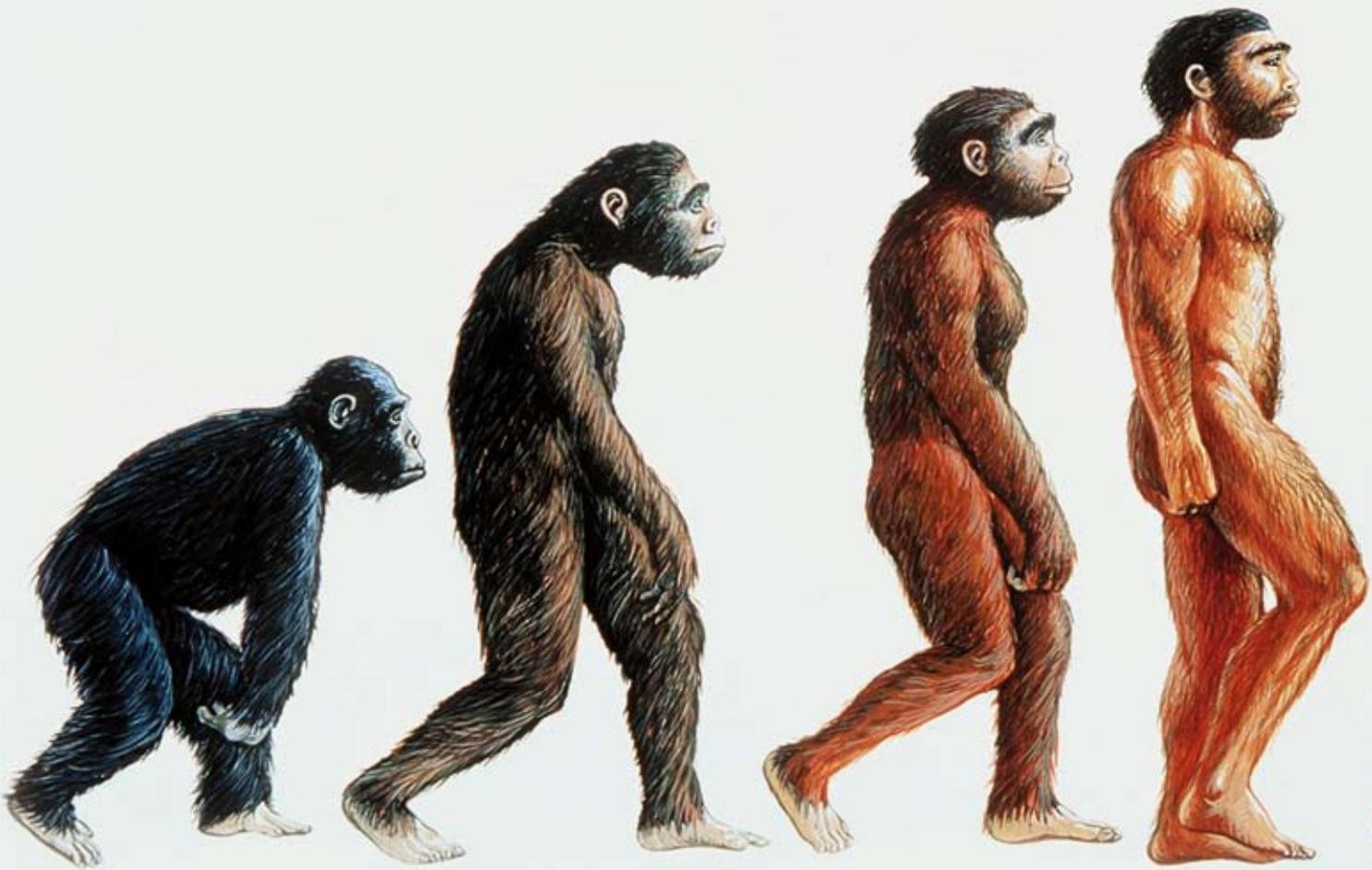
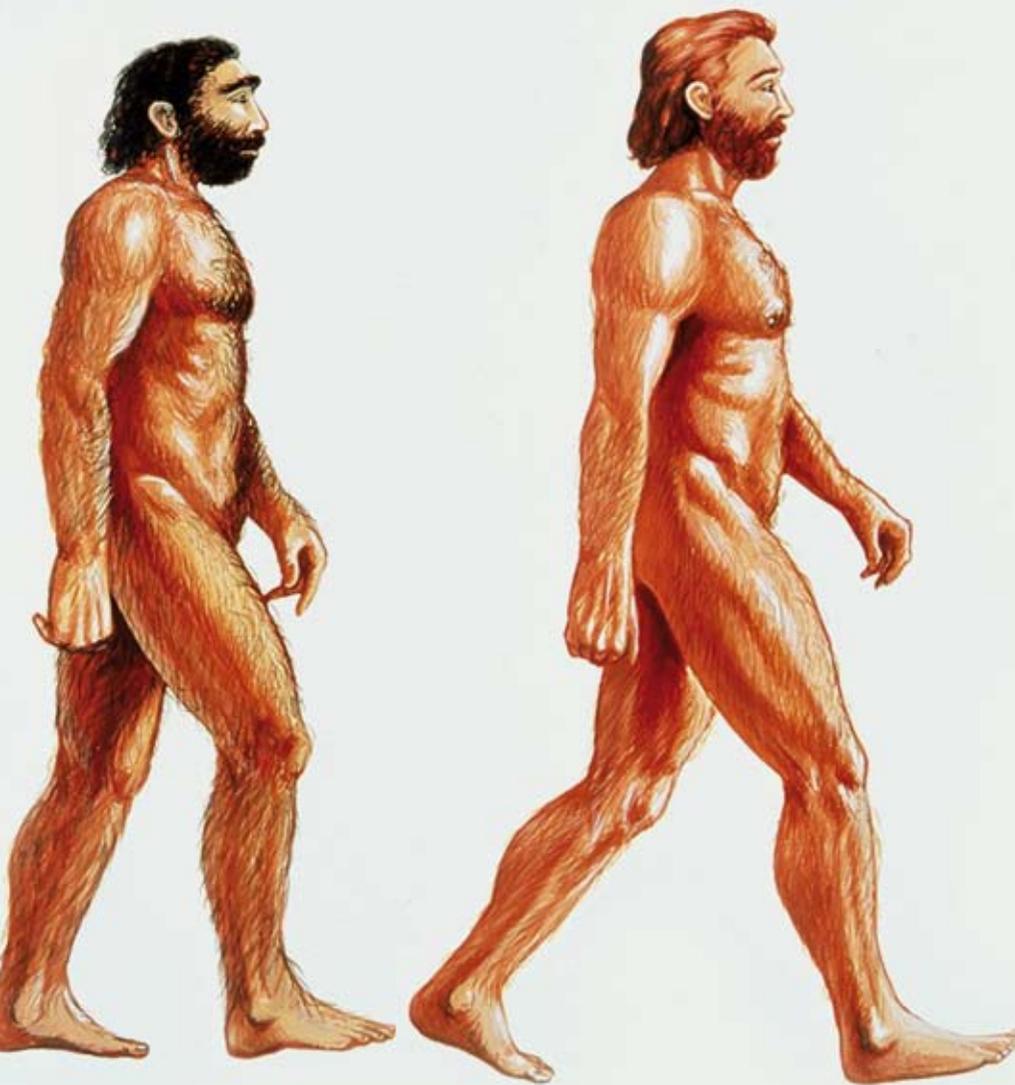


