néoténique, et les racistes blancs choisissent en général de l'ignorer. On ne peut pas nier que la plus juvénile des races humaines n'est pas la race blanche, mais la race mongoloïde³³. Bolk a tourné autour du pot, Havelock Ellis seul s'est attaqué de front à ce problème et a admis sa défaite.

Si les récapitulonnistes racistes ont perdu à cause de la théorie, il est possible que les néoténistes racistes perdent à cause des faits – bien que l’Histoire montre que l’on se contente de sélectionner les faits favorables à une théorie préexistante. Car les informations concernant la néoténie soulèvent un autre problème embarrassant : le statut de la femme. Tout était pour le mieux du temps de la récapitulation. L’anatomie féminine est plus infantile que celle de l’homme..., indice certain d’infériorité, comme l’a montré Cope, sans ménagement, dans les années 1880. Cependant, dans la perspective néoténique, la même donnée confère la supériorité aux femmes. Une nouvelle fois Bolck a choisi d’ignorer ce problème. Et, de nouveau, Havelock Ellis l’a posé honnêtement et a adopté la position défendue plus tard par Ashley Montagu dans son ouvrage intitulé *The Natural Superiority of women*. Ellis a écrit en 1894 : « Elle possède les caractéristiques de l’humanité à un plus haut degré que l’homme... Cela est vrai des structures physiques : l’homme de la civilisation urbaine, avec sa grosse tête, son visage délicat et ses os fins, est plus proche de la femme que le sauvage. Non seulement par la taille de son cerveau, mais aussi par la largeur de son bassin, l’homme moderne s’engage sur un chemin déjà suivi par la femme. » Ellis alla même jusqu’à nous suggérer de chercher le salut dans les deux dernières lignes de *Faust* :

Éternelle féminité
Guide-nous sur les cimes.

28. Le délinquant est une erreur de la nature ou le singe qui sommeille en nous

W.S. Gilbert a exercé son esprit critique sur toutes les formes de prétention à mesure qu'il les rencontrait. Aujourd'hui encore, nous applaudissons presque toutes ses satires : les politiciens pompeux et les poètes pédants sont toujours des cibles de prédilection. Mais Gilbert vivait à l'époque victorienne, et ce qui lui paraissait prétentieux nous semble aujourd'hui aller de soi : l'éducation supérieure pour les femmes, par exemple.

« L'éducation supérieure pour les femmes ! C'est la plus grande des folies !

Que pourraient-elles y apprendre qui vaille la peine d'être su ? »

Dans *la Princesse Ida*, le professeur (féminin) de lettres du château d'Adamant appuie son affirmation selon laquelle « l'homme est l'unique erreur de la nature » sur une explication biologique. Elle raconte l'histoire d'un singe qui, pour gagner l'affection d'une jolie fille dont il est amoureux, essaye de s'habiller et de se conduire comme un gentleman. Mais il n'obtient aucun résultat, car :

L'homme de Darwin, même bien élevé,
N'est, au mieux, qu'un singe rasé !

Gilbert a fait représenter *la Princesse Ida* en 1884, huit ans après qu'un médecin italien, Cesare Lombroso, eut lancé l'un des mouvements sociaux les plus puissants de son époque avec une affirmation semblable, faite avec le plus grand sérieux à propos d'un groupe d'hommes. Les délinquants-nés, disait-il, sont essentiellement des

singes qui vivent parmi nous. Au seuil de la vieillesse, Lombroso se souvint du moment de sa révélation :

« En 1870, j'effectuais, depuis plusieurs mois, des recherches sur des cadavres et des sujets vivants, dans les prisons et les asiles de Pavie, dans le dessein de mettre en évidence des différences substantielles entre les criminels et les fous, sans grand succès. Soudain, au matin d'un triste jour de décembre, je découvris sur le crâne d'un bandit un très grand nombre d'anomalies ataviques. Le problème de la nature et de l'origine de la criminalité me parut résolu ; les caractéristiques des hommes primitifs et des animaux inférieurs existent certainement encore à notre époque. »

Les théories biologiques de la criminalité n'étaient pas une nouveauté, mais Lombroso présenta la sienne sous un jour différent en lui donnant un tour évolutionniste. Les criminels-nés ne sont pas seulement des fous ou des malades ; ce sont en réalité des cas de régression à un niveau d'évolution antérieur. Les caractéristiques héréditaires de nos ancêtres primitifs et simiesques demeurent dans notre potentiel génétique. Certains malchanceux naissent avec une grande quantité de caractéristiques ancestrales. Leur conduite aurait peut-être été appropriée dans les sociétés sauvages du passé, mais nous la considérons comme criminelle. Sans doute plaignons-nous le criminel-né, car il ne peut rien contre sa condition ; mais nous ne pouvons pas tolérer ses actes³⁴.

Je raconte cette anecdote pour trois raisons, qui font d'elle plus qu'un simple sujet de recherche sur un aspect peu connu de l'histoire de la fin du XIX^e siècle :

1. Point de vue général sur l'histoire sociale. Elle illustre l'influence déterminante que la théorie évolutionniste a exercée dans des domaines très éloignés de la biologie, qui en constitue l'essentiel. Presque toutes les grandes idées ont des conséquences subtiles et imprévues. Cela ne devrait plus nous surprendre à l'époque de la bombe atomique, mais beaucoup d'hommes de science ne l'ont pas encore compris.

2. Point de vue politique. Au nom de la raison éclairée, on a souvent fait appel à la biologie pour expliquer le comportement humain. Selon les partisans du déterminisme biologique, la science écrasant la

superstition et le sentimentalisme nous permet de connaître notre véritable nature. Mais la conséquence directe de leurs affirmations est généralement autre : les dirigeants, dans les sociétés de classes, s'en servent pour justifier l'ordre social en vigueur, en le faisant reposer sur les lois de la nature. Il est évident qu'on ne peut pas rejeter une idée sous prétexte que ses implications sont désagréables, et que c'est la vérité, telle que nous la concevons, qui doit être le critère fondamental. Mais les affirmations des déterministes ont toujours reposé sur des spéculations pleines de préjugés, non sur des faits vérifiés. Et l'anthropologie criminelle de Lombroso en est, à ma connaissance, le meilleur exemple.

3. Remarque concernant notre époque. Les idées de Lombroso n'ont plus cours, mais son postulat fondamental se retrouve dans les conceptions populaires sur les chromosomes ou les gènes qui seraient particuliers aux criminels. Ces incarnations modernes sont tout aussi dangereuses que la version originale. Leur surveillance illustre la tentation de recourir au déterminisme biologique pour justifier une société dans laquelle la majorité ne prospère qu'en rejetant la responsabilité sur la victime.

Dans son ouvrage fondamental, le célèbre *l'Uomo delinquente*, Lombroso rapporte d'abord une suite d'anecdotes destinées à montrer que le comportement normal des animaux inférieurs est criminel au regard de nos critères. Les animaux tuent pour supprimer la révolte ; ils éliminent les mâles rivaux, ils tuent sous l'empire de la colère (une fourmi, énervée par un puceron récalcitrant, l'a tué et dévoré) ; ils s'associent dans le crime (trois castors communautaires partageaient un territoire avec un individu solitaire ; le trio rendit visite à son voisin et fut bien reçu ; quand le solitaire leur rendit visite à son tour, ils le tuèrent en remerciement de sa sollicitude). Lombroso va même jusqu'à considérer que la plante carnivore qui se saisit d'une mouche commet « un équivalent de crime » alors qu'on ne voit pas très bien en quoi cela diffère des autres moyens de se procurer de la nourriture.

Dans la seconde partie, Lombroso examine l'anatomie des criminels et découvre les indices physiques (stigmates) de leur statut de primitifs, de la résurgence de notre évolution passée. Puisqu'il a déjà

établi que le comportement normal des animaux est criminel, les actes de ces primitifs résultent de leur nature. Les caractéristiques simiesques des criminels-nés sont la longueur des bras, la mobilité du gros orteil qui rend le pied capable de préhension, l'étroitesse du front, la grandeur des oreilles, l'épaisseur du crâne, la taille des mâchoires, l'abondance des poils sur la poitrine du mâle et la résistance à la douleur. Mais les résurgences ne concernent pas uniquement le stade du singe. De grandes canines et un palais plat rappellent un passé de mammifère plus éloigné. Lombroso va même jusqu'à comparer l'asymétrie faciale prononcée des délinquants-nés à la constitution normale de la limande – les deux yeux sur le même côté de la tête !

Mais il n'y a pas que des stigmates physiques. Le comportement social du délinquant-né aussi l'assimile aux singes et aux sauvages. Lombroso insiste tout particulièrement sur le tatouage, coutume très répandue dans les tribus primitives et parmi les délinquants d'Europe. Il s'est livré à de nombreuses statistiques sur le contenu des tatouages et trouva qu'il était généralement lubrique, immoral ou justificatif (sauf un, il dut l'admettre : « Vivent la France et les pommes de terre frites³⁵ ! »). Dans l'argot des délinquants, Lombroso voit une langue en tout point semblable à celles des tribus sauvages en ce qui concerne l'utilisation des onomatopées et la personnification des objets inanimés : « Ils ont un langage différent parce qu'ils pensent différemment ; ils parlent comme les sauvages parce qu'ils sont de véritables sauvages au milieu de notre brillante civilisation européenne. »

Et Lombroso ne s'en tint pas à sa théorie. Il fonda et dirigea activement une école internationale « d'anthropologie criminelle » qui fut le fer de lance de l'un des mouvements sociaux les plus importants de la fin du XIX^e siècle. L'école « positive » ou « nouvelle » de Lombroso fit vigoureusement campagne en faveur du renforcement de la loi et des sanctions pénales. Il considérait les critères qui lui permettaient d'identifier les délinquants-nés comme une contribution déterminante au renforcement de la loi. Lombroso a même lancé l'idée de la criminologie préventive. Il est inutile, disait-il, que la société attende que le délit se produise, puisque les stigmates physiques et sociaux permettent de reconnaître les délinquants potentiels. Il est possible de les identifier dès l'enfance, de les surveiller et de les retirer de

la circulation au moment où leur nature ne manquera pas de se manifester (Lombroso, qui était libéral, préférait l'exil à la mort...). Selon Enrico Ferri, le plus proche collaborateur de Lombroso, « le tatouage, l'anthropométrie, la physiognomonie [...], l'activité réflexe, les réactions vasomotrices³⁶ et l'acuité visuelle » devraient constituer les critères de jugement des magistrats.

Les défenseurs de l'anthropologie criminelle firent également campagne pour une réforme fondamentale du Code pénal. Selon l'éthique chrétienne, il faut juger les délinquants sur leurs actes ; la biologie montrait qu'il fallait les juger sur leur nature. La sentence doit être adaptée au criminel, non au crime. Les délinquants occasionnels, qui ne possèdent pas les stigmates et sont capables de se racheter, devraient être emprisonnés le temps nécessaire à leur rédemption. Mais les criminels-nés sont victimes de leur nature. « La morale glisse sur le cerveau malade comme l'huile sur le marbre : elle ne pénètre pas. » Lombroso était donc favorable à la détention à vie – dans un endroit agréable, mais isolé – pour tout récidiviste présentant les stigmates. Certains de ses collaborateurs étaient moins généreux. Un juriste de premier plan écrivit à Lombroso :

« Vous nous avez montré des orangs-outans lubriques et féroces qui ont figure humaine. Il est évident qu'en tant que tels, ils ne peuvent se conduire autrement. S'ils violent, tuent et volent, c'est en raison de leur nature et de leur passé, mais il n'en faut pas plus pour les détruire après avoir acquis la certitude qu'ils resteront des orangs-outans. »

Lombroso lui-même n'écartait d'ailleurs par la « solution finale » :

« Le fait même qu'il existe des criminels-nés, organiquement enclins au mal, des reproductions ataviques non seulement d'hommes sauvages, mais aussi des animaux les plus féroces, loin de nous entraîner à la compassion à leur égard, comme on l'a prétendu, nous incite à renoncer à toute pitié. »

Autre implication sociale de l'école de Lombroso. Si les sauvages humains, comme les délinquants-nés, ont des caractéristiques simiesques, alors les tribus primitives (« minorités extérieures à la loi ») peuvent être considérées comme délinquantes en elles-mêmes. L'anthropologie criminelle a donc fourni sa justification au racisme et

à l'impérialisme, au plus fort de l'expansion coloniale de l'Europe. Lombroso, remarquant la résistance des délinquants à la douleur, écrivait :

« Leur résistance à la douleur rappelle celle des peuples sauvages qui sont capables de supporter, pendant les rites d'initiation, des tortures auxquelles l'homme blanc ne résisterait pas. Tous les voyageurs connaissent l'indifférence des Noirs et des sauvages d'Amérique à la douleur : les premiers se coupent la main en riant pour être dispensés de travail ; les seconds, liés au poteau de torture, chantent gaiement les louanges de leur tribu pendant qu'on les brûle à petit feu. »

On ne peut combattre un *a priori* raciste. Combien de héros occidentaux sont morts bravement dans des souffrances atroces... Jeanne d'Arc, brûlée vive, saint Sébastien criblé de flèches, d'autres martyrs suppliciés, écartelés et découpés en morceaux. Mais quand un Indien ne hurle pas et n'implore pas la pitié, cela veut seulement dire qu'il ne sent pas la douleur.

Si Lombroso et ses collègues avaient été un groupe de proto-nazis convaincus, il serait possible de balayer toute leur entreprise d'un revers de la main et de les considérer comme des démagogues ridicules. Je me contenterais alors de prêcher la méfiance à l'égard des idéologues qui font un mauvais usage de la science. Mais les partisans de l'anthropologie criminelle étaient des socialistes et des sociaux-démocrates « éclairés », qui considéraient leur théorie comme le fer de lance d'une société rationnelle et scientifique fondée sur les réalités humaines. La détermination génétique de l'acte criminel, suivant Lombroso, n'est que la loi de la nature et de l'évolution :

« Nous sommes gouvernés, écrit-il, par des lois silencieuses qui ne cessent jamais de s'appliquer et qui régissent la société avec plus de rigueur que notre législation. Il semble que le crime soit un phénomène naturel, comme la vie et la mort. »

Par la suite, il apparut que la « réalité » scientifique de Lombroso n'était que l'expression de ses préjugés sociaux appliqués aux faits par l'intermédiaire d'une étude prétendument objective. Ses conceptions condamnaient beaucoup d'innocents à un pré-jugement qui fonctionnait souvent comme une prophétie qui se réalise d'elle-même. Sa tentative pour comprendre le comportement humain en

mettant en évidence le potentiel inné qui révèle notre anatomie a en fait porté préjudice aux réformes sociales en rejetant toute la responsabilité sur l'hérédité du délinquant.

Évidemment, personne, aujourd'hui, ne prend plus Lombroso au sérieux. Ses statistiques étaient fausses ; seule une foi aveugle dans des conclusions inévitables a pu le pousser à tant de partialité et de trucages. De plus, personne n'oserait affirmer aujourd'hui que la longueur des bras ou la proéminence de la mâchoire sont des signes d'infériorité. Les déterministes modernes cherchent ces indices dans les gènes et les chromosomes.

Il s'est passé beaucoup de choses depuis la parution de *l'Uomo delinquente*. Pas un seul partisan sérieux de la criminalité innée n'exige la détention ou la disparition physique de ceux qui en sont affligés, et personne ne prétend qu'un penchant naturel à commettre des actes criminels conduit nécessairement à leur réalisation. Pourtant, l'esprit de Lombroso rôde toujours. Dans l'affaire Richard Speck, qui a assassiné huit infirmières à Chicago, la défense a prétendu qu'il n'était pas responsable parce qu'il possédait deux chromosomes Y (la femme a normalement deux chromosomes X, et l'homme un chromosome X et un chromosome Y. Certains hommes, en fait très peu nombreux, ont deux chromosomes Y : XYY). Cette découverte est à l'origine d'un flot de spéculations ; tous les journaux parlèrent du « chromosome du crime ». Naïvement déterministe, l'argument ne reposait pas sur grand-chose : les hommes ont tendance à être plus agressifs que les femmes, et il est possible que ce soit pour des raisons génétiques. S'il s'agit de causes génétiques, cela doit être lié au chromosome Y ; tous ceux qui possèdent deux chromosomes Y ont une double dose d'agressivité et pourraient être poussés à la violence et à la criminalité. Mais les informations rassemblées à la hâte sur les hommes emprisonnés possédant le chromosome Y supplémentaire sont trop ambiguës et – comble d'ironie ! – on découvrit finalement que Speck était un homme XY. Une fois encore, le déterminisme biologique a fait sensation, provoqué l'effervescence dans les salons, puis s'est effondré faute de preuves sérieuses. Pourquoi les hypothèses sur les caractéristiques innées nous fascinent-elles autant ? Pourquoi voulons-nous absolument faire porter à nos gènes la responsabilité du sexisme et de la violence ? L'humanité se distingue par ses capacités

intellectuelles, mais aussi par la flexibilité de son intelligence. C'est nous qui avons fait le monde, nous seuls pouvons le changer.