DARWIN, LA (R)ÉVOLUT



ION CONTINUE

KEYSTONE



Il y a cent cinquante ans, Charles Darwin publiait sa théorie de l'évolution au moyen de la sélection naturelle sans connaître les lois de l'hérédité ni l'existence des gènes

L'application des thèses émises par le savant anglais aux sociétés humaines a donné naissance ces dernières décennies à une discipline, la psychologie évolutionniste, qui postule que la psychologie est, elle aussi, soumise aux mécanismes de la sélection naturelle

En privant l'homme de sa position centrale dans la création, Darwin a provoqué une révolution morale. Dernière et redoutable trouvaille des créationnistes, le «dessein intelligent» est présenté comme une alternative à la théorie de l'évolution

Dossier réalisé par Anton Vos et Vincent Monnet

«NOUS CHERCHONS DU SENS LÀ OÙ IL N'Y EN A PAS»

Cent cinquante ans après sa publication, l'œuvre de Darwin reste la seule théorie scientifique reconnue dans le domaine des sciences du vivant. Directeur du pôle de recherche national «Frontiers in Genetics», Denis Duboule revient sur la genèse et la postérité d'une thèse qui n'a pas fini de faire parler d'elle



FRANÇOIS SCHAEER
Denis Duboule

Campus: Dans quelle mesure les travaux de Darwin marquent-ils une rupture dans l'histoire des sciences?

Denis Duboule: Les travaux de Darwin représentent une contribution majeure à la science. Le savant anglais propose une théorie

qui explique l'ensemble des mécanismes qui guident l'organisation du vivant. Cela reste d'ailleurs la seule théorie scientifique reconnue dans le domaine des sciences du vivant. Darwin ne savait pas ce qu'était un gène. Il élabore sa théorie avant la redécouverte des lois de Mendel. Ses intuitions sont d'autant plus phénoménales que chaque point sur lequel il butait à l'époque s'est avéré être une question essentielle qu'il a fallu beaucoup de temps pour résoudre.

Que dit-il de nouveau?

En s'appuyant notamment sur l'exemple des pinsons des Galapagos, dont la forme du bec varie selon le milieu, Darwin constate que les animaux sont parfaitement adaptés à leur environnement. Pour expliquer ce résultat, il postule que seuls les individus étant le mieux adaptés aux ressources présentes sont parvenus à survivre dans un endroit donné. C'est à partir de ces éléments que naît l'idée de la sélection naturelle.

Darwin n'a pas élaboré sa théorie à partir du néant. Quels sont les auteurs qui ont influencé sa pensée?

Le plus important est sans nul doute Jean-Baptiste de Lamarck, auteur du plus grand traité sur les invertébrés de l'époque. Dès 1800, le naturaliste français impose le concept du transformisme. Son idée est que les animaux ne sont pas apparus par génération spontanée, mais qu'il existe une continuité entre les différentes espèces ayant survécu. Lamarck estime également que l'environnement a un effet directif sur l'évolution. Autrement dit, un animal qui va essayer toute sa vie d'attraper une feuille haut perchée va finir par voir son cou s'allonger. Darwin, qui n'est pas

biologiste de formation, reprendra une large partie de ces éléments pour construire sa théorie. Le problème est que l'héritage de Lamarck, qui est pourtant capital, a été totalement évacué par les successeurs de Darwin. Les Anglo-Saxons sont parvenus à réaliser une sorte de hold-up dans ce domaine parce qu'à mon sens, les travaux de Lamarck sont au moins aussi importants que ceux de Darwin. Je dirais même que c'est la contribution de Lamarck qui est aujourd'hui démontrée de la façon la plus rigoureuse et non celle de Darwin.

Biographie express

1809: Naissance de Charles Darwin à Shrewsbury en Angleterre

1831: Début du voyage autour du monde à bord du *Beagle* qui l'emmène au Brésil, Argentine, Terre de Feu, Chili, îles Galapagos, Nouvelle-Zélande, Australie, îles Cocos et Le Cap.

1836: Retour à Plymouth.

1839: Mariage avec sa cousine Emma Wedgwood

1859: Publication de «L'Origine des espèces au moyen de la sélection naturelle»

1882: Mort à Downe en Angleterre

Darwin s'est-il appuyé sur d'autres auteurs?

En 1798, Thomas Robert Malthus, un pasteur anglican, publie *Essai sur le principe de population*, ouvrage qui connaît un immense succès et déclenche de nombreuses polémiques. Sa thèse repose sur l'idée que la progression démographique est plus rapide que l'augmentation des ressources, d'où une paupérisation de la population. Les anciens régulateurs démographiques (les guerres et les épidémies) ne jouant plus leurs rôles, il imagine de nouveaux obstacles, comme la limitation de la taille des familles et le recul de l'âge du mariage. Darwin, qui a lu Malthus, n'a fait qu'appliquer ce raisonnement à la biologie et ce qu'on appelle le darwinisme social n'est en fait rien d'autre qu'une relecture des thèses de Malthus. Darwin le dit lui-même, d'ailleurs.

Concrètement, comment passe-t-on d'une espèce à une autre?

Pour qu'une mutation soit maintenue, il faut qu'elle se distribue dans une population donnée. Mais si le nombre d'individus est très im-

portant, la mutation est diluée et elle se perd. L'avantage évolutif qui résulte de ce changement doit donc être soit suffisamment massif pour s'imposer, soit apparaître dans un groupe relativement restreint et isolé, ce qui est le cas pour les pinsons des Galapagos, par exemple. A l'intérieur de ce cadre, différents scénarios sont toutefois envisageables.

Lesquels?

La sélection par le milieu, proposée par Darwin est incontestée. Mais là où les grands défenseurs de Darwin ont tort, à mon sens, c'est qu'ils ont introduit une vue essentiellement gradualiste de l'évolution qui veut que ses différentes étapes aient été franchies de manière très progressive, par petites différences et sur une durée s'étalant sur des centaines de millions d'années. Ce schéma gradualiste convient très bien à des organismes relativement simples comme les bactéries, mais plus on monte dans l'échelle de la complexité du vivant, plus cette explication rencontre quelques limites.

Quels sont les éléments en faveur du gradualisme?

Les défenseurs de la sélection naturelle pure et dure sont convaincus qu'il existe une continuité parfaite dans l'évolution. Ils estiment que les différences qui sont aujourd'hui perceptibles entre les espèces paraissent importantes parce que les espèces intermédiaires ont disparu. Dès lors, la question est de savoir où elles sont passées, puisqu'on ne retrouve pas de fossiles. On peut accepter l'idée, somme toute assez logique, que cette absence tient au fait que les fossiles restent des objets rares, même pour les espèces très répandues. Il n'est donc pas vraiment étonnant que l'on n'en trouve pas pour les organismes qui ont vécu moins longtemps et en moins grand nombre.

Cette explication n'est toutefois pas partagée par l'ensemble de la communauté scientifique...