VIII.

La nature humaine. Points de vue scientifique et politique : Race, sexe et violence

29.

Les races : point de vue biologique

La taxonomie est l'étude des classifications. Nous appliquons des règles taxonomiques rigoureuses à toutes les formes de vie, mais, quand nous en arrivons à l'espèce que nous connaissons le mieux, nous éprouvons tout d'un coup de sérieuses difficultés.

On divise généralement notre espèce en races. Et, suivant les règles de la taxonomie, toute subdivision d'une espèce est une sous-espèce. Les races humaines sont donc des sous-espèces de l'*Homo sapiens*.

Au cours des dix dernières années, l'habitude de diviser les espèces en sous-espèces a été progressivement abandonnée, dans bien des domaines, à mesure que l'introduction de techniques quantitatives faisait naître de nouvelles méthodes de recherche sur les variations géographiques à l'intérieur des espèces. La définition des races d'hommes ne peut pas et ne devrait pas être distincte des questions sociales et éthiques particulières à notre espèce. Néanmoins, ces nouveaux procédés taxonomiques apportent un argument général et purement biologique à une très ancienne querelle.

J'affirme que la classification raciale de l'*Homo sapiens* constitue une approche démodée de la différenciation à l'intérieur d'une même espèce. En d'autres termes, je rejette la division des êtres humains en races au même titre que je préfère ne pas distinguer de nombreuses sous-espèces chez les escargots d'Inde occidentale qui sont l'objet de mes recherches personnelles.

On a déjà réfuté de nombreuses fois la classification raciale, en particulier les onze auteurs de *The Concept of Race*³⁷. Pourtant, ces idées n'ont pas été acceptées, parce que la pratique taxonomique d'il

y a dix ans favorisait encore la distinction de sous-espèces. En 1962, par exemple, Theodosius Dobzhansky s'étonnait que « certains auteurs aient réussi à se persuader que l'espèce humaine ne comporte aucune race !... Tout comme le zoologiste constate la diversité au sein du monde animal, l'anthropologue est confronté à la diversité des êtres humains. La race est un objet de recherche scientifique et d'analyse, simplement parce que c'est un fait de nature ». Et Grant Bogue, dans la querelle qui l'oppose à Ashley Montagu, a écrit récemment : « Quelques académiciens dissidents [...] sont allés jusqu'à suggérer que les races elles-mêmes n'existent que dans notre tête. Il y a plusieurs manières de répondre à ces assertions. Il y en a une que l'on entend beaucoup : l'existence des races va de soi. »

Il est clair que ces arguments sont fallacieux. Les variations géographiques vont de soi, pas les races. On ne peut pas nier que l'*Homo sapiens* soit une espèce très différenciée, et personne ne contestera que la couleur de la peau soit le signe le plus visible de ces variations. Mais la variabilité n'entraîne pas automatiquement la division en races. Il y a de meilleurs moyens d'étudier les différences entre les hommes.

Les espèces occupent une place déterminée dans la hiérarchie taxonomique. Dans le cadre de la biologie, chaque espèce représente une unité « réelle » dans la nature. Elle se définit en fonction de sa place, « population d'organismes se reproduisant, ou susceptibles de se reproduire, en circuit fermé et partageant le même type de gènes ». Au-dessus de l'espèce, on rencontre une classification quelque peu arbitraire. Il arrive que le genre de l'un soit la famille de l'autre. Il existe néanmoins des règles qu'il faut suivre dans la construction des hiérarchies. Il est impossible, par exemple, de classer deux membres du même genre dans des catégories différentes du niveau supérieur.

Au-dessous de l'espèce, il n'y a que la sous-espèce. Dans *Systematics and the Origin of species* (1942), Ernst Mayr a défini cette catégorie : « La sous-espèce, ou race géographique, écrit-il, est une subdivision géographique de l'espèce distincte génétiquement et taxonomiquement, des autres subdivisions de l'espèce. » Il faut remplir deux conditions : **1.** une sous-espèce doit être identifiable par les caractéristiques de sa morphologie, de sa physiologie ou de son comporte-

ment, c'est-à-dire qu'elle doit être « taxonomiquement » (donc, génétiquement) distincte des autres sous-espèces ; **2.** une sous-espèce doit occuper une partie du territoire local d'une espèce. Quand on choisit de représenter les variations d'une espèce en distinguant des sous-espèces, on divise le spectre des variations en groupes définis par leurs limites géographiques et leurs traits distinctifs.

La sous-espèce diffère des autres catégories taxonomiques sur deux points fondamentaux : **1.** ses limites ne sont ni fixes ni définies, car le représentant d'une sous-espèce peut se reproduire avec un représentant de toutes les sous-espèces de son espèce (un groupe incapable de se reproduire avec des formes proches doit être considéré comme une espèce à part) ; **2.** cette catégorie n'est pas nécessaire. Tout organisme doit appartenir à une espèce, toute espèce doit appartenir à un genre, tout genre à une famille, et ainsi de suite. Mais il n'est pas nécessaire de diviser les espèces en sous-espèces. La sous-espèce est une catégorie de convenance. Elle n'est utilisée que lorsque nous croyons qu'elle peut nous aider à comprendre la variabilité en divisant les espèces en groupes délimités géographiquement. De nombreux biologistes pensent actuellement qu'il est non seulement incorrect, mais aussi dangereux de plaquer une nomenclature formelle sur les systèmes dynamiques de variabilité que l'on observe dans la nature.

Comment rendre compte de la variété géographique qui caractérise un grand nombre d'espèces, y compris la nôtre ? Pour donner un exemple de l'ancienne approche, en 1942, a été publié un monogramme sur les variations géographiques de l'escargot d'Hawaï *Achatinella apexfulva*. L'auteur distinguait, dans cette espèce extraordinairement diversifiée, soixante-dix-huit sous-espèces et soixante « races microgéographiques » supplémentaires (unités un peu trop indistinctes pour mériter un statut spécifique). Chaque subdivision porte un nom et fait l'objet d'une description formelle. Le résultat est un ouvrage énorme et presque illisible, qui occulte l'un des phénomènes les plus intéressants de la biologie de l'évolution sous un amas de noms et de descriptions figées.

Figure 15

Pourtant, il existe dans cette espèce des types de variations qui fascinent l'observateur : corrélations entre la forme de la coquille et l'altitude ou les précipitations, variations finement harmonisées aux conditions climatiques, indices de migration dans la répartition des taches colorées de la coquille. Faut-il aborder ces variations avec l'idée de les répertorier ? Faut-il diviser artificiellement ce système dynamique en unités distinctes ? Ne vaudrait-il pas mieux établir la carte de ces variations sans leur imposer les critères subjectifs d'une subdivision formelle ?

Presque tous les biologistes répondraient *oui* à la dernière question ; et ils auraient fait de même il y a trente ans. Pourquoi, dans ces conditions, ont-ils continué à rendre compte des variations géographiques en définissant des sous-espèces ? Tout simplement parce que les techniques objectives permettant de dresser la carte des variations d'une espèce n'existaient pas. Il leur était possible de dresser la carte de la répartition d'une caractéristique, le poids par exemple. Mais les variations d'un trait unique n'est qu'un pâle reflet des variations qui transforment simultanément un grand nombre de caractéristiques. Se pose en outre le problème classique de l'« incompatibilité ». Les cartes réalisées pour d'autres traits isolés présentent presque invariablement une répartition différente, il arrive que les animaux soient gros dans les régions froides et petits dans les régions chaudes, et que la couleur soit claire en végétation clairsemée et foncée dans les forêts.

Pour que la carte soit satisfaisante, il faut faire intervenir simultanément les variations d'un grand nombre de caractéristiques. On appelle ce traitement simultané « analyse multidimensionnelle ». Il y a longtemps que la théorie de l'analyse multivariable a été formulée par les statisticiens, mais on ne pouvait la mettre en application avant l'invention des gros ordinateurs. Les calculs sont très complexes et dépassent les possibilités des machines à calculer ordinaires, ainsi que celles de la patience humaine. L'ordinateur, lui, est capable de les effectuer en quelques secondes.

Au cours des dix dernières années, l'utilisation de l'analyse multidimensionnelle a transformé l'étude des variations géographiques. Presque tous les partisans de l'analyse multidimensionnelle ont re-

noncé à répertorier les sous-espèces. On ne peut établir la carte d'une répartition continue s'il faut d'abord classer tous les spécimens dans des catégories distinctes. Ne vaut-il pas mieux caractériser chaque échantillon local par sa propre morphologie et rechercher les concordances dans les cartes ainsi obtenues ?

Le moineau anglais, par exemple, a été introduit en Amérique du Nord aux environs de 1850. Depuis, il s'est développé géographiquement et s'est différencié morphologiquement dans des proportions importantes. Auparavant, on rendait compte de cette diversité en distinguant des sous-espèces. R.F. Johnston et R.K. Selander se refusent à suivre cette méthode. « Nous ne sommes pas convaincus, écrivent-ils, que la statique d'une nomenclature soit adaptée à un système dont le dynamisme est apparent. » Ils ont dressé la carte des types de variations multidimensionnelles. Je reproduis ici l'une de leurs cartes, obtenue par la combinaison de seize caractéristiques morphologiques représentant la taille en général. La variation est continue et ordonnée. Les gros moineaux sont habituellement installés dans les régions continentales du Nord, alors que les petits habitent les régions méridionales et côtières. La relation entre la taille et la rigueur des hivers est évidente. Mais nous en serions-nous rendu compte si les variations avaient été exprimées par un ensemble de noms latins et le continuum artificiellement divisé ? De plus, la distribution des variations correspond à l'un des principes fondamentaux de la répartition des animaux. Selon la loi de Bergman, les représentants des espèces à sang chaud sont plus gros dans les climats froids. On explique généralement cette régularité par les relations entre la taille et la surface relative. La surface des gros animaux est relativement moindre que celle des petits. Puisque la déperdition de chaleur se fait au travers de la surface externe, une diminution de la surface relative favorise la conservation de la chaleur. Évidemment, les types de variation géographique ne sont pas toujours aussi rigoureux. Chez de nombreuses espèces, certaines populations locales sont très différentes des groupes voisins. Il vaut tout de même mieux dresser objectivement la carte de ces variations que déterminer des catégories rigides.

Les effets de l'analyse multidimensionnelle commencent à se faire sentir dans l'étude des variations de l'homme. Pendant longtemps,

J.B. Birdsell a divisé, dans ses ouvrages, l'espèce humaine en races, comme on faisait généralement à cette époque. Récemment, il a appliqué l'analyse multidimensionnelle à la fréquence des gènes par type sanguin chez les aborigènes d'Australie. Il rejette désormais toute subdivision en unités figées et écrit : « Il se pourrait bien que la recherche de la nature et de l'intensité des forces évolutives fût le but à poursuivre, et que le plaisir de classer l'homme disparût, peut-être à jamais. »

30.

La non-science de la nature humaine

Quand, au XVII^e siècle, toutes les jeunes filles d'un groupe s'évanouirent simultanément en présence d'une femme soupçonnée de sorcellerie, les juges de Salem ne purent proposer d'autre explication que la possession démoniaque. Quand les disciples de Charlie Manson prétendirent que leur maître possédait des pouvoirs occultes, aucun juge ne les prit au sérieux. Au cours des trois siècles qui séparent ces deux incidents, nous avons beaucoup appris en ce qui concerne les causes sociales, économiques et psychologiques des comportements de groupe. Toute interprétation littérale de ces événements semble aujourd'hui ridicule.

C'est pourtant cette façon littérale qui prévalut longtemps dans l'interprétation de la nature humaine et des différences entre les groupes humains. Le comportement humain était considéré comme la conséquence directe de la biologie : nous agissons ainsi parce que nous sommes faits ainsi. La première leçon d'un ouvrage scolaire du XVIII^e siècle expose succinctement cette position : par Adam, nous avons tous péché. Le refus de ce déterminisme biologique est l'une des tendances les plus importantes de la science et de la culture du XX^e siècle. Nous nous voyons à présent comme un animal capable d'apprendre et nous en sommes venus à penser que les influences de la classe et de la culture sont plus déterminantes que les prédispositions de notre structure génétique.

Néanmoins, le déterminisme génétique a refait surface ces dix dernières années, et touche désormais des domaines allant de l'éthologie pop au racisme outrancier.

Parrainé par Konrad Lorenz, mis en scène par Robert Ardrey et raconté par Desmond Morris, voici l'homme sous les traits du « singe nu », descendant d'un carnivore africain, agressif et territorial par nature.

Lionel Tiger et Robin Fox s'efforcent de fournir une base biologique aux idéaux occidentaux démodés de l'homme agressif, entreprenant, et de la femme docile et conservatrice. Après avoir mis en évidence les différences culturelles entre l'homme et la femme, ils proposent une chimie hormonale héritée des contraintes de ce qu'ils supposent être notre état premier de chasseurs et d'éleveuses d'enfants.

Carleton Coon nous donne une idée de l'avenir en prétendant que cinq races humaines se sont développées indépendamment de l'*Homo erectus* (l'homme de « Java » et de « Pékin ») à l'*Homo sapiens*, les Noirs ayant été les derniers à franchir le pas. Plus récemment on s'est (mal) servi du QI pour démontrer les différences d'intelligence dues à des questions génétiques, entre les races (Arthur Jensen et William Shockley) et les classes sociales (Richard Hernstein). Et cela *toujours* au profit du groupe auquel, comme par hasard, appartient l'auteur de la démonstration.

Toutes ces conceptions ont été critiquées séparément ; mais elles ont rarement été considérées comme la manifestation d'une même philosophie, d'un même déterminisme biologique grossier. On peut, évidemment, accepter une idée et rejeter les autres. Croire à la nature innée de la violence humaine ne signifie pas forcément qu'on est raciste. Pourtant, toutes ces conceptions ont une base commune en ceci qu'elles postulent le fondement génétique de presque toutes nos caractéristiques fondamentales. Si nous sommes programmés pour être ce que nous sommes, alors ces caractéristiques sont inéluctables. Peut-être nous sera-t-il possible, dans le meilleur des cas, de les canaliser, mais nous ne pourrons pas les changer, que ce soit par la volonté, l'éducation ou la culture.

La science, nous dit-on, progresse par accumulation d'informations nouvelles, et se sert de celles-ci pour améliorer ou remplacer les vieilles théories. Si nous acceptons sans discuter ce genre de platitudes concernant la « méthode scientifique », il faut donc attribuer la

réapparition du déterminisme biologique à la découverte de nouvelles informations qui contredisent les éléments mis en évidence par la science du XX^e siècle. Or ce nouveau déterminisme biologique ne repose sur aucune découverte récente, et ne s'appuie sur aucun élément incontestable. Les fondements de sa popularité sont beaucoup plus certainement de nature sociale et politique.

La science subit toujours l'influence de la société, mais elle ne peut pas se libérer des contraintes imposées par les faits. L'Église a fini par faire la paix avec Galilée parce que la Terre tourne effectivement autour du Soleil. En revanche, si l'on se penche sur les composantes génétiques de caractéristiques humaines aussi complexes que l'intelligence ou l'agressivité, on ne subit pas la contrainte des faits car, pratiquement, nous ne savons rien. Dans ce cas, la « science » suit (et expose) les influences sociales et politiques qui s'exercent sur elle.