En effet, certains auteurs défendent plutôt l'idée que ces fameux «chaînons manquants» sont introuvables, tout simplement parce

qu'ils n'ont jamais existé. Cela voudrait dire que certaines transitions se sont faites de manière plus globale et plus abrupte que les puristes de la sélection naturelle ne le pensent. Cela ressemble à ce que Stephen Jay Gould a appelé les équilibres ponctués. Selon lui, la vitesse de l'évolution varie dans la durée: il y a des périodes de stabilité qui peuvent durer des millions d'années, puis des phases d'accélération durant lesquelles les choses changent beaucoup plus rapidement.

Quels sont les apports de la biologie moléculaire à ce débat?

Pour ce qui est des animaux complexes en tout cas, il est très difficile de concilier ce que l'on sait aujourd'hui de l'ADN et des mécanismes de régulation des gènes avec une théorie purement gradualiste. Depuis la fin des années 1980, il est en effet établi qu'aucune partie du corps ne dépend d'un gène spécifique. L'apparition d'une trompe chez l'éléphant ou l'allongement du cou de la girafe ne sont pas causés par un gène en particulier, mais dépendent d'une série d'éléments qui font partie d'un ensemble. Cela signifie que l'on ne peut pas changer drastiquement une partie du corps d'un être vivant sans modifier radicalement l'organisme concerné. De ce point de vue, le fait que nos gènes soient redondants constitue une sorte de bombe à retardement.

Dans quelle mesure?

Certaines mutations restent longtemps invisibles car il existe des solutions de rechange dans l'appareil génétique. Puis, lorsque celles-ci sont épuisées, il se produit un changement qui peut être radical. Autrement dit, il est possible qu'au sein d'une population de nombreux individus accumulent des mutations qui vont la rendre globalement instable sur le plan génétique. A un moment donné, le dernier verrou peut sauter chez plusieurs individus, ce qui pourrait aboutir à la création d'une nouvelle espèce, pour autant bien sûr que le milieu le permette.

Quelle est l'ampleur des changements que peut provoquer l'évolution? ▶

De Darwin au génome

1865: Le moine autrichien Gregor Mendel découvre les lois de l'hérédité en étudiant des pois comestibles. Il établit que les «facteurs» déterminant chaque caractère héréditaire se trouvent en deux versions chez tous les individus, mais qu'une seule d'entre elles est transmise à la descendance.

1869: Le biologiste suisse Friedrich Miescher isole une substance riche en phosphore dans le noyau des cellules, qu'il nomme nucléine. Elle sera identifiée plus tard comme étant l'ADN.

1882: Le biologiste allemand Walther Flemming décrit la division cellulaire (mitose) et découvre par la même occasion les chromosomes qui se sont condensés dans le noyau. Aucun lien n'est fait entre ces structures et l'hérédité.

1900: Les botanistes néerlandais Hugo de Vries, allemand Carl Correns et autrichien Erich von Tschermak-Seysenegg redécouvrent de façon indépendante les lois de Mendel.

1909: Le botaniste danois Wilhelm Johannsen invente le terme de gène. Il est également le premier à parler de génotype et de phénotype.

1911: Le généticien américain Thomas Morgan démontre l'existence des mutations grâce à une mouche drosophile aux yeux blancs. Il montre que les chromosomes sont les supports des gènes.

1943: A l'aide de la diffraction au rayon X, le physicien anglais William Astbury découvre que l'ADN possède une structure régulière et périodique.

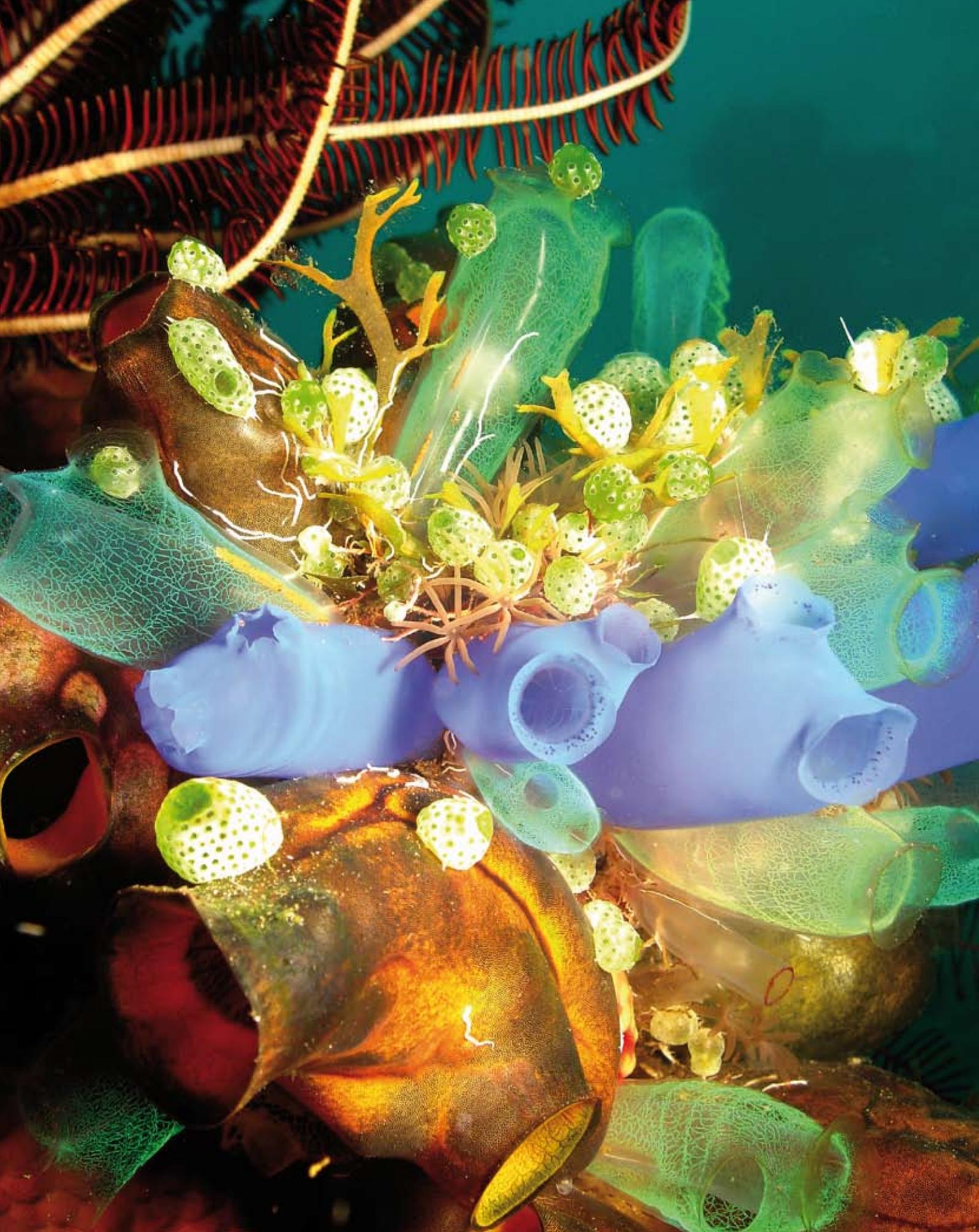
1944: Les généticiens américains Oswald Avery, Colin MacLeod et Maclyn McCarty démontrent que l'ADN est le matériel dont sont fabriqués les gènes et les chromosomes et que cette molécule est le support de l'hérédité. Jusque-là, la plupart des scientifiques pensaient encore que l'hérédité était portée par les protéines.

1953: Grâce à des images de diffraction aux rayons X prises par la biophysicienne anglaise Rosalind Franklin, les biologistes américains James Watson et britannique Francis Crick découvrent que l'ADN possède une structure en forme de double hélice.

1961: Crick et des collègues démontrent que les acides aminés (dont sont composées les protéines) sont codés par des groupes de trois bases d'ADN (un codon).

1961: Le généticien américain Marshall Nirenberg déchiffre le premier codon qui correspond à l'acide aminé phénylalanine.

2003: Le génome humain est entièrement séquencé.



Les tuniciers, ou urocordés, sont des animaux qui se résument, au stade adulte, à un sac rempli d'eau ancré à une roche. L'organisme, muni de deux siphons, contient un tube digestif et des organes de reproduction. On reconnaît leur apparentement aux vertébrés lorsqu'ils sont encore au stade larvaire. Ils ressemblent alors à des têtards qui se meuvent librement. A un certain moment de son développement, la larve de tunicier fixe sa tête sur un support, perd sa queue et la plus grande partie de son système nerveux, et demeure ainsi jusqu'à la fin de sa vie.

Une des règles de base du vivant est que la nature ne peut pas produire n'importe quoi. Si l'on s'en tient à l'homme, le nombre de monstruosité est, par exemple, relativement restreint. On retombe toujours sur les mêmes: un pied ne pousse jamais à la place d'une main et inversement. Cela signifie que le schéma de construction d'un organisme vivant est tel que les possibilités sont limitées. Or cette notion de contrainte, venue non pas de l'environnement extérieur, mais de l'intérieur de nous-même, du plan de construction inscrit dans nos gènes, est quelque peu absente des textes de Darwin.

A-t-on donné une importance excessive aux écrits de Darwin?

C'est surtout la façon dont cette théorie a été utilisée qui est sujette à discussion. Il ne faut pas se tromper de cible. Darwin (et son collègue Wallace oublié) a eu le génie de voir juste. Cependant, aujourd'hui, énormément de choses sont considérées comme des adaptations, alors qu'elles n'en sont pas nécessairement. Les faux yeux qui se trouvent sur les ailes des papillons, par exemple, sont souvent situés aux extrémités des ailes. Il existe toute une mythologie pour expliquer leur utilité pour attirer les femelles ou pour éloigner les prédateurs. Mais dans les faits, ces explications sont très difficiles à démontrer.

Comment expliquez alors la présence de ces faux yeux?