Quels sont donc les éléments non scientifiques qui ont favorisé la réapparition du déterminisme biologique ? Ils vont du désir matériel de toucher les droits d'auteur d'un *best seller* aux tentatives sournoises de hisser de nouveau le racisme au niveau d'une science respectable. Leur dénominateur commun est notre malaise présent. Quoi de plus rassurant, en effet, que de rejeter la responsabilité de la guerre et de la violence sur un ancêtre présumé carnivore ! Quoi de plus simple que de rendre le pauvre et l'affamé responsables de leur condition... plutôt que de condamner notre système économique et notre gouvernement parce qu'ils ne réussissent pas à assurer à tous des conditions d'existence décentes ! Et comme cette conception est flatteuse pour ceux qui ont la charge du pouvoir et fournissent donc l'argent dont la science a besoin pour exister !

Les conceptions déterministes sont nettement divisées en deux groupes : celles qui se fondent sur la nature présumée de notre espèce en général, et celles qui démontrent qu'il existe des différences entre les « races » d'*Homo sapiens*. Je vais traiter le premier sujet ici et le second dans l'essai suivant.

Selon la pop-éthologie, deux lignages distincts d'hominidés se sont développés dans l'Afrique du pléistocène. L'un d'eux, petit carnivore territorial, serait notre ancêtre direct ; l'autre, herbivore plus

grand et présumé plus doux, aurait disparu. Certains vont jusqu'au bout de l'analogie avec Caïn et Abel en accusant nos ancêtres de fratricide. L'apparition de la prédation, de la chasse, serait à l'origine de la violence innée, et aurait engendré notre désir de posséder un territoire : « L'apparition de la chasse, chez l'hominidé, a entraîné celle du territoire³⁸ » Bien que nous soyons habillés, citadinisés et civilisés, les types de comportement génétique qui ont servi nos ancêtres subsistent et un « singe tueur » sommeille dans chacun de nous. Dans *African Genesis*, Ardrey se range aux côtés de Raymond Dart qui prétend que « l'apparition de la prédation et des armes explique l'histoire sanglante de l'homme, son agressivité permanente, sa recherche irrationnelle, autodestructrice et inexorable de la mort pour la mort ».

Tiger et Fox élargissent le thème de la chasse en groupe et affirment que les différences entre l'homme et la femme, telles que les conçoivent les cultures occidentales, reposent sur des bases biologiques. Les hommes chassaient ; les femmes restaient à la maison et s'occupaient des enfants. Les hommes sont agressifs et combatifs, mais ils établissent entre eux des liens solides qui reflètent la nécessité de l'entraide dans la chasse au gros gibier et s'expriment aujourd'hui dans le football et le Rotary Club. Les femmes sont dociles et attachées à leurs enfants. S'il n'existe pas entre elles de liens intenses, c'est que ceux-ci étaient inutiles à leurs ancêtres qui ne s'occupaient que de leur foyer et de leur mari : la fraternité des femmes est une illusion. « Nous sommes conçus pour la chasse... Nous demeurons des chasseurs du paléolithique supérieur, des machines parfaitement réglées, dont la fonction est la poursuite efficace du gibier³⁹. » La popéthologie repose sur deux ensembles d'éléments, tous les deux extrêmement discutables :

1. *Analogies avec le comportement des animaux.* Là, les informations sont importantes, mais imparfaites. Il n'est pas douteux qu'un grand nombre d'animaux (y compris certains primates, mais pas tous), possèdent des comportements agressifs et territoriaux innés. Puisqu'on établit la similitude des comportements, ne peut-on conclure à la similitude des causes ? Cette erreur de raisonnement met en lumière un problème important de la théorie évolutionniste. Les évolutionnistes divisent les similitudes entre les espèces en deux

catégories : les caractéristiques homologues, qui reflètent une ascendance et une structure génétique communes, et les caractéristiques analogues, qui se sont développées séparément.

Les comparaisons entre les êtres humains et les animaux ne peuvent conduire à des conclusions valables concernant la génétique et le comportement que si elles reposent sur les caractéristiques homologues. Mais comment peut-on savoir si les similitudes sont homologues ou analogues ? Il est difficile de faire la distinction, même lorsqu'il s'agit de structures concrètes telles que les muscles ou les os. En fait, presque toutes les querelles classiques concernant la phylogénèse font intervenir la confusion entre homologue et analogue. Il arrive, en effet, que la ressemblance entre deux structures analogues soit frappante ; on parle alors de convergence. La distinction devient plus difficile encore lorsqu'il s'agit de caractéristiques de comportement. Les babouins sont des animaux territoriaux ; il existe une hiérarchie chez les mâles. Mais la quête du *Lebensraum* et la hiérarchie des armées sont-elles l'expression de la même structure génétique ou, plus simplement, un comportement analogue, dont l'origine pourrait être purement culturelle ? Et quand Lorenz nous compare aux oies et aux poissons, nous nous enfonçons davantage encore dans le domaine de la conjecture ; les babouins, au moins, sont nos cousins au deuxième degré.

2. Les informations fournies par les hominidés fossiles. Cette fois, les éléments sont incomplets, mais directs. Ardrey fait reposer l'idée de territorialité sur le fait que notre ancêtre, l'*Australopithecus africanus*, était carnivore. Il déduit sa « preuve » de la quantité d'os et d'outils découverts dans les cavernes d'Afrique du Sud, ainsi que de la taille et de la forme des dents. Il y a longtemps que l'on ne prend plus au sérieux les concentrations d'os ; il est probable qu'elles sont bien davantage l'œuvre des hyènes que celle des hominidés.

Il accorde une plus grande importance aux dents, mais cette « preuve » me semble tout aussi fragile, sinon complètement contradictoire. L'argumentation repose sur la taille relative des dents destinées à la mastication (molaires et prémolaires). Les herbivores ont besoin d'une surface de mastication plus importante pour écraser leur nourriture filandreuse et abondante. Les molaires de l'herbivore,

A. robustus, étaient plus grosses que celles de son cousin carnivore, notre ancêtre, *A africanus*.

Mais *A. robustus* était plus corpulent qu'*A. africanus*. Quand la taille augmente, l'animal doit entretenir un corps qui croît suivant le cube de la longueur avec des dents dont la surface n'augmente que suivant le carré de la longueur, si leur taille relative reste la même. Nous avons vu cela. Il y a là une impossibilité, et les gros mammifères doivent posséder des dents plus grosses, dans l'absolu, que celles de leurs cousins plus petits. J'ai vérifié cette conclusion en mesurant la surface des dents et la taille du corps dans des espèces choisies dans plusieurs groupes de mammifères : rongeurs, herbivores porcins, daims et plusieurs groupes de primates. Je constate invariablement que les dents des gros animaux sont relativement plus grosses ; non parce que leurs habitudes nutritives sont différentes, mais tout simplement parce qu'ils sont plus corpulents.

De plus, les « petites » dents d'*A. africanus* ne sont pas insignifiantes. Elles sont plus grosses que les nôtres dans l'absolu (bien que nous soyons trois fois plus lourds) et elles sont presque aussi imposantes que celles du gorille, qui pèse jusqu'à dix fois plus ! L'argumentation fondée sur les dents établit donc en réalité qu'*A. africanus* était avant tout un herbivore.

Le problème du déterminisme biologique n'est pas un sujet abstrait réservé aux cercles académiques. Ces idées ont des implications importantes, et elles imprègnent déjà les *mass media*. La théorie peu fondée d'Ardrey est l'un des thèmes fondamentaux du film de Stanley Kubrick, 2001, *l'Odyssée de l'espace*. L'os de notre ancêtre simiesque écrase d'abord le crâne d'un tapir, puis tourne et se transforme en station spatiale symbolisant l'étape suivante de notre évolution... comme le thème du surhomme, dans *Zarathoustra*, de Richard Strauss, engendre le *Beau Danube bleu*, de Johann. Le film suivant de Kubrick, *Orange mécanique*, explore les problèmes que posent les idées sur la nature innée de la violence : faut-il accepter un gouvernement totalitaire capable de reprogrammer les masses, ou rester méchants et vicieux dans une démocratie ? Mais les conséquences seront plus immédiates encore dans les rapports entre l'homme et la femme. Comme le fait remarquer Kate Millett dans *Sexual Politics*, « le pa-

triarcat est solidement implanté parce qu'il fait croire qu'il appartient à la nature ».

31.

Arguments racistes et QI

D'après Louis Agassiz, le plus grand biologiste américain du milieu du XIX^e siècle, les Blancs et les Noirs appartenaient à deux espèces différentes. Cette affirmation renforça la position des partisans de l'esclavage, car l'égalité et la charité, telles qu'elles sont présentées dans la Bible, n'ont pas à s'exercer au-delà des frontières entre espèces. Que pouvaient répondre les abolitionnistes ? La science avait éclairé ce sujet de sa lumière froide et sans passion ; on ne pouvait réfuter cette position par la simple charité chrétienne.

De telles idées, en apparence cautionnées par la science, ont été constamment invoquées dans l'intention d'assimiler l'égalitarisme à la sentimentalité et à l'aveuglement émotionnel. Les gens qui ignorent ces exemples historiques ont tendance à accepter toute résurgence de ces idées à leur valeur déclarée : c'est-à-dire qu'ils supposent que toutes les affirmations reposent sur les « données » présentées, et non sur les idées sociales qui, en réalité, les inspirent.

Les idées racistes du XIX^e siècle se fondaient en premier lieu sur la craniométrie, les dimensions du crâne humain. Aujourd'hui, ces conceptions sont complètement discréditées. Mais les tests d'intelligence sont, au XX^e siècle, ce qu'était la craniométrie au XIX^e. La victoire du mouvement eugénique en 1924, au moment de l'adoption de la loi sur la limitation de l'immigration, fut leur première conséquence néfaste... car les restrictions concernant les non-Européens et les ressortissants d'Europe de l'Est et du Sud se trouvèrent justifiées par les premières applications généralisées et uniformes des tests d'intelligence en Amérique : les tests psychologiques de l'armée pendant la Première Guerre mondiale. Ces tests ont été mis au point et

pratiqués par le psychologue Robert M. Yerkes, qui conclut : « L'éducation ne peut pas à elle seule amener la race noire (*sic*) au niveau de ses concurrents caucasiens. » Il est maintenant clair que Yerkes et ses collègues ne connaissaient aucun moyen de séparer les éléments génétiques de ceux qui relèvent de l'environnement, dans la recherche des causes de réussite ou d'échec aux tests.

Le plus récent épisode de ce drame sans fin a débuté en 1969, lors de la publication d'un article d'Arthur Jensen intitulé « Le QI et la réussite scolaire », dans la *Harvard Educational Review*. On y prétend de nouveau que de nouvelles informations désagréables sont apparues et que la science doit exposer la « vérité », même si elle va à l'encontre des idées les plus chères à la philosophie libérale. En réalité Jensen ne possède absolument aucune information nouvelle et ce qu'il propose ne résiste pas à l'analyse.

Jensen suppose que le quotient intellectuel mesure correctement quelque chose que l'on peut appeler l'« intelligence ». Il essaye ensuite de distinguer les facteurs génétiques et environnementaux susceptibles de provoquer des différences dans les résultats. Pour y parvenir, il se fonde sur la seule expérience naturelle que nous possédions : les jumeaux élevés séparément, puisque les différences de QI entre des individus génétiquement identiques ne peuvent provenir que de l'environnement. Se fondant sur les recherches effectuées sur les jumeaux identiques, Jensen fait une estimation de l'influence de l'environnement. Il conclut que le caractère héréditaire du QI est d'environ 0,8 (80 %) chez les Blancs d'Amérique et d'Europe. La différence de QI moyenne entre les Blancs et les Noirs d'Amérique est d'environ 15 points (écart généralement admis). Il affirme que cette différence est trop importante pour provenir de l'environnement, étant donné le taux de transmission du QI. De peur que l'on ne croie que Jensen écrit dans la tradition de la scolastique abstraite, je citerai la première ligne de son livre : « On a essayé par une pédagogie adaptée de compenser l'infériorité scolaire ; mais cela a manifestement échoué. »

Je crois qu'il est possible de réfuter cette argumentation d'une manière hiérarchique, c'est-à-dire que l'on peut la discréditer à chacun de ses niveaux, et montrer qu'elle est aussi inacceptable à un ni-

veau plus global, même si l'on admet les arguments de Jensen aux deux premiers niveaux.

Premier niveau : assimilation de l'intelligence au QI. Qui sait vraiment ce que mesure le QI ? Il permet de prévoir le « succès » scolaire, mais ce succès résulte-t-il de l'intelligence ou de l'aptitude à assimiler les valeurs favorites des classes dominantes ? Certains psychologues écartent cette difficulté en définissant techniquement l'intelligence en fonction des résultats obtenus aux tests d'« intelligence ». Ce n'est qu'une ruse. Mais cette définition s'est tellement éloignée du sens généralement donné à l'intelligence que l'on ne sait plus très bien de quoi il s'agit. Admettons toutefois (bien que ce ne soit pas mon avis), que le QI donne effectivement une appréciation significative de l'intelligence, au sens vulgaire du mot.

Deuxième niveau : l'hérédité du QI. De nouveau, il y a confusion entre le sens technique et le sens vulgaire du mot. Héréditaire, pour le profane, signifie : « fixe », « inévitable » ou « immuable ». Pour le généticien, « héréditaire » se rapporte à une estimation de la similitude de deux individus, fondée sur les gènes communs. Ce concept n'implique pas l'idée d'inévitabilité, ni ne suppose des entités immuables échappant à toute influence de l'environnement. Les lunettes corrigent de nombreux problèmes de vision héréditaires ; l'insuline peut corriger le diabète.

D'après Jensen, le QI est héréditaire à 80 %. Léon J. Kamin, psychologue à Princeton, a vérifié avec le plus grand soin les détails des recherches sur les jumeaux qui sont à la base de cette estimation. Il a découvert une quantité extraordinaire de contradictions et d'erreurs. Par exemple, feu Sir Cyril Burt, à qui nous devons la majeure partie des informations concernant les jumeaux élevés séparément, a poursuivi ses recherches sur l'intelligence pendant plus de quarante ans. Bien qu'il ait augmenté la représentativité de ses échantillons dans diverses versions « améliorées », certains de ses coefficients ne changent qu'à partir de la quatrième décimale... situation statistiquement impossible⁴⁰.

Le QI dépend en partie du sexe et de l'âge ; mais il n'a pas été possible de quantifier le rôle que jouent ces deux éléments. Il est possible qu'une « correction incorrecte » établisse des valeurs élevées entre

les jumeaux, non parce qu'ils possèdent tous deux les gènes de l'intelligence, mais plus simplement parce qu'ils sont du même âge et ont le même sexe. Les données sont tellement imprécises qu'il est impossible d'en tirer une estimation valable de l'hérédité du QI. Mais supposons encore (bien que cela ne repose sur rien) que l'hérédité du QI est égale à 0,8.

Troisième niveau : confusion des variations entre les groupes et à l'intérieur d'un groupe. Jensen établit un rapport de cause à effet entre ses deux affirmations principales : l'hérédité à l'intérieur du groupe est de 0,8 pour les Américains blancs, et la différence de QI entre les Blancs et les Noirs est de 15 points en moyenne. Il en conclut que le « déficit » des Noirs est en grande partie d'origine génétique, à cause de l'hérédité du QI. C'est un non-sens car il n'y a pas de relation nécessaire entre l'hérédité à l'intérieur d'un groupe et les valeurs moyennes de deux groupes distincts.

Un exemple simple permettra d'illustrer la faiblesse de l'argumentation de Jensen. L'hérédité de la taille est beaucoup plus importante que celle du QI. Supposons que la taille moyenne soit de 1,56 mètre et l'héritabilité de 0,9 (valeur réaliste) dans un groupe d'agriculteurs indiens sous-alimentés. Une forte valeur de l'héritabilité signifie simplement que les petits fermiers auront des enfants de petite taille et les grands des enfants de grande taille. Elle ne s'oppose pas à ce que la moyenne de cette population indienne s'élève jusqu'à 1,80 mètre (au-dessus de la taille moyenne de la population américaine blanche), grâce à une nourriture adaptée. Elle prédit seulement que les fermiers plus petits que la moyenne (peut-être mesureraient-ils alors 1,75 mètre) continueraient d'avoir des enfants plus petits que la moyenne de leur groupe.

Je ne prétends pas que l'intelligence, quelle que soit sa définition, n'a aucun fondement génétique... Je considère simplement qu'il est à la fois vrai, inintéressant et sans importance que ce soit le cas. Toute caractéristique est l'expression de l'interaction complexe de l'hérédité et de l'environnement. Notre devoir est seulement d'apporter aux individus l'environnement le plus propice à l'expression de leurs aptitudes. Je me contente de faire remarquer que la volonté de démontrer l'existence d'une déficience génétique de l'intelligence chez les

Noirs américains ne repose sur aucun élément nouveau et ne s'appuie sur aucun fait valide. On pourrait tout aussi bien dire que les Noirs sont avantagés génétiquement par rapport aux Blancs. Et, de toute manière, cela n'a aucune importance. On ne peut pas juger un individu par rapport à la moyenne de son groupe.

Si le déterminisme biologique actuel dans l'étude de l'intelligence humaine ne repose sur aucun fait nouveau (et même, en réalité, sur aucun fait du tout) pourquoi est-il devenu, ces derniers temps, si populaire ? La réponse est sociale et politique. Les années soixante ont été propices au libéralisme ; on a dépensé beaucoup d'argent pour l'amélioration du sort des pauvres, mais sans grands résultats. Avec l'arrivée de nouveaux dirigeants, de nouvelles priorités ont été définies. Et pourquoi les programmes n'ont-ils rien donné ? Il y a deux réponses possibles : **1.** Nous n'avons pas dépensé assez d'argent, nous avons manqué d'imagination ; ou encore (et cela fait trembler tous les leaders politiques) il est impossible de résoudre ces problèmes sans mettre en cause les fondements sociaux et économiques de notre société ; ou bien **2.** les programmes ont échoué parce que ceux auxquels ils s'adressaient sont réfractaires à toute amélioration... et dans ce cas, rejetons la responsabilité sur les victimes. Que choisiront ceux qui assument le pouvoir dans cette époque d'austérité ?

J'espère avoir montré que le déterminisme biologique n'est pas seulement un sujet de conversation pour cercles d'intellectuels. Ses implications philosophiques et ses conséquences politiques sont extrêmement importantes. Comme l'a écrit John Stuart Mill dans une phrase dont l'opposition devrait faire son slogan, « de tous les stratagèmes utilisés pour éviter de prendre en considération l'influence que la société et la morale exercent sur l'esprit humain, le plus lâche est celui qui attribue la diversité des comportements et des personnalités à des différences naturelles innées ».

IX.

La nature humaine. Points de vue scientifique et politique : Sociobiologie

32.

Potentialités biologiques contre déterminisme biologique

En 1758, Linné dut décider comment classer sa propre espèce dans l'édition définitive de son *Systema Naturae*. Allait-il se contenter de placer l'*Homo sapiens* parmi les animaux, ou créerait-il pour nous une catégorie spéciale ? Linné opta pour un compromis. Il inclut l'homme dans sa classification (près des singes et des chauves-souris) mais il en fit une description séparée. Pour définir nos parents, il utilisa les critères habituels de taille, de constitution, de nombre de doigts et d'orteils. Pour l'*Homo sapiens*, il se contenta du commandement socratique : *Nosce te ipsum...* Connais-toi toi-même.

Pour Linné, l'*Homo sapiens* était à la fois particulier et ordinaire. Malheureusement, la solution éminemment intelligente de Linné a été mal interprétée et complètement détournée de son objectif par presque tous les commentateurs. Particulier et ordinaire sont devenus non biologique et biologique, culturel et naturel. Ces interprétations sont complètement injustifiées. Les êtres humains sont des animaux, et tout ce que nous faisons entre dans le cadre de nos aptitudes biologiques. Rien n'excite davantage la colère du New-Yorkais ardent que je suis (bien que je vive continuellement hors de ma ville) que les « militants écologistes » qui prétendent que les grandes villes sont le signe avant-coureur de notre disparition parce qu'elles ne sont pas « naturelles ». Mais – et c'est là le « mais » qui me tient le plus à cœur – affirmer que les êtres humains sont des animaux n'implique pas que les comportements et les structures sociales qui nous caractérisent sont sous l'influence directe de nos gènes. Potentialité et détermination sont deux concepts différents.

Les nombreuses discussions soulevées par l'ouvrage d'E.O. Wilson, *Sociobiologie*⁴¹, m'ont amené à choisir ce sujet. Le livre de Wilson a été accueilli par un concert d'éloges et de publicité. Je me range, quant à moi, parmi ses rares détracteurs. Je donne tout mon assentiment à la majeure partie de *Sociobiologie*, c'est-à-dire à tout l'exposé lucide des principes de l'évolution et à la discussion, toujours très complète, des comportements sociaux des animaux. *Sociobiologie* est un document fondamental pour l'avenir. Mais le dernier chapitre de Wilson : « De la sociobiologie à la sociologie », ne me satisfait absolument pas. Après vingt-six chapitres de documentation très précise sur les animaux, Wilson conclut par une spéculation sur la détermination génétique des comportements humains supposés universels. Malheureusement, comme il aborde dans ce chapitre le sujet qui nous touche de plus près, c'est sur lui que se sont concentrés plus de 80 % des commentaires de la presse.

On a accusé ceux qui ont critiqué ce chapitre de nier en bloc l'application de la biologie au comportement humain et de raviver les anciennes superstitions en plaçant l'homme en dehors de la « Création ». Sommes-nous des « culturalistes » purs ? Nous laissons-nous aller à une conception politique de la perfectibilité de l'homme au risque de nous masquer les contraintes évidentes résultant de notre nature biologique ? Évidemment non. Et le problème n'est pas d'opposer universalisme biologique à unicité humaine, mais aptitudes biologiques à déterminisme biologique.

Dans un article du *New York Times Magazine*, répondant à une critique, Wilson a écrit :

« Il est certain que les comportements sociaux de l'homme, y compris le comportement altruiste, sont sous contrôle génétique, en ceci qu'ils représentent un sous-ensemble au sein de l'ensemble des comportements possibles dans la mesure où ils sont très différents de ceux des termites, des chimpanzés et d'autres espèces animales. »

Si Wilson n'entend rien de plus par contrôle génétique, on ne peut qu'approuver. Il est certain que nous ne faisons pas tout ce que font les animaux, et il est tout aussi certain que le domaine des comportements possibles est déterminé par notre biologie. Notre vie sociale serait très différente si nous étions soumis à la photosynthèse (pas

d'agriculture, de cueillette ou de chasse, éléments déterminants de notre évolution sociale) ou si notre cycle ressemblait à celui de la mouche cécidomyidée.

Mais les affirmations de Wilson vont plus loin. Le chapitre 27 de son livre ne concerne pas la délimitation du domaine des comportements humains possibles, pas plus qu'il ne s'efforce de définir ce domaine par rapport à celui de tous les animaux. C'est, en fait, une spéculation sur l'existence de gènes contrôlant les caractéristiques spécifiques et variées du comportement humain... y compris la malveillance, l'agressivité, la xénophobie, le conformisme, l'homosexualité et les différences de comportement entre homme et femme dans la société occidentale. Évidemment, Wilson ne nie pas le rôle de l'apprentissage dans le comportement humain ; il va même jusqu'à écrire : « Les gènes ont perdu presque toute leur souveraineté. » Mais il ajoute aussitôt que « l'influence des gènes subsiste au moins en ce qui concerne les types de comportement qui sont à la base des différences entre les cultures ». Et il ajoute, dans le paragraphe suivant, qu'il faudrait inventer une nouvelle discipline : l'« anthropologie génétique ».

Le déterminisme biologique est le thème dominant de l'exposé de Wilson sur le comportement humain ; son dernier chapitre n'a de sens que dans ce contexte. Le premier but de Wilson, tel que je le comprends, est de suggérer que la théorie darwinienne pourrait reformuler les sciences humaines, exactement comme elle a, auparavant, transformé tant d'autres disciplines biologiques. Mais, pour que les processus darwiniens puissent s'appliquer, il faut qu'il y ait sélection de gènes. À moins que les caractéristiques « intéressantes » du comportement humain ne soient pas sous contrôle génétique, la sociologie n'a pas à redouter de voir son domaine envahi. Par « intéressants », j'entends les sujets le plus souvent discutés par les sociologues et les anthropologues : l'agressivité, la stratification sociale et les différences de comportement entre les hommes et les femmes. Si les gènes se contentent de garantir que nous sommes assez corpulents pour vivre dans un monde dominé par la pesanteur, que nous avons besoin de dormir, que nous ne sommes pas soumis à la photosynthèse, le domaine du déterminisme biologique sera pratiquement dépourvu d'intérêt.

Quelles données permettent donc d'affirmer qu'il existe un contrôle génétique des comportements sociaux de l'homme ? Actuellement, aucune. (En théorie, il ne devrait pas être impossible de déterminer l'existence de tels contrôles au moyen d'expériences de génétique classique, mais on ne peut pas élever des enfants dans un bocal à drosophile, mettre au point des lignées pures, contrôler les environnements, etc.) Les sociobiologistes doivent avancer des arguments indirects reposant sur des critères de plausibilité. Wilson emploie principalement trois stratégies : l'universalité, la continuité et l'adaptativité.

1. *Universalité*. Si l'on observe certains comportements aussi bien chez les primates que chez les êtres humains, on peut considérer qu'ils résultent d'un contrôle génétique héréditaire. Chez Wilson, les comportements prétendument universels abondent. On lit par exemple : « Il est ridiculement facile d'endoctriner les êtres humains... Ils en ont besoin. » Ou : « Les hommes préfèrent la foi à la connaissance. » Tout ce que je puis dire, c'est que ma propre expérience ne correspond pas à celle de Wilson.

Quand Wilson est obligé de tenir compte de la diversité, il écarte presque toujours les exceptions gênantes, les considérant comme des aberrations temporaires et sans importance. Par exemple, puisque Wilson croit que les guerres répétées, conduisant souvent au génocide, ont modelé notre destinée génétique, l'existence d'individus dépourvus d'agressivité est gênante. Mais il écrit : « On doit s'attendre à ce que certaines cultures échappent à ce processus pendant plusieurs générations et reviennent temporairement à ce que les ethnologues appellent l'état pacifique. »

Quoi qu'il en soit, même s'il est possible de faire la liste des caractéristiques de comportement communes aux primates et aux êtres humains, cela ne prouve pas l'existence d'un contrôle génétique commun. Des résultats semblables n'impliquent pas forcément les mêmes causes. Les évolutionnistes sont même si conscients de ce problème qu'ils lui appliquent une terminologie particulière. Les similitudes dues à une ascendance génétique commune sont « homologues » ; les similitudes dues à des fonctions communes, mais résultant d'évolutions indépendantes, sont « analogues » (les ailes des oiseaux et des

insectes, par exemple). Nous verrons plus loin qu'une caractéristique fondamentale de la biologie humaine permet de conclure que beaucoup de similitudes de comportement entre les êtres humains et les primates sont analogues et ne correspondent pas, chez l'homme, à une détermination génétique.

2. Continuité. Wilson affirme, avec raison me semble-t-il, que l'explication darwinienne de l'altruisme, dans la théorie de la sélection parentale proposée en 1964 par W.D. Hamilton, forme la base d'une théorie évolutionniste des sociétés animales. Les conduites altruistes sont le ciment des sociétés stables. Pourtant, elles semblent défier l'explication darwinienne. Suivant les principes de Darwin, les individus sont sélectionnés pour apporter une contribution génétique maximum aux générations futures. Pourquoi, dans ces conditions, acceptent-ils de se sacrifier ou de courir des risques au profit des autres ?

Dans l'abstrait, la solution est extrêmement simple, mais elle est assez complexe dans ses détails techniques. En profitant aux parents, la conduite altruiste protège les gènes altruistes, même si ce n'est pas l'altruiste lui-même qui les perpétue. Par exemple, chez presque tous les organismes se reproduisant sexuellement, l'individu possède en moyenne la moitié des gènes de ses frères et un huitième des gènes de ses cousins au premier degré. En conséquence, lorsqu'il faut choisir entre se sauver soi-même ou se sacrifier pour sauver plus de deux frères ou plus de huit cousins au premier degré, le calcul darwinien favorise le sacrifice altruiste. Car, en agissant ainsi l'altruiste augmente, en fait, sa représentation génétique dans les générations à venir.

La sélection naturelle favorise la conservation de ces gènes. Mais qu'en est-il lorsqu'ils s'exercent au profit d'individus extérieurs au cercle familial ? Ici, le sociobiologiste, s'il veut conserver une explication génétique, doit faire appel à une conception voisine, la « réciprocité de l'altruisme ». L'acte altruiste comporte des dangers et n'entraîne aucun profit immédiat. Mais si, dans l'avenir, il amène l'un des bénéficiaires actuels à adopter une conduite semblable, il est possible que le système soit rentable à la longue. C'est l'interprétation génétique du vieil adage ; gratte-moi le dos...

La légitimité de la continuité est alors fondée. On peut expliquer les conduites altruistes par la sélection naturelle chez les animaux. Les êtres humains font également preuve de conduites altruistes, et il est probable qu'elles ont un fondement génétique. Mais, une fois de plus, la similitude des résultats n'entraîne pas nécessairement celle des causes.

3. Adaptativité. L'adaptation est le trait dominant du processus darwinien. La sélection naturelle s'exerce sans cesse sur les organismes pour les adapter à leur environnement. Les structures sociales défavorables, comme les structures morphologiques mal conçues, ne résistent pas longtemps.

Il est clair que les habitudes sociales des hommes sont adaptatives. Marvin Harris s'est amusé à mettre en évidence la logique et la finesse de ces habitudes sociales dans des cultures qui paraissent étranges à l'Occidental satisfait de lui-même⁴². L'altruisme est partout présent dans les conduites sociales de l'homme, et il est clair qu'il joue lui aussi un rôle adaptatif. N'est-ce pas là un argument de premier ordre en faveur du contrôle génétique direct ? Non, et pour le montrer je rapporterai ici la conversation que j'ai eue récemment avec un anthropologue éminent.

Selon mon confrère, E.O. Wilson, le comportement des Esquimaux qui habitent la banquise prouve l'existence de gènes altruistes maintenus par la sélection naturelle. Il semble, en effet, que, chez certains Esquimaux, les unités sociales soient composées de groupes familiaux. Si les ressources de nourriture s'épuisent, obligeant la famille à se déplacer pour survivre, les vieillards restent volontairement en arrière (et meurent) afin de ne pas mettre en danger la survie de la famille tout entière en ralentissant sa migration difficile et périlleuse. Les groupes familiaux dépourvus de gènes altruistes ont été éliminés par la sélection naturelle au cours de migrations ralenties par les vieillards et les malades, qui ont abouti à la mort de familles entières. Les vieillards, qui possèdent des gènes altruistes augmentent leur propre aptitude darwinienne par leur sacrifice, car ils permettent à leurs proches parents, qui possèdent leurs gènes, de survivre.

L'explication de mon confrère est plausible, certes, mais elle n'est pas concluante, car il existe également une explication non génétique

éminemment simple : les gènes altruistes n'existent pas, et il n'y a en fait aucune différence génétique importante entre les différentes familles d'Esquimaux. Le sacrifice des vieillards est une caractéristique adaptative et non génétique : elle est culturelle. Les familles dépourvues de tradition du sacrifice ne survivent pas longtemps. Dans les autres familles, la tradition orale et les chants glorifient le sacrifice ; les vieillards qui restent en arrière deviennent les héros du clan. Dès leur plus jeune âge, les enfants sont conscients de la gloire et de l'honneur d'un tel sacrifice.

Je ne peux pas prouver ma théorie, pas plus que mon confrère la sienne. Mais, dans l'absence d'éléments certains, elles sont aussi plausibles l'une que l'autre. De même, la réciprocité de l'altruisme existe incontestablement dans les sociétés humaines, mais cela ne suffit pas à établir ses fondements génétiques. Comme l'a dit Benjamin Franklin : « Nous devons nous serrer les coudes sous peine de périr séparément. » Il est possible que la réciprocité de l'altruisme soit indispensable au bon fonctionnement des sociétés. Mais il est inutile que ces actes soient dictés à notre conscience par les gènes, il est parfaitement possible de les inculquer par l'apprentissage.