Leur apparition pourrait très bien être le résultat d'un processus aléatoire. On peut tout à fait imaginer que l'aile du papillon soit construite de telle sorte qu'à un moment donné, il y ait un effet collatéral: dans le but d'avoir une bonne aile, on est obligé d'y mettre des yeux parce que telle voie de signalisation a un promoteur qui répond à telle protéine. C'est une idée qui n'est pas facile à accepter parce que l'on est convaincu que toute évolution doit posséder une valeur adaptative. Or ce n'est pas le cas. Et si notre main possède cinq doigts, ce n'est pas parce que c'est la meilleure solution, mais parce que c'est celle qui a été retenue. Notre erreur tient au fait que nous cherchons du sens là où il n'y en a pas.

«Une des règles de base du vivant est que la nature ne peut pas produire n'importe quoi. Un pied ne pousse jamais à la place d'une main et inversement»

L'évolution n'est donc pas un chemin linéaire conduisant du plus simple au plus compliqué?

Pas forcément. Certains organismes marins qui nous sont très proches, tels que les urocordés ont une vie larvaire qui ressemble beaucoup à celle d'un poisson, mais en se développant, cet organisme ne cesse de se simplifier pour aboutir à un individu adulte qui n'est plus qu'un tube accroché à un rocher. L'évolution peut aussi aller vers le plus simple.

Un des arguments souvent avancés par les créationnistes pour démontrer que l'évolution n'est pas une science est que la théorie de Darwin n'est pas démontrable. Est-ce exact?

Oui, car pour prouver formellement cette théorie, il faudrait être en mesure de remonter jusqu'à l'animal ancestral qui serait au début de la chaîne. Or cet animal n'existe plus. Toutes les espèces qui existent actuellement ont en effet évolué en même temps que nous, c'est pourquoi les singes ne sont pas nos ancêtres, mais nos cousins. En outre, même si on admettait que cet être ancestral existe et qu'on parvienne à le transformer en être humain, cela ne suffirait pas à démontrer que c'est comme cela que les choses se sont passées, mais uniquement qu'il est possible qu'elles se soient passées comme cela. Cela dit des faits innombrables démontrent la véracité de la théorie de l'évolution, ce qui en fait une science et non pas une religion. On peut toujours discuter de la manière dont cela s'est passé exactement, mais on sait que cela s'est passé, et sans l'aide de quiconque. ■

LIRE L'ÉVOLUTION DANS LES GÈNES

Charles Darwin a développé sa théorie de l'évolution au moyen de la sélection naturelle sans connaître les lois de l'hérédité et encore moins l'existence des gènes. Les découvertes réalisées en biologie moléculaire ont pour l'essentiel confirmé l'intuition du savant anglais

Vers la fin de sa vie, Charles Darwin a imaginé une théorie qui peut sembler aujourd'hui bien curieuse: Les organismes des êtres vivants seraient, selon lui, remplis de «gemules». Ces dernières, présentes dans tous les organes, se rassembleraient dans les parties génitales au moment de la reproduction pour transmettre les caractéristiques de l'individu à sa descendance. Il s'agit là, de la part du naturaliste britannique, d'une tentative – manquée – d'expliquer le phénomène de l'hérédité, une des pierres angulaires de sa théorie de l'évolution. Malgré ses efforts d'imagination, la transmission des caractères physiques d'une génération à l'autre est restée pour lui un mystère jusqu'à la fin de sa vie. Cela dit, on ne peut guère le lui reprocher: La génétique n'existait pas encore en ce temps-là et les lois de l'hérédité de Gregor Mendel, bien que découvertes en 1865, n'étaient encore connues de personne.

TOUR DE FORCE

Ce «raté» scientifique ne donne que plus de prestige à sa grande réussite, l'explication de l'évolution des espèces au moyen de la sélection naturelle. Sans rien connaître des gènes ni de l'ADN, Darwin a en effet réussi le tour de force d'élaborer une théorie qui demeure valable aujourd'hui, moyennant quelques légers remaniements. Mieux: les découvertes réalisées en biologie moléculaire n'ont fait que confirmer l'intuition du savant anglais. A tel point que l'on peut, aujourd'hui, «lire l'évolution dans les gènes», comme l'affirme le biologiste Jean-Michel Gibert.

Bien que sceptique au début de sa vie, Darwin a fini par être convaincu par le

«transformisme». Cette théorie, proposée bien avant lui par le naturaliste français Jean-Baptiste de Lamarck, affirme que les espèces ne sont pas immuables, mais issues d'autres espèces et peuvent elles-mêmes donner naissance à de nouvelles. Si ce raisonnement est

correct, en remontant mentalement le temps – ce que le savant anglais n'a pas manqué de faire –, on devrait rencontrer les ancêtres communs à de plus en plus d'animaux, de plantes, etc., jusqu'à finalement tomber sur l'aïeul ultime, père (ou mère) de toutes les formes de vie. Autrement dit, tous les organismes de la Terre sont apparentés.

Cette intuition a été confirmée par la découverte de la molécule d'ADN

et du code génétique, que se partagent tous les organismes vivants que l'on connaisse. L'hypothèse d'une origine commune a été renforcée par le fait que certains gènes se retrouvent presque à l'identique dans des espèces très éloignées les unes des autres.

«C'est le cas notamment d'un gène appelé «engrailed» dont une des fonctions est d'indiquer aux cellules où elles se trouvent et ce qu'elles doivent faire, précise Jean-Michel Gibert. Ce gène a été identifié initialement chez la mouche, mais on retrouve des homologues chez de nombreuses espèces de vertébrés. Suivant les espèces, les gènes de la famille engrailed sont utilisés pour construire des structures différentes. Certains animaux en possèdent même deux, voire quatre exemplaires, mais la séquence des protéines codées par ces gènes est presque identique sur certaines portions.»

Les différentes versions d'«engrailed» sont même en partie interchangeables. Les chercheurs ont ainsi remplacé celui d'une souris, par son homologue de la mouche,



Les corneilles d'Europe ont été séparées en deux populations lors de la dernière glaciation. Deux espèces distinctes ont émergé, la corneille noire vivant à l'ouest (à gauche) et la corneille mantelée vivant à l'est (à droite). Avec la disparition des glaces il y a 10 000 ans, les deux espèces se sont rencontrées de nouveau le long d'une frontière – mouvante – qui traverse l'Europe du nord au sud et passe actuellement par la ville de Vienne. Des hybrides naissent régulièrement, mais semblent moins adaptés à la reproduction et ne donnent que peu de descendance.

deux animaux qui sont pourtant séparés par plus de 500 millions d'années d'évolution. Le rongeur transgénique issu de cette manipulation s'est développé bien mieux qu'un

JEAN-MICHEL GIBERT, assistant au Département de zoologie et de biologie animale, Faculté des sciences

animal dont le gène a été rendu carrément inopérant, ce qui montre que la fonction moléculaire du produit du gène est remarquablement conservée.

Darwin constate aussi que les individus d'une même population présentent de légères variations morphologiques. Cette observation possède, elle aussi, un fondement moléculaire. Les génomes que l'on rencontre au sein d'une même espèce ne sont en effet jamais identiques. Ils comportent de petites variations dues

vrons jaunes présentent en fait une mutation touchant un gène particulier dont le produit est requis pour synthétiser des pigments rouges à partir de pigments jaunes.»

Quand les mutations touchent un gène dit régulateur, elles peuvent exercer une influence sur le programme de développement d'un organisme. «En principe, une fleur se compose, en partant de l'extérieur, de sépales, de pétales, d'étamines puis de carpelles, poursuit Jean-Michel Gibert. Lorsque le fon-

ctionnement de certains gènes est altéré, le plan de construction de la fleur peut se modifier et donner une séquence de type: sépales, pétales, pétales et de nouveau sépales. De telles mutations ont été sélectionnées (sans le savoir) par les jardiniers car elles produisent des fleurs possédant plus de pétales, donc plus de couleurs.»

Les variations sur ce thème sont innombrables, comme le montre la diversité de formes et de couleurs qui se rencontrent parfois au sein d'une même espèce (l'être humain ne faisant pas exception). «Concrètement, toutes les différences moléculaires que l'on observe entre les espèces étaient au départ de simples variations naturelles au sein d'une même population, poursuit Jean-Michel Gibert. Au fil du temps, certaines de ces

mutations peuvent augmenter en fréquence parmi l'ensemble des individus jusqu'à se «fixer» et devenir ainsi la caractéristique d'une nouvelle espèce.»

SÉLECTION NATURELLE

Le processus de fixation dépend beaucoup de la démographie, c'est-à-dire de la taille des populations, de leur structure, de leur possible isolation, des mouvements de migration ou encore de la dérive génétique (certaines mutations peuvent se fixer dans une population, mais pas dans une autre, par le simple fait ►



JEAN-MICHEL GIBERT

à des mutations qui surviennent de temps en temps dans l'ADN et qui se transmettent à la descendance.

La plupart du temps, ces mutations n'entraînent pas de conséquences visibles. C'est quand elles touchent, par hasard, une partie importante d'un gène qu'elles peuvent être traduites par des changements perceptibles, certains plus spectaculaires que d'autres.

«La couleur naturelle d'un poivron est rouge, mais il en existe aussi des jaunes dans les étals des supermarchés, note Jean-Michel Gibert. Les poi-

L'évolution selon Darwin

La théorie de l'évolution des espèces au moyen de la sélection naturelle peut se résumer ainsi: il existe des variations entre individus d'une même espèce et ces variations sont, au moins en partie, transmissibles de génération en génération. Cependant, les ressources (l'espace ou la quantité de nourriture, par exemple) du milieu où habite cette espèce sont limitées. Seule une fraction des individus d'une génération contribueront donc à la création d'une nouvelle. Ceux qui possèdent des caractéristiques avantageuses en fonction de l'environnement dans lequel ils vivent contribueront plus à la reproduction que les autres. La variation qui leur octroie cet avantage deviendra donc plus fréquente dans la population de la génération suivante.

du hasard). Une nouveauté évolutive se répandra et s'imposera en effet plus facilement et rapidement si elle survient dans une population de petite taille et génétiquement isolée.