Je reviens à la décision prise par Linné : nous sommes à la fois particuliers et ordinaires. La caractéristique centrale de notre particularité biologique nous amène à douter que nos comportements soient directement contrôlés par des gènes spécifiques. Cette caractéristique est, évidemment, la taille du cerveau. Et la taille elle-même détermine, dans des proportions importantes, la fonction et la structure d'un objet. Le grand et le petit ne fonctionnent pas de la même manière. On appelle « allométrie » l'étude des changements liés à l'augmentation de la taille. Les plus connus sont les changements structuraux qui accompagnent la diminution du rapport surface/volume chez les gros animaux : robustesse des jambes et surfaces internes plissées (poumons et villosités de l'intestin grêle, par exemple). Mais il est possible que l'accroissement prononcé de la taille du cerveau chez l'homme ait eu des conséquences allométriques déterminantes, car les connexions neuroniques ont alors été suffisamment nombreuses pour transformer un outil inflexible et programmé avec rigidité en un organe souple, possédant assez de logique et de mémoire pour substituer, à la base des comportements

sociaux, un apprentissage non programmé au contrôle génétique direct. Ainsi, la souplesse pourrait bien être l'élément fondamental de la conscience. Il est probable que la programmation du comportement n'est plus adaptative.

Pourquoi aller imaginer qu'il existe des gènes spéciaux pour l'agressivité, la dominance ou la malveillance, alors que nous savons que l'énorme souplesse du cerveau nous permet d'être agressifs ou pacifiques, dominateurs ou soumis, malveillants ou généreux ? La violence, le sexisme, la malveillance en général sont bien biologiques puisqu'ils constituent un sous-ensemble de tous les comportements possibles. Mais le pacifisme, l'égalitarisme et la compassion sont tout aussi biologiques. Et peut-être verrons-nous leur influence augmenter si nous réussissons à créer les structures sociales qui leur permettront de s'épanouir. Ma critique de Wilson ne fait pas appel à un « environnementalisme » non biologique ; elle se contente d'avancer l'idée de *potentialité biologique* – un cerveau possédant toute la gamme des comportements humains et qui n'est irrésistiblement poussé vers aucun en particulier – par opposition à l'idée du déterminisme biologique – des gènes spécifiques déterminant des traits comportementaux spécifiques.

Mais pourquoi ce problème apparemment académique est-il si délicat et si explosif ? Aucune des deux conceptions n'est définitivement prouvée, et quelle différence y a-t-il, par exemple, entre se conformer parce que les gènes du conformisme ont été sélectionnés ou parce que notre structure génétique, dans son ensemble, autorise le conformisme en même temps que d'autres stratégies ?

Les nombreuses discussions qui entourent le déterminisme biologique sont la conséquence de son message politique et social. Il faut se rappeler qu'on s'est toujours servi du déterminisme biologique pour démontrer que les structures sociales existantes sont biologiquement justifiées. Cela depuis « les pauvres seront toujours de ton côté » jusqu'à l'impérialisme du XIX^e siècle et au sexisme moderne. S'il n'en était pas ainsi, pourquoi des conceptions aussi dépourvues de preuves auraient-elles toujours eu la faveur des organes de presse officiels ? Les hommes de science, qui proposent des théories déter-

ministes pour toutes sortes de raisons et qui sont souvent bien intentionnés, ne peuvent pas contrôler l'usage qui est fait de leurs idées.

Je ne fais de procès d'intention à personne, pas plus à Wilson qu'à d'autres. Je ne rejette pas non plus le déterminisme sous prétexte que son usage politique me déplaît. Mais la vérité scientifique, telle que nous l'entendons, doit être le critère fondamental. Il y a quelques vérités biologiques gênantes, la mort étant la plus indéniable et la plus inévitable. Et si le déterminisme biologique est vrai, nous apprendrons à vivre avec lui. Mais je répète qu'il ne repose sur aucune preuve, qu'on a seulement écarté les versions grossières des siècles précédents et que sa popularité jamais démentie est la conséquence des préjugés sociaux de ceux auxquels il profite.

Mais il ne faut pas charger la sociobiologie des péchés des déterminismes d'autrefois. Quelle a été la première conséquence de l'excellente publicité qui lui a été faite ? Dans le meilleur des cas, nous voyons s'amorcer un courant de recherches sociales qui n'apportera que des absurdités s'il s'obstine à ne pas prendre en considération les facteurs non génétiques. On peut lire, dans le numéro du 30 janvier 1976 de *Science* (revue américaine scientifique et technique de premier plan) un article sur la mendicité que j'aurais accepté s'il s'était agi d'une satire du *National Lampoon*. Les auteurs ont envoyé des « mendiants » demander l'aumône à divers sujets « cibles ». Les résultats sont analysés uniquement dans le contexte de la sélection naturelle, de la réciprocité de l'altruisme et des habitudes de partage de la nourriture chez le chimpanzé et le babouin. Pas un mot de la réalité urbaine de l'Amérique. Leur principale découverte est que « le mendiant masculin a beaucoup plus de chances de réussir s'il s'adresse à une femme seule, ou à deux femmes, que s'il s'adresse à un couple ; il y a très peu de chances de réussite auprès d'un ou de deux hommes ». Pas un mot sur l'insécurité des villes et le statut des sexes. Seulement quelques affirmations à propos des chimpanzés et de la génétique de l'altruisme (bien que les auteurs finissent par conclure que la réciprocité de l'altruisme ne s'applique pas dans ce cas. Après tout, écrivent-ils, « quel profit futur peut-on attendre d'un mendiant ? »).

Dans la première analyse critique de la sociobiologie⁴³, l'économiste Paul Samuelson presse le sociobiologiste de s'engager avec pru-

dence dans les domaines de la race et du sexe. Rien n'indique que sa voix ait été entendue. Dans un article paru le 12 octobre 1975 dans le *New York Times Magazine*, Wilson écrit :

« Dans les communautés vivant de chasse et de cueillette, l'homme chasse et la femme reste à la maison. Cette tendance persiste dans presque toutes les sociétés agricoles et industrielles et, sur ce plan, semble avoir une origine génétique... Je crois que la pression génétique est assez intense pour causer une division radicale du travail, même dans les sociétés les plus libres et les plus égalitaires de l'avenir... Même avec une éducation identique et la liberté d'accès à toutes les professions, il est probable que les hommes continueront à jouer un rôle plus important dans la vie politique, les affaires et la science. »

Nous sommes semblables aux animaux et, en même temps, différents d'eux. Dans des contextes culturels différents, l'accent mis sur l'un ou l'autre terme de cette vérité joue un rôle social utile. À l'époque de Darwin, l'affirmation de notre similitude a fait voler en éclats plusieurs siècles de superstition. Peut-être ressentons-nous actuellement le besoin de mettre l'accent sur nos différences, puisque nous sommes des animaux capables de choisir dans un vaste ensemble de comportements possibles. Notre nature biologique ne fait pas obstacle à la réforme de la société. Nous sommes, comme dit Simone de Beauvoir, « l'être dont l'être est de n'être pas⁴⁴ ».

33.

Un animal doué de bienveillance

Dans *Malaise dans la civilisation*, Sigmund Freud examine le difficile problème de la vie sociale de l'homme. Nous sommes naturellement égoïste et agressifs, et pourtant, toutes les civilisations exigent que nous réprimions les tendances biologiques et que nous agissions avec altruisme pour l'harmonie et le bien communs. Freud montre plus loin que plus les civilisations deviennent complexes et « modernes », plus il nous faut renoncer à notre personnalité innée. Nous n'y parvenons qu'imparfaitement, et cela engendre la culpabilité, la douleur et des difficultés de toute sorte.

« Il est impossible, écrit Freud, de dissimuler que la civilisation repose, dans une très large mesure, sur la renonciation à l'instinct [...] et jusqu'à quel point elle suppose justement la non-satisfaction de certains instincts. Cette "frustration culturelle" domine les rapports entre les êtres humains. »

L'argumentation de Freud est une variation particulièrement bien charpentée sur le thème de la « nature humaine ». Nous attribuons à notre passé animal ce que nous trouvons critiquable en nous-mêmes. Ce sont les vestiges de notre ascendance simiesque : la brutalité, l'agressivité, l'égoïsme – bref, tout ce qui nous semble mauvais. Ce qui nous semble digne d'être recherché (malheureusement sans grand succès), nous le voyons comme un polissage superficiel sécrété par notre raison et imposé à un corps récalcitrant. L'espoir d'un avenir meilleur résiderait dans la raison et la bienveillance, dépassements psychologiques de nos limites biologiques.

Pratiquement, cette conception très répandue ne repose que sur des préjugés hérités du passé. Elle ne se justifie certainement pas

scientifiquement, car on ignore presque tout de la biologie du comportement humain. Elle est le produit de la théologie de l'âme humaine et des philosophies « dualistes » suivant lesquelles l'âme et le corps appartiennent à des royaumes différents. Elle prend racine dans une attitude contre laquelle je ne cesse de m'élever : le désir de voir une progression dans l'histoire de la vie et de placer l'homme au sommet de l'échelle, où il disposerait de toutes les prérogatives de la domination. Nous cherchons le critère de notre particularité et choisissons (naturellement) l'esprit, en décrétant que les produits de la conscience sont complètement indépendants de la biologie. Mais pourquoi ? Pourquoi nos mauvaises tendances seraient-elles la conséquence d'un passé simiesque et notre bienveillance toute humaine ? Pourquoi ne pas rechercher ce qui nous rapproche des animaux dans ce que nous avons de noble ?

En fait, il existe bien un argument scientifique à l'appui de ce préjugé. L'élément essentiel de la bienveillance humaine est l'altruisme, le sacrifice au profit des autres, de notre confort personnel, voire de notre vie, dans des cas extrêmes. Cependant, si l'on accepte le mécanisme darwinien de l'évolution, comment concilier altruisme et biologie ? Suivant la sélection naturelle, les organismes ne peuvent agir que dans leur propre intérêt. Ils ignorent tout des concepts abstraits comme « le bien de l'espèce ». Ils combattent continuellement pour accroître la représentation de leurs gènes au détriment de leurs congénères, un point, c'est tout. Il n'existe aucun principe supérieur dans la nature. L'avantage individuel, selon Darwin, est le seul critère de succès. L'harmonie de la vie ne va pas plus loin. L'équilibre de la nature provient de l'interaction d'équipes concurrentes, chacune d'elles s'efforçant de se tailler la plus grosse part, et non du partage coopératif de ressources limitées.

Comment, dans ces conditions, l'évolution biologique du comportement a-t-elle pu favoriser autre chose que l'égoïsme ? Si l'altruisme est le ciment des sociétés stables, alors la société humaine est fondamentalement extérieure à la nature. Il est toutefois possible de résoudre ce problème. Une action apparemment altruisme peut-elle être égoïste au sens darwinien du terme ? Le sacrifice d'un individu peut-il conduire à la perpétuation de ses gènes ? La réponse à ces questions à première vue contradictoires est *oui*, et nous devons la

solution de ce paradoxe à une théorie de la sélection parentale mise au point par W.D. Hamilton, théoricien anglais de la biologie, au début des années soixante. C'est la clé de voûte de la théorie biologique de la société proposée par E.O. Wilson dans *Sociobiologie*⁴⁵.

L'héritage des grands hommes comprend de nombreuses intuitions non développées. Le biologiste anglais J.B.S. Haldane, par exemple, a probablement été en avance sur toutes les bonnes idées que les théoriciens de l'évolution auront au cours de ce siècle. On raconte que Haldane, un soir qu'il discutait de l'altruisme dans un bar, fit quelques calculs rapides au dos d'une enveloppe et déclara : « Je renoncerai à ma vie pour deux frères ou huit cousins. » Que voulait donc dire Haldane ?

Les chromosomes humains vont par paires : un jeu provient de l'œuf maternel, un autre du sperme paternel. Nous possédons donc une copie paternelle et maternelle de chaque gène⁴⁶. Prenons un gène humain. Quelles chances deux frères ont-ils de posséder les mêmes gènes ? Supposons qu'il se trouve sur le chromosome maternel (la démonstration est la même en ce qui concerne un chromosome paternel). Chaque cellule contient un chromosome de chaque paire, soit la moitié des gènes de la mère. L'œuf fécondé qui est devenu votre frère possédait les mêmes chromosomes que vous ou les autres membres de la paire. Il y a cinquante chances sur cent pour que vous ayez les mêmes gènes que votre frère. Votre frère partage la moitié de vos gènes ; il est donc suivant le calcul darwinien, égal à la moitié de vous.

Supposons maintenant que vous marchiez dans la rue en compagnie de trois frères. Survient un monstre aux intentions meurtrières. Vos frères ne le voient pas. Vous n'avez que deux solutions : vous approcher et prévenir vos frères, pour qu'ils se cachent ou s'enfuient, puis assurer votre propre sauvetage ; ou vous cacher et regarder le monstre dévorer vos frères. Quelle est, dans ce cas, la règle du jeu darwinien ? La réponse est : s'avancer et crier... car vous n'exposez alors que vous-même, tandis que vos trois frères représentent une fois et demie vous. Il vaut mieux qu'ils survivent eux et propagent 150 % de vos gènes. Cette action, en apparence altruiste, est généti-

quement égoïste, car elle augmente la contribution de vos gènes aux générations futures.

Suivant la théorie de la sélection parentale, les animaux ne développent des comportements susceptibles de leur faire courir des risques pouvant aller jusqu'au sacrifice que si des actions altruistes de ce type augmentent leur propre potentiel génétique en profitant à l'espèce. Altruisme et société sont liés ; il arrive même que les profits de cette sélection déterminent l'évolution de l'interaction sociale. Alors que l'exemple des frères et du monstre est simpliste, la situation devient beaucoup plus compliquée avec des cousins au douzième degré. La théorie de Hamilton ne se contente donc pas d'enfoncer des portes ouvertes.

Hamilton a même brillamment résolu quelques problèmes biologiques difficiles de l'évolution et des comportements sociaux des hyménoptères : les fourmis, les abeilles et les guêpes. Pourquoi la vie en société a-t-elle évolué au moins onze fois chez les hyménoptères et une fois seulement chez les autres insectes ? Pourquoi les ouvrières stériles sont-elles toujours femelles chez les hyménoptères et mâles et femelles chez les termites ? Il semble que la solution réside dans le fonctionnement de la sélection dans le cadre du système génétique particulier des hyménoptères.

Presque tous les organismes qui se reproduisent sexuellement sont diploïdes ; leurs cellules contiennent deux jeux de chromosomes, l'un provenant de leur mère, l'autre de leur père. Les termites, comme la plupart des insectes, sont diploïdes. Chez les hyménoptères sociaux, en revanche, les femelles se développent à partir d'œufs fécondés et deviennent des individus diploïdes normaux, pourvus des deux jeux de chromosomes : maternels et paternels. Mais les mâles se développent à partir d'œufs non fécondés et ne comportent que les chromosomes maternels ; ils sont, en langage technique, haploïdes, c'est-à-dire qu'ils ne possèdent que la moitié du nombre des chromosomes.

Chez les organismes diploïdes, les liens génétiques des frères et des parents sont symétriques : on retrouve la moitié des gènes des parents chez les enfants et chaque frère partage (en moyenne) la moitié de ses gènes avec ses autres frères, qu'il s'agisse de mâles ou de fe-

melles. Mais, dans les espèces haplodiploïdes les liens génétiques sont asymétriques, ce qui permet à la sélection parentale de fonctionner d'une manière particulière et déterminante. Considérons les liens qui unissent la reine des fourmis à ses fils et à ses filles, et ceux qui unissent ces filles à leurs sœurs et à leurs frères :

1. La reine est liée par moitié ($1/2$) à ses fils et à ses filles ; tous ses petits ont $1/2$ de ses chromosomes et, en conséquence, $1/2$ de ses gènes.

2. Les sœurs ne sont pas liées à leurs frères par $1/2$, comme chez les organismes diploïdes, mais seulement par $1/4$. Prenons un gène appartenant à une sœur. Il y a une chance sur deux pour que ce soit un gène paternel. S'il en est ainsi, elle ne peut le posséder en commun avec son frère (puisqu'il ne possède aucun gène paternel). S'il s'agit d'un gène maternel, il y a une chance sur deux pour que son frère l'ait également. Au total, la liaison entre une sœur et un frère est la moyenne entre 0 (pour les gènes paternels) et $1/2$ (pour les gènes maternels) – c'est-à-dire $1/4$.

3. Les sœurs sont liées à leurs sœurs par $3/4$. Prenons de nouveau un gène. S'il est paternel, une sœur l'aura certainement (puisque les pères ont un seul jeu de chromosomes qui sert pour toutes les filles). S'il est maternel, il y a une chance sur deux pour que la sœur l'ait également, comme précédemment. La liaison entre les sœurs est la moyenne entre 1 (pour les gènes paternels) et $1/2$ (pour les gènes maternels) – c'est-à-dire $3/4$.

Il semble que cette asymétrie permette d'expliquer d'une manière simple et élégante le plus altruiste des comportements animaux – qui serait alors la volonté des ouvrières stériles de renoncer à leur propre reproduction afin d'aider leurs mères à élever un plus grand nombre de sœurs⁴⁷. Aussi longtemps qu'une ouvrière a la possibilité d'investir de préférence dans ses sœurs, elle transmettra une plus grande quantité de ses gènes en aidant sa mère à élever davantage de sœurs (parenté égale à $3/4$) qu'en élevant elle-même des filles fertiles (parenté $1/2$). Mais le mâle n'est enclin ni à la stérilité ni au travail. Il préférerait de loin élever ses propres filles, qui possèdent tous ses gènes, qu'aider ses sœurs, qui n'en ont que $1/2$ ⁴⁸.

Dans le numéro de *Science* du 23 juin 1975, mes collègues H.L. Trivers et H. Hare ont rendu compte d'une découverte importante. Ils montrent que les reines et les ouvrières préfèrent une répartition différente des mâles et des femelles. La reine est favorable à une quantité égale de petits fertiles des deux sexes, puisqu'elle est liée par le même rapport ($1/2$) à ses filles et à ses fils. Mais les ouvrières élèvent les petits et il leur est loisible d'exercer leur influence en alimentant les œufs d'une manière sélective. Les ouvrières préfèrent les sœurs fertiles (parenté $3/4$) aux frères (parenté $1/4$). Mais elles doivent assurer la maturité de quelques frères pour fournir des maris aux sœurs. Elles aboutissent donc à un compromis et favorisent les sœurs en fonction des liens de parenté qui les unissent. Puisque ces liens sont trois fois plus forts avec les sœurs qu'avec les frères, elles devraient consacrer trois fois plus d'énergie à l'élevage des sœurs. Les ouvrières investissent l'énergie dans la nourriture et la qualité de nourriture est reflétée par le poids du petit adulte. Trivers et Hare ont donc chiffré le rapport de poids entre les femelles et les mâles de petits fertiles pris ensemble dans le nid de vingt et une espèces de fourmis. Le rapport moyen est extrêmement proche de $3/1$. Cela est tout à fait satisfaisant, mais le point fort de cette argumentation vient de l'étude des fourmis esclavagistes. Les ouvrières sont ici des prisonnières appartenant à d'autres espèces. Elles n'ont aucun lien génétique avec les filles et leur reine et n'ont, de ce fait, aucune raison de favoriser celles-ci au détriment des fils de la reine. Aussi bien dans ces conditions, le rapport sera égal à 1... alors qu'il est également de $3/1$ quand les ouvrières de l'espèce réduite en esclavage travaillent pour leur propre reine.

Ce type de sélection, qui s'applique à la génétique particulière des organismes haplo-diploïdes, semble bien expliquer les caractéristiques dominantes du comportement social des fourmis, des abeilles et des guêpes (voir note 47). Mais pouvons-nous l'appliquer à l'homme ? Peut-il nous aider à comprendre l'amalgame d'impulsions contradictoires en direction de l'égoïsme et de l'altruisme qui forme l'essentiel de notre personnalité ? Je suis prêt à admettre (mais ce n'est qu'une intuition, puisque nous ne pouvons nous appuyer sur aucun fait) que cela résout probablement le dilemme de Freud, exposé au début de ce chapitre. Il est possible, en effet, que nos pulsions

égoïstes et agressives se soient développées par les chemins darwiniens du profit personnel. Mais nos tendances altruistes ne représentent pas forcément le polissage superficiel imposé par les nécessités de la civilisation. Ces tendances peuvent également provenir de la sélection. Il se pourrait que la bonté de l'homme soit aussi « naturelle » que sa méchanceté.

Mais je m'arrête ici... à la limite de toute spéculation déterministe qui attribuerait certains comportements à la possession de certains gènes spécifiques. Notre structure génétique autorise un large éventail de comportements. Je ne crois pas que l'avare amasse parce qu'il possède les gènes de l'opportunisme, ou que le philanthrope donne parce que la nature l'a doté d'une qualité anormalement grande de gènes altruistes. L'éducation, la culture, la classe, le statut et tous les éléments intangibles qui constituent ce que nous appelons le « libre arbitre » déterminent nos comportements dans l'ensemble – qui va de l'extrême altruisme à l'extrême égoïsme – délimité par nos gènes.

Pour montrer comment il est possible de fonder des spéculations déterministes sur l'altruisme et la sélection, nous prendrons l'exemple d'un article dans lequel E.O. Wilson propose une explication génétique de l'homosexualité⁴⁹. Puisque les homosexuels ne se reproduisent pas, comment un gène de l'homosexualité a-t-il pu être sélectionné dans un monde darwinien ? Supposons que nos ancêtres se soient organisés socialement en petits groupes concurrents. Certains groupes étaient composés uniquement d'individus hétérosexuels. D'autres groupes comportaient des homosexuels qui « aidaient » à la chasse et à l'éducation des enfants : ils n'avaient pas d'enfants eux-mêmes, mais ils aidaient le groupe à élever ses proches parents. Si les groupes comportant des homosexuels se révélèrent supérieurs dans la compétition qui les opposa aux groupes exclusivement hétérosexuels, les gènes de l'homosexualité purent être maintenus par la sélection. Cette proposition n'a rien d'illogique, mais elle ne repose sur aucun fait. Nous n'avons pas identifié le gène de l'homosexualité, et nous ne savons rien de l'organisation sociale de nos ancêtres.

L'intention de Wilson est honorable : il tente de montrer la légitimité intrinsèque d'un comportement sexuel très répandu et très ca-

lomnié en établissant qu'il est naturel pour certaines personnes, et adaptatif, de surcroît... au moins dans l'organisation sociale de nos ancêtres. Mais c'est une stratégie dangereuse, car elle s'effondre si la proposition concernant la génétique est fautive. En effet, si pour défendre un comportement, on démontre qu'il est le résultat d'une programmation de l'individu, comment continuer à le défendre si la proposition est fautive ? Ce comportement devient alors antinaturel et mérite d'être condamné. Il vaut mieux s'en tenir résolument à une proposition philosophique fondée sur la liberté : ce que font les adultes dans leur vie privée ne regarde qu'eux-mêmes... Cela n'a pas besoin d'être justifié – et ne doit pas être condamné – par des spéculations génétiques.

Bien que les utilisations déterministes de la sélection parentale m'inquiètent tout particulièrement, j'applaudis aux portes qu'elle ouvre à ma notion de potentialité biologique. Car elle étend son domaine plus loin encore en incluant la possibilité de la bienveillance... que l'on considérait autrefois comme faisant partie intégrante de la culture humaine. Sigmund Freud montre que l'histoire des plus grandes découvertes scientifiques réfléchit, ironiquement, l'éloignement de notre espèce du centre du cosmos. Avant Copernic et Newton, nous croyions que nous habitions au centre de l'univers. Avant Darwin, nous étions persuadés d'avoir été créés par un Dieu bienveillant. Avant Freud, nous croyions être des créatures rationnelles (ce qui était sans doute l'une des prétentions les moins modestes de l'histoire de la pensée). Si la sélection parentale est une nouvelle étape dans l'éloignement de l'espèce humaine du centre du cosmos, elle nous rendra service en détournant notre esprit des problèmes de domination, lui permettant ainsi de s'ouvrir à ce qui le rapproche des autres animaux.

Épilogue

Où va le darwinisme ? Quelles perspectives lui sont ouvertes au début de son second siècle ? Je ne sais rien de l'avenir, mais je connais assez bien le passé. Et je suis persuadé que la définition des objectifs futurs est inséparable du point de vue de Darwin lui-même, en particulier des trois éléments fondamentaux de sa théorie : l'individu est l'agent déterminant de l'évolution, la sélection naturelle est le mécanisme de l'adaptation, le changement évolutif est graduel.

Darwin a-t-il soutenu que la sélection naturelle est l'agent exclusif de l'évolution ? Croyait-il que tous les produits de l'évolution sont adaptatifs ? À la fin du XIX^e siècle, on se querella violemment dans les cercles de biologistes pour savoir qui était « darwinien ». August Weismann, sélectionniste intransigeant qui n'accordait pas de place aux autres mécanismes, quels qu'ils fussent, prétendait être le seul véritable successeur de Darwin. G.J. Romanes, qui mettait sur le même plan les théories de Lamarck et la sélection naturelle, prétendait lui aussi avoir droit à ce titre. Ils avaient tous les deux raison et ils avaient tous les deux tort. La position de Darwin était pluraliste et ouverte, ce qui est la seule attitude raisonnable face à la complexité du monde. Il a accordé une énorme importance à la sélection naturelle mais il n'a jamais nié l'influence d'autres facteurs.

La querelle Weismann-Romanes recommence et les deux mouvements les plus discutés de ces dernières années vont dans ce sens. Je crois que la position moyenne de Darwin l'emportera de nouveau, car les formulations extrêmes succombent toujours à la diversité de la nature. D'un côté, les « sociobiologistes » proposent une série de spéculations complexes, fondées sur le postulat suivant lequel les types principaux de comportement sont adaptatifs, puisqu'ils résultent de la sélection naturelle. On a tout analysé de ce point de vue, et même du point de vue génétique, depuis la transmission de la richesse et de

la propriété par voie d'héritage jusqu'à l'importance de la fellation et du cunnilingus dans les classes dominantes.

Avec une confiance aveugle dans l'universalité de l'adaptation, les sociobiologistes défendent l'atomisme le plus radical, et se placent à un niveau inférieur à l'individu de la formulation darwinienne. Samuel Butler a dit un jour que la poule n'est que le moyen employé par l'œuf pour fabriquer un autre œuf. Certains biologistes prennent ce raccourci à la lettre et pensent que les individus ne sont que les outils dont les gènes se servent pour fabriquer d'autres gènes semblables à eux. L'individu ne serait que le réceptacle temporaire des « véritables » unités de l'évolution. Dans le monde de Darwin, l'individu lutte pour perpétuer sa race. Ici, ce sont les gènes eux-mêmes qui mènent le combat pour la survie. Dans cette bataille acharnée, seul le meilleur gagne ; tout changement est donc facteur d'adaptation.

« Suivant la théorie évolutionniste, écrit Wolfgang Wickler, les gènes régissent l'individu dans leur propre intérêt. » J'avoue que je ne vois dans cette affirmation qu'une métaphore absurde. Le fait que son auteur attribue aux gènes une volonté consciente m'est indifférent, c'est une convention littéraire dont je suis moi aussi coupable. Ce qui m'ennuie, c'est qu'il croit, à tort, que les gènes sont de minuscules particules divisibles qui utilisent les caractéristiques qu'ils déterminent dans les organismes comme les armes de leur propagation. Or on ne peut pas décomposer l'individu en parties héréditaires indépendantes. Les parties n'ont aucun sens hors du milieu constitué par le corps, et ils n'agissent directement ni sur une caractéristique morphologique particulière ni sur le comportement. La morphologie et le comportement ne dépendent pas uniquement du combat dans lequel les gènes sont engagés ; ils ne sont pas nécessairement, dans tous les cas, facteur d'adaptation.

Alors que les sociobiologistes s'efforcent d'aller plus loin que Weismann lui-même, d'autres évolutionnistes défendent une conception opposée et affirment que le changement évolutif, non seulement n'est pas influencé par la sélection naturelle, mais qu'il est même totalement tributaire du hasard. (Dans la formulation de Darwin, la variation peut être due au hasard, mais le changement évolutif est déterminé par la sélection naturelle.) Le code génétique, par exemple,

est redondant. On trouve le même acide aminé dans plusieurs séquences d'ADN. Il est difficile d'imaginer comment un changement génétique, d'une séquence redondante à une autre, peut être contrôlé par la sélection naturelle puisque la sélection « verra » le même acide aminé dans les deux cas.

On peut considérer que ces changements génétiques « invisibles » sont sans importance car, s'il est impossible de déceler la variation dans la morphologie ou la physiologie de l'organisme, la sélection naturelle ne peut pas agir sur elle. De plus, si la majorité des changements par évolution était neutre dans ce sens (et je ne crois pas que ce soit le cas), il nous faudrait une nouvelle métaphore pour définir l'influence darwinienne.

Il faudrait considérer la sélection naturelle comme un épiphénomène ne concernant que les rares variations génétiques qui s'expriment dans les caractères à l'évidence adaptatifs des organismes, l'écume à la superficie du vaste océan des variations cachées.

Mais le propos des évolutionnistes est plus sérieux que cela, ils ont découvert dans les protéines (les produits génétiques observables) une variabilité supérieure à celle qu'autorisent, dans une population donnée, les modèles fondés sur la sélection naturelle. De plus, ils en ont déduit un rythme de changement extrêmement régulier, presque réglé comme une horloge, sur de longues périodes. Mais comment l'évolution peut-elle fonctionner comme une horloge si elle est déterminée par la sélection naturelle, alors que l'intensité de la sélection reflète le rythme de changement de l'environnement et que le climat n'a pas la régularité d'un métronome ? Peut-être, après tout, ces changements génétiques sont-ils véritablement neutres et s'accumulent-ils indistinctement à un rythme constant. Le problème n'est pas résolu. Il est possible de concilier le foisonnement de la variabilité et la régularité du rythme avec la sélection naturelle au moyen d'hypothèses sur mesure qui ne se révéleront peut-être pas absurdes. Je veux seulement montrer qu'il n'existe pas de solution définitive.

Je suis persuadé que le pluralisme darwinien finira par triompher. La sélection naturelle s'avérera beaucoup plus importante que ne le croient les évolutionnistes moléculaires, mais elle ne se révélera pas toute-puissante, comme le soutiennent les sociobiologistes. En fait, je

crois que la sélection naturelle darwinienne, fondée sur la variation génétique, n'a pratiquement rien à voir avec les comportements que l'on cite avec tant d'ardeur aujourd'hui pour la soutenir.

J'espère que l'esprit pluraliste de l'œuvre de Darwin imprégnera davantage la pensée évolutionniste sur laquelle règnent actuellement des dogmes rigides, conséquences des idées préconçues, des vieilles habitudes et des préjugés sociaux. En ce qui me concerne ma cible favorite est l'idée soutenue par la plupart des paléontologistes, selon laquelle l'évolution est lente et constante. Les fossiles sont en contradiction avec cette idée ; ils témoignent d'extinctions massives et d'apparitions brutales, et d'autre part, on ne peut mettre en évidence l'évolution dans la morphologie des brachiopodes, par exemple, lorsqu'on parcourt les couches géologiques. Mais les paléontologistes écartent ces difficultés en postulant que les données fournies par les fossiles sont incomplètes, et que les étapes intermédiaires manquent parce que ces fossiles ne représentent que quelques mots de quelques lignes extraites des quelques pages que contient encore notre grand livre géologique. Ils ont payé leur orthodoxie gradualiste un prix exorbitant en admettant que le phénomène qu'ils étudient n'apparaît jamais dans les fossiles. Mais je crois que le gradualisme n'est pas la seule explication. La sélection naturelle ne s'intéresse pas aux rythmes. On peut concilier la spéciation rapide (instantanée, géologiquement parlant) de populations réduites et la transformation normale, démesurément lente, de lignages entiers.

La nature est si complexe et si variée que tout ce qui est possible peut arriver. Il ne faut pas chercher dans la nature une solution claire, définitive et globale aux problèmes de la vie. Je ne crois même pas que l'on puisse découvrir ces solutions au terme de recherches honnêtes. On peut donner une réponse définitive à quelques petites questions : je sais pourquoi le monde ne verra jamais une fourmi de 7 mètres. Nos performances sont raisonnables dans le domaine des questions d'importance moyenne : je ne crois pas que le lamarckisme sera de nouveau considéré comme une théorie viable de l'évolution. Les grandes questions succombent sous la richesse de la nature. Le changement peut être dirigé ou dû au hasard, graduel ou cataclysmique, sélectif ou neutre. Le foisonnement de la nature fait ma joie et

je laisse les chimères de la certitude aux politiciens et aux prédicateurs.

Illustrations



Figure 1: Dessin représentant le cerf géant dans l'article de Thomas Molyneux, publié en 1697. Les bois sont dirigés vers l'avant, ce qui ne correspond pas à la réalité.



Figure 2 : L'un des prédécesseurs de l'auteur mesure la partie postérieure de l'élan irlandais. Illustration publiée pour la première fois par J.G. Millais en 1897.

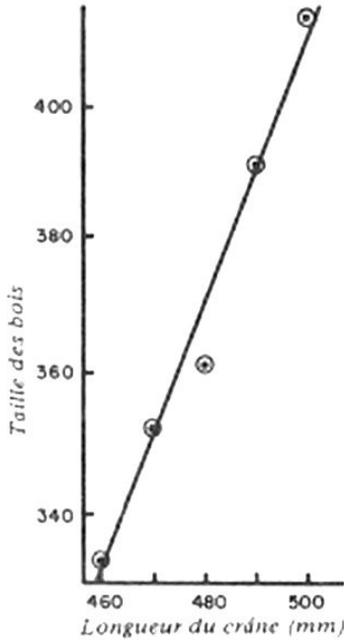


Figure 3 : Graphe montrant l'augmentation de la taille des bois en fonction de la longueur du crâne chez l'élan irlandais. Chaque point est la moyenne pour tous les crânes dans un intervalle de 10 millimètres ; les mesures ont porté sur 81 individus. La longueur des bois augmente plus de 2,5 fois plus rapidement que celle du crâne. Une courbe de pente 1 (faisant un angle de 45 degrés avec l'axe x) indiquerait des taux de croissance égaux sur ces échelles logarithmiques. La pente est ici beaucoup plus forte.

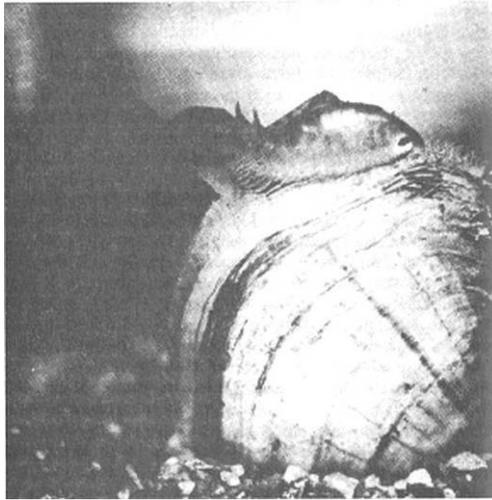


Figure 4 : Le « poisson, pourvu d'un œil et d'une queue, de la *Lampsilis ventricosa* ». Lorsqu'on poisson s'approche, la moule libère ses larves ; le poisson en absorbera quelques-unes et celles-ci s'installeront sur les branchies où elles se développeront. (John H. Welsh.)

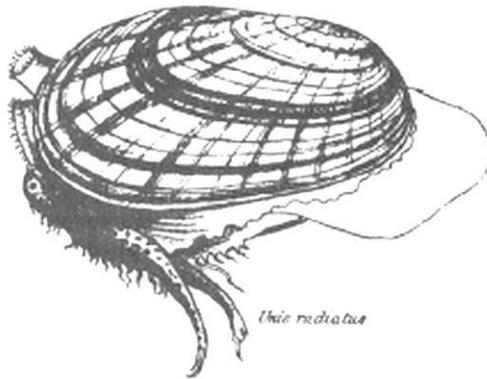


Figure 5 : Isaac Lea a publié ce dessin du « poisson »-leurre en 1838. Je remercie John H. Welsh de me l'avoir envoyé.

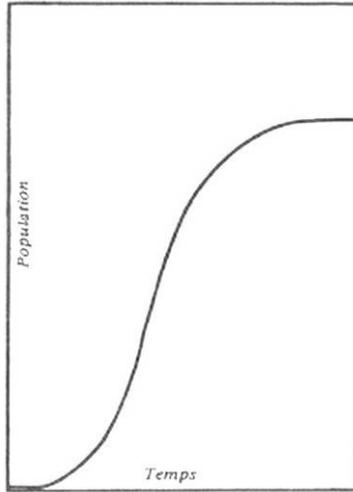


Figure 6 : Courbe sigmoïde type (en forme de S). Remarquez qu'elle s'élève lentement au début (phase de croissance lente), rapidement dans sa partie médiane (phase de croissance rapide) et qu'elle se stabilise en fin de parcours.

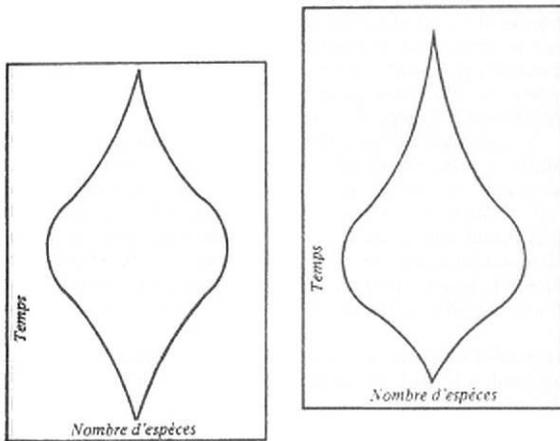


Figure 7 : Diagrammes en fuseau. Le CG du diagramme de gauche est égal à 0,5 (le point le plus large se trouve au milieu de sa durée) ; le CG du diagramme de droite est inférieur à 0,5.



Figure 8 : Les dinosaures meurent de soif dans un paysage desséché (*Fantasia*, de Walt Disney).

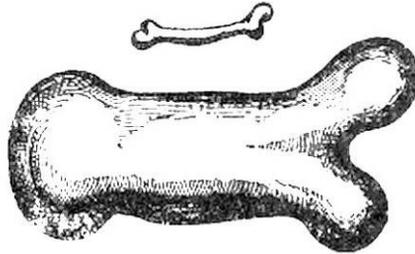
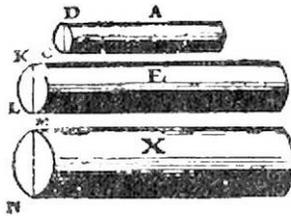


Figure 9 : Dessin de Galilée illustrant les rapports de la taille et de la forme. Les gros cylindres doivent être relativement plus épais que les petits pour avoir la même résistance. Pour la même raison, les jambes des gros animaux doivent comporter des os relativement plus épais.

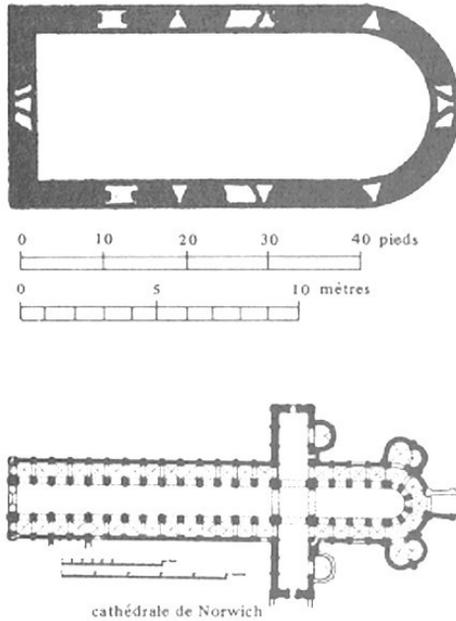


Figure 10 : On peut attribuer les diverses conceptions d'églises médiévales en partie à la taille. La petite église de Little Tey, dans l'Essex (en haut) ne mesure que 17 mètres de long, alors que la cathédrale de Norwich, également construite au XII^e siècle, comporte des adaptations (transept et chapelles) rendues nécessaires par la taille du bâtiment (135 mètres de long). L'éclairage et la solidité des voûtes déterminent le plan des grandes cathédrales. (A.W. Clapham, *English Romanesque Architecture : After the Conquest*, Clarendon Press, Oxford, 1934. Reproduit avec la permission d'Oxford University Press.)

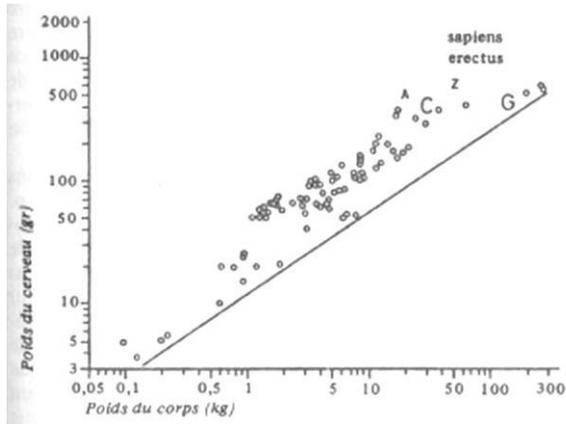


Figure 11: Critère permettant d'établir que le cerveau humain est plus gros. La ligne pleine correspond au rapport du poids du cerveau à celui du corps chez les mammifères en général. Les points représentant une taille supérieure se trouvant au-dessus de cette ligne (« plus » de cerveau que le mammifère moyen). Les cercles symbolisent les primates. C correspond au chimpanzé, G au gorille et A aux hominidés australopithèques. *Erectus* délimite le domaine de l'*Homo erectus* (homme de Java et de Pékin) ; *sapiens* celui de l'homme moderne. La taille de notre cerveau est très supérieure à celle du cerveau du mammifère moyen. (F.S. Szalay, *Approaches to Primate Paleobiology*, Contrib. Primat. 1975, vol. 5, p. 267. Reproduit avec l'autorisation de S. Karger AG, Bâle.)

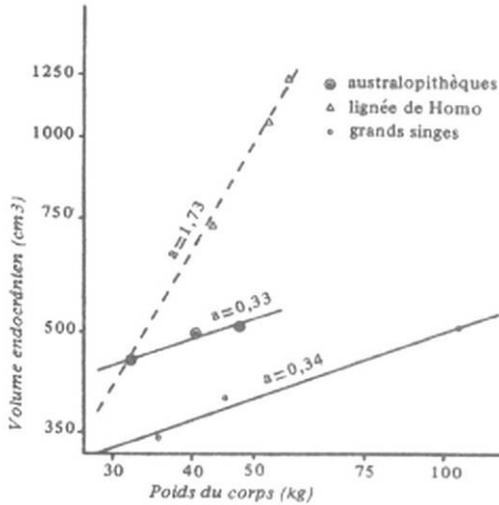


Figure 12 : Augmentation de la taille du cerveau humain (en pointillé). Les trois triangles représentent une séquence d'évolution : *Australopithecus africanus*, *Homo habilis* (la récente découverte de Richard Leakey dont la capacité crânienne est légèrement inférieure à 800 cm³), *Homo erectus* (homme de Pékin) et *Homo sapiens*. La pente est plus forte que dans toutes les séquences d'évolution jamais calculées. Les deux lignes pleines correspondent à des calculs plus conventionnels concernant les australopithèques (en haut) et les grands singes (en bas). (*Size and Scaling in Human Evolution*, Pilbeam, David and Gould. Stephen Jay, Science, vol. 186, p. 892-901, fig. 2, 6 décembre 1974. Copyright 1974 by the American Association for the Advancement of Science.)

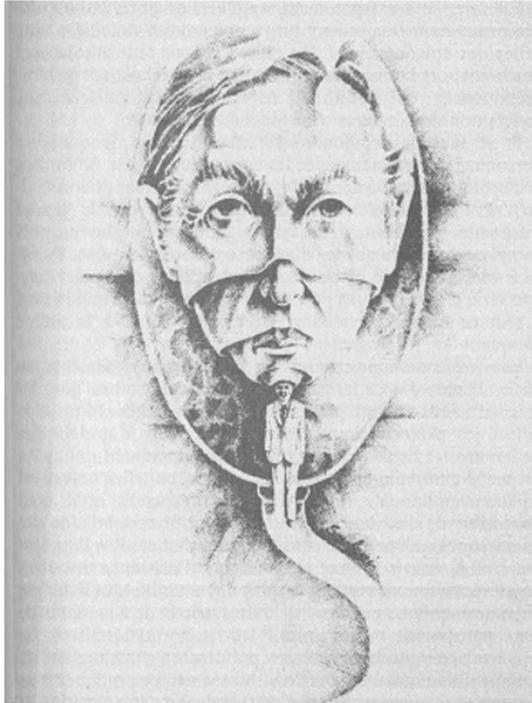


Figure 13: Joseph Scrofani. Reproduit avec la permission de *Natural History Magazine*, August-September, 1974. © The American Museum of Natural History, 1974.



Figure 14: L'édition de 1874 de l'ouvrage d'Ernst Haeckel, *Anthropogenie*, contient cette illustration raciste de l'évolution. (Avec la permission de l'American Muséum of Natural History.)



Figure 15 : Cette carte, produite par un ordinateur, montre la répartition par tailles du moineau mâle en Amérique du Nord. Les grands nombres correspondent aux grandes tailles. Ils sont composés de seize mesures différentes effectuées sur le squelette de l'oiseau.

Bibliographie

- Ardrey, R., *African Genesis*, 1961, ed. Collins, Fontana Library, 1967.
— *The Territorial Imperative*, 1967, ed. Collins, Fontana Library, 1969.
- Berkner, L.V., Marshall, L., « The history of oxygenic concentration in the earth's atmosphere », *Discussions of the Faraday Society*, 37, 1964, p. 122-141.
- Bethell, T., *Darwin's Mistake*, Harper's, février 1976.
- Bettelheim, B., *The Uses of enchantment*, New York, A. Knopf, 1976.
- Bolk, L., *Das Problem der Mertschwerdung*, Jena, Gustav Fischer, 1926.
- Burstyn, H.L., « If Darwin wasn't the *Beagle's* naturalist, why was he on board », *British Journal for the history of Science*, 8, 1975, p. 62-69.
- Coon, C., *The Origin of races*, New York, A. Knopf, 1962.
- Darwin, C., *The Origin of species*, Londres, John Murray, 1859 (Facsimile edition, E. Mayr (éd.), Harvard University Press, 1964).
— *The Descent of man*, Londres, John Murray, 1871, 2 vol.
— *The Expression of the émotions in man and animals*, Londres, John Murray, 872.
— « Autobiography », in F. Darwin (éd.), *The Life and Letters of Charles Darwin*, Londres, John Murray, 1887, vol 1.
- Dybas, H.S., Lloyd, M., « The habits of 17 year periodical cicadas (Homoptera : Cicadae : Magicicada spp.) », *Ecological Monographs*, 44, 1974, p. 279-324.
- Ellis, H., *Man and Woman*, New York, Charles Scribner's Sons, 1894.
- Engels, F., « Le rôle du travail dans la transformation du singe en homme », *Dialectique de la nature*, Paris, Éditions sociales, 1968.
- Eysenck, H.J., *The IQ Argument : race, intelligence and education*, New York, Library Press, 1971.

- Freud, S., *Civilization and its discontents*, 1930 (trad. J. Strachey, ed. New York, W.W. Norton, 1961).
- Gardner, R.A., Gardner, B.T., « Early signs of language in child and chimpanzee », *Science*, 187, 1975, p. 752-753.
- Geist, V., *Mountain Sheep : a study in behavior and evolution*. Chicago, University of Chicago Press, 1971.
- Gould, S.J., « The evolutionary significance of “bizarre” structures : antler size and skull size the “Irish Elk” » *Megaloceros Giganteus*. *Evolution*, 28, 1974, p. 191-220.
- Gould, S.J., Raup, D.M., Sepkoski, J.J. Jr., Schopf, T.J.M., Simberloff, D.S., 1977, « The shape of evolution – a comparison of real and random clades », *Paleobiology*, 3.
- Gruber, H.E., Barret, P.H., *Darwin on man : a psychological study of scientific creativity*, New York, E.P. Dutton, 1974.
- Gruber, J.W., « Who was the *Beagle*'s naturalist ? », *British Journal for the history of Science*, 4, 1969, p. 266-282.
- Hamilton, W.D., « The genetical theory of social behavior », *Journal of Theoretical Biology*, 7, 1964, p. 1-52.
- Harris, M., *Cows, Pigs, Wars and Witches : the riddles of culture*, New York, Random House, 1974.
- Huxley, A., *After many a summer dies the swan*, 1939, ed. Londres, Penguin, 1955.
- Huxley, J., *Problems of relative growth*, Londres, Mac-Veagh, 1932, (republié en 1972.)
- Janzen, D., « Why Bamboos wait so long to flower », *Annual Review of Ecology and Systematics*, 7, 1976, p. 347-391.
- Jensen, A.R., « How much can we boost IQ and scholastic achievement ? », *Harvard Educational Review*, 39, 1969, p. 1-123.
- Jerison, H.J., *Evolution of the brain and intelligence*, New York, Academic Press, 1973.
- Johnston, R.F., Selander, R.K., « House sparrows : rapide evolution of races in North America », *Science*, 144, 1964, p. 548-550.
- Kamin, L., *The Science and Politics of IQ*, Potomac, Md., Lawrence Erlbaum Associates, 1974.
- King, M.C., Wilson, A.C., « Evolution at two levels in humans and chimpanzees », *Science*, 188, 1975, p. 107-116.
- Kœstler, A., *The Ghost in the machine*, New York, Macmillan, 1967.

- *The Case of the midwife toad*, New York, Random House, 1971
(*L'Étreinte du crapaud*, Paris, Calmann-Lévy, 1972).
- Kraemer, L.R., « The mantle flaps in three species of *Lampsilis* (Pelecypoda : Unionidea) », *Malacologia*, 10, 1970, p. 225-282.
- Krogman, W.M., *Child Growth*, Ann Arbor, University of Michigan Press, 1972.
- Llyod, M., Dybus, H.S., « The periodical cicada problem », *Evolution*, 20, 1966, p. 133-149.
- Lockard, J.S., McDonald, L.L., Clifford, D.A., Martinez, R., « Panhandling : sharing of resources », *Science*, 191, 1976, p. 406-408.
- Lombroso, C., *Crime : its causes and remedies*, Boston, Little, Brown and Co, 1911.
- Lorenz, K., *On aggression*, 1966, ed. Londres, Methuen, 1967.
- Lull, R.S., *Organic Evolution*, New York, Macmillan, 1924.
- MacArthur, R., Wilson, E.O., *The Theory of island biogeography*, Princeton, Princeton University Press, 1967.
- Margulis, L., « Five-kingdom classification and the origin and evolution of cells », *Evolutionary Biology*, 7, 1974, p. 45-78.
- Martin, R., « Stratégies of reproduction », *Natural History*, nov. 1975, p. 48-57.
- Mayr, E., *Systematics and the Origin of species*, New York, Columbia University Press, 1942.
- Montagu, A., « Neonatal and infant immaturity in man », *Journal of the American Medical Association*, 178, 1961, p. 56-57.
- *The Concept of race*, Londres, Collier Books, 1964.
- Morris, D., *The Naked Ape*, New York, McGraw-Hill, 1967.
- Oxnard, C., *Uniqueness and Diversity in human evolution : morphometric studies of australopithecines*, Chicago, University of Chicago Press, 1975.
- Passingham, R.E., « Changes in the size and organization of the brain in man and his ancestors », *Brain, Behavior and Evolution*, 11, 1975, p. 73-90.
- Pilbeam, D., Gould, S.J., « Size and scaling in human evolution », *Science*, 186, 1974, p. 892-901.
- Portmann, A., « Die Ontogenese des Menschen als Problem der Evolutionsforschung », *Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*, 1945, p. 44-53.
- Press, F., Siever, R., *Earth*, San Francisco, W.H. Freeman, 1974.

- Raup, D.M., Gould, S.J., Schopf, T.J.M., Simberloff, D., « Stochastic models of phylogeny and the evolution of diversity », *Journal of Geology*, 81, 1973, p. 525-542.
- Ridley, W.I., « Petrology of lunar rocks and implication to lunar evolution », *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1976, p. 15-48.
- Samuelson, P., « Social Darwinism », *Newsweek*, 7 juillet 1975.
- Schopf, J.W., Oehler, D.Z., « How old the eukaryotes ? » *Science*, 193, 1976, p. 47-49.
- Schopf, T.J.M., « Permo-Triassic extinctions : relation to sea-floor spreading », *Journal of Geology*, 82, 1974, p. 129-143.
- Simberloff, D.S., 1974 « Permo-Triassic extinctions : effects of aera on biotic equilibrium », *Journal of Geology*, 82, 1974, p. 267-274.
- Stanley, S., « An ecological theory for the sudden origin of multicellular life in the Late Precambrian », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 70, 1973, p. 1486-1489.
- « Fossil data and the Precambrian-Cambrian evolutionary transition », *American Journal of Science*, 276, 1975, p. 56-76.
- Tiger, L., Fox, R., *The Impérial Animal*, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1971.
- Trivers, R., Hare, H., « Haplodiploidy and the evolution of the social insects », *Science*, 191, 1976, p. 249-263.
- Ulrich, H., Petelas, A., Camenzind, R., 1972, « Der Generationswechsel von *Mycophila speyeri* Bames, einer Gallmücke mit paedogenetischer Fortpflanzung », *Revue suisse de zoologie*, 79 (supplément), 1972, p. 75-83.
- Vélikovsky, E., *Worlds in collision*, 1950, ed. New York, Delta, 1965.
- *Earth in upheaval*, 1955, ed. New York, Delta, 1965.
- Wegener, A., *The Origin of continents and oceans*, New York, Dover, 1966.
- Welsh, J., « Mussels on the move », *Natural History*, mai 1969, p. 56-59.
- Went, F.W., « The size of man », *American Scientist*, 56, 1968, p. 400-413.
- Whittaker, R.H., « New concepts of kingdoms of organisms », *Science*, 163, 1969, p. 150-160.
- Wilson, E.O., *Sociobiology*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1975.

— « Human decency is animal », *New York Times Magazine*, 12 octobre 1975.

Young, J.Z., *An introduction to the study of man*, Oxford, Oxford University Press, 1971.

Notes

¹ Voir *Darwin on man*, de H.E. Gruber et P.H. Barret, pour le texte et le commentaire détaillé.

² J'ai vu le premier volume du *Capital*, ayant appartenu à Darwin, dans la bibliothèque de Down House. Il est dédicacé par Marx qui se présente comme un "admirateur sincère" de Darwin. Les pages ne sont pas coupées. Darwin n'était pas fanatique de la langue allemande.

³ Depuis que S.J. Gould a écrit cet article, il a été établi que Marx n'a jamais proposé à Darwin de lui dédier une édition du *Capital* (la version anglaise). La lettre de 1880 où Darwin refuse que lui soit dédiée une œuvre n'était pas destinée à Marx, comme on, l'a longtemps cru, mais au gendre de celui-ci, Edward Aveling ; cf. *La Recherche*, n°77, avril 1977, p. 394. (N.d.E.)

⁴ Voir *The Ghost in the machine* ou : *The Case of the midwife toad* (L'étreinte du crapaud).

⁵ Harper's, février 1976.

⁶ *Science*, avril 1975.

⁷ Par souci de prudence, on désigne souvent le spécimen découvert par Richard Leakey par le numéro qui lui a été attribué sur le terrain : *ER-1470*. Mais que l'on décide ou non de nommer *Homo habilis*, il appartient sans l'ombre d'un doute à notre espèce, et il est tout aussi certain qu'il était contemporain de l'australopithèque.

⁸ On débat toujours de la possibilité d'autres modes de spéciation. Mais tout le monde admet que la spéciation allopatric est la plus fréquente.

⁹ Ponce de León (1460(2)-1521), explorateur espagnol. Découvrit la Floride en cherchant la Fontaine de Jouvence.

¹⁰ Théorie probablement imaginée par son frère, Julian, qui avait effectué des travaux importants sur le ralentissement de la métamorphose des amphibiens.

¹¹ Pour ma part, je ne cesserai de lutter contre la tentation qui consiste à poser une équivalence entre évolution et progrès.

¹² La distinction entre fœtal et postnatal, dans le cas de certains éléments de la croissance, n'est pas arbitraire. Le développement postnatal n'est pas simplement la continuation des tendances fœtales ; la naissance marque effectivement une rupture dans bien des domaines.

¹³ r est le « taux intrinsèque de croissance d'une population » dans un ensemble d'équations écologiques donné.

¹⁴ Il existe également une forme sexuée, capable de supporter l'hiver, mais qui ne nous intéresse pas ici.

¹⁵ *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1976.

¹⁶ Du point de vue évolutionniste, la meilleure étude est celle de M. Lloyd et H.S. Dybas, parue dans les revues *Evolution*, en 1966, et *Ecological Monograph*, en 1974.

¹⁷ Improprement, parce que ce terme suggère que les espèces s'adaptent à l'avance aux événements qui surviennent dans l'histoire de leur évolution, alors que c'est exactement le contraire que l'on veut dire.

¹⁸ Depuis que S.J. Gould a écrit ce chapitre, la biologie moléculaire a montré qu'il existe un groupe ancestral de bactéries, appelé « archéobactéries ». L'ordre d'apparition des différents groupes est remis en question. Les premiers êtres vivants apparus auraient été les archéobactéries ; puis seraient venus les unicellulaires eucaryotes ; puis les unicellulaires procaryotes et les multicellulaires eucaryotes (cf. *La Recherche*, n°155, mai 1984, p. 624).

(N. d. E.)

¹⁹ Il est tout de même possible de montrer qu'il y a eu des améliorations limitées, dans le cadre de certaines structures : les vertébrés et les plantes vasculaires, par exemple.

²⁰ La seule faune précambrienne connue a été découverte à Ediacara en Australie. Elle comprend des coraux, des méduses, des créatures ressemblant à des vers, des arthropodes et des animaux étranges qui ne ressemblent à rien de ce qui existe aujourd'hui. Cependant, les roches d'Ediacara sont à la limite du cambrien et n'appartiennent que de justesse au précambrien, d'autres découvertes, de moindre importance, dans d'autres régions du monde, sont elles aussi à la limite du cambrien. Quoi qu'il en soit, le mystère s'épaissit dans la mesure où l'étude d'une quantité sans cesse plus grande de roches précambriennes va à l'encontre de l'idée très répandue selon laquelle les métazoaires complexes s'y trouvent effectivement, et que nous les découvrirons un jour ou l'autre.

²¹ *Proceedings of the National Academy of Science*, 1973.

²² Le lecteur ne doit jamais oublier que les géologues ont une conception particulière de la vitesse. Suivant le sens commun, un événement qui se déroule sur 10 millions d'années n'est pas un exemple de rapidité. Pourtant 10 millions d'années ne représentent que 1/450^e de l'histoire de la Terre pour le géologue.

²³ Voir note 18.

²⁴ La référence biblique fait allusion à Élie qui reviendra sur Terre pour annoncer la venue du Messie. Ce qui revient à dire que ces questions n'entrent pas dans les compétences de la science et que seule une révélation peut nous donner la réponse.

²⁵ Dans *Les Voyages de Gulliver*, de Swift, race d'individus primaires et méprisables, symbolisant l'homme et ses vices. (N.d.T.)

²⁶ Association fondée en 1898 qui s'est donné pour mission de faire connaître la parole de Dieu. L'association édite une bible que l'on trouve dans les chambres de presque tous les motels américains. (N.d.T.)

²⁷ *Academic Press*, New York, 1973.

²⁸ On considère généralement le tertiaire, qui s'étend sur 70 millions d'années comme l'âge des mammifères.

²⁹ En français dans le texte.

³⁰ *Pithecanthropus*, de ce fait, est probablement le seul nom scientifique jamais donné à un animal avant que celui-ci n'ait été découvert. Quand Du Bois exhuma l'*homme de Java*, en 1890, il adopta le nom général de Haeckel, mais il lui donna une nouvelle désignation spécifique : *Pithecanthropus erectus*. Aujourd'hui, nous avons tendance à classer cette créature dans notre propre genre : *Homo erectus*.

³¹ Il n'y a d'ailleurs pas de quoi s'étonner. Engels s'intéressait beaucoup aux sciences naturelles et cherchait à fonder le matérialisme dialectique sur des bases solides, « positives ». Il mourut avant de terminer sa *Dialectique de la nature*, mais il nous a laissé ses réflexions sur la science dans des ouvrages tels que l'*Anti-Dühring*.

³² Depuis que S.J. Gould a écrit cet article, les recherches paléanthropologiques effectuées en Afrique de l'Est ont incité les spécialistes à reconsidérer cette question. En particulier, il semblerait que la station debout ait précédé la fabrication d'outils de plus d'un million d'années chez les ancêtres de l'homme (cf. *La Recherche*, février 1983). Ceci contredit l'hypothèse d'Engels. (N. d. E.)

³³ Ce que les militaires américains ne furent jamais capables de comprendre, eux qui ne cessèrent d'affirmer que les troupes vietcongs étaient composées d'adolescents... dont on découvrait, après les avoir tués ou faits prisonniers, qu'ils avaient 30 ou 40 ans.

³⁴ Pour Lombroso, environ 40 % des criminels entraînent dans la catégorie des criminels-nés. Les autres commettaient leurs mauvaises actions par cupidité, jalousie, colère et ainsi de suite. Il s'agissait de criminels occasionnels.

³⁵ En français dans le texte. (N.d.T.)

³⁶ Il prétendait que les criminels ne rougissent pas.

³⁷ Ouvrage paru dans la collection dirigée par Ashley Montagu en 1964.

³⁸ Ardrey, *The Territorial Imperative*.

³⁹ Tiger et Fox, *The Impérial Animal*.

⁴⁰ Depuis S.J. Gould a écrit cet article, il a été prouvé que Cyril Burt avait fraudé, et que ses études de jumeaux étaient purement imaginaires (cf. *La Recherche*, n°113, juillet 1980, p. 858). (N.d.E.)

⁴¹ Harvard University Press, 1975.

⁴² Cf. *Cows, Pigs, Wars and Witches*.

⁴³ *Newsweek*, 7 juillet 1975.

⁴⁴ En français dans le texte. (N.d.T.)

⁴⁵ J'ai critiqué les aspects déterministes de la pensée de Wilson sur le comportement humain, mais, si l'on s'en souvient, j'ai également reconnu la valeur de sa théorie générale de l'altruisme, et je poursuis maintenant sur ce thème.

⁴⁶ Cela n'est pas vrai chez les mâles pour les gènes situés sur les chromosomes sexuels, car le chromosome maternel X est plus long (c'est-à-dire qu'il contient davantage de gènes) que le chromosome paternel. La plupart des gènes du chromosome X n'ont pas de contrepartie dans le chromosome Y.

⁴⁷ En réalité, il y a un obstacle sérieux à cette théorie : dans de nombreuses espèces d'hyménoptères, la reine peut être fécondée par plusieurs pères. Les ouvrières ne sont pas alors plus apparentées que des sœurs ordinaires (parenté 1/2). (N.d.E.)

⁴⁸ Je ne prétends pas que des animaux pourvus d'un cerveau aussi rudimentaire sont doués de volonté consciente. Je n'utilise des expressions comme « il préférerait » que pour aller plus vite, à la place de : « Au cours de l'évolution, les mâles qui ne se comportaient pas ainsi ont été désavantagés du point de vue de la sélection et progressivement éliminés. »

⁴⁹ *New York Times Magazine*, 12 octobre 1975.