A cela s'ajoute le mécanisme que Darwin a introduit, et qui fait office de loi en biologie: la sélection naturelle. Le plus apte aura davantage de chances qu'un autre de se reproduire et de transmettre ses gènes à la descendance. Ainsi, la pression du milieu choisit, génération après génération, les plus adaptés, et les caractéristiques qu'ils véhiculent détermineront l'avenir de l'espèce.

«Il existe une protéine qui a été très étudiée, note Jean-Michel Gibert. Il s'agit du récepteur de la mélanocortine 1, qui est impliqué dans la pigmentation. Si ce récepteur reçoit un certain signal,

individus naissent roux et d'autres noirs. Des chercheurs ont identifié deux populations de ce rongeur vivant chacune sur un substrat rocheux différent, le premier étant foncé, le second clair. Comme les principaux prédateurs sont des oiseaux de proie, la sélection a vite effectué son travail. Sur la roche noire n'ont survécu que les rongeurs de la même couleur. Idem sur la roche claire.

UN ENVIRONNEMENT SUBTIL

Le lien n'est cependant pas toujours aussi direct entre le gène et l'apparence de l'individu. L'environnement non seulement sélectionne les gènes, mais parfois influence aussi leur rôle. Le chat siamois en est une célèbre illustration. Ces animaux devraient être tout

Un gène peut être impliqué dans plusieurs processus et un processus particulier implique en général plusieurs gènes

de notre régime alimentaire. Le lièvre variable, dont le pelage change de couleur en hiver, ne change pas de génome à l'intersaison. C'est en fait la lumière qui influence, indirectement, l'expression de certains gènes. Ce sont aussi des stimuli venus de l'environnement qui agissent sur les hormones impliquées dans la reproduction et qui rythment les cycles biologiques annuels par exemple. Certaines plantes produisent plus ou moins de graines selon les conditions climatiques, etc.»

De manière subtile, l'environnement en arrive donc à sélectionner des caractères qui sont plus ou moins sensibles aux variations de ce même environnement. De plus, des changements de l'environnement peuvent rendre beaucoup plus visible l'effet de certaines mutations. Les possibilités d'évolution décuplent, ce que Darwin n'avait pas vraiment prévu.

LES LIMITES DE LA SÉLECTION

Cependant, malgré la riche diversité qu'elle a réussi à engendrer, la sélection naturelle ne peut pas tout. Les gènes ne fonctionnent pas tout seuls, mais en réseau. Un gène peut être impliqué dans plusieurs processus et un processus particulier implique en général plusieurs gènes. Le moindre changement peut donc avoir des conséquences multiples et c'est pourquoi certaines spécificités ne semblent plus pouvoir changer. C'est le cas par exemple du nombre de vertèbres cervicales chez les mammifères. Elles sont au nombre de sept, que ce soit chez la baleine ou la girafe. Ce nombre n'a pas changé depuis des dizaines de millions d'années d'évolution. Et lorsqu'il est différent (cela a été observé sur des fœtus et des enfants humains mort-nés), il est toujours associé à de nombreux et graves effets secondaires. C'est pourquoi une telle variation n'est plus sélectionnée. ■



Ce poisson, appartenant au genre «Astyanax», fait partie d'une population qui s'est retrouvée à un moment de son histoire isolée dans des grottes privées de lumière. Afin de pouvoir s'orienter et se nourrir, ces animaux ont alors développé leur odorat et leur goût. Il se trouve que certains gènes impliqués dans ces sens le sont aussi dans la fabrication des yeux. En favorisant l'odorat et le goût, ces mêmes gènes ont tendance à inhiber le développement des organes de la vision. C'est pour cette raison, à laquelle il faut ajouter le relâchement de la sélection naturelle sur le bon fonctionnement de la vision devenue inutile, que les yeux ont fini par disparaître complètement.

il transmet à la cellule l'ordre de synthétiser de la mélanine noire. S'il n'est pas activé ou non fonctionnel, la cellule fabrique, par défaut, de la mélanine rousse. Les variations de couleurs au sein de plusieurs espèces dépendent de ce gène.»

Des variants de ce récepteur jouent un rôle essentiel dans l'adaptation d'un petit rongeur habitant dans le sud des Etats-Unis. Chez cette sorte de souris, le gène existe sous plusieurs versions avec comme résultat que certains

noir, mais une enzyme impliquée dans la synthèse du pigment noir porte une mutation qui la rend sensible à la température. Résultat: elle fonctionne bien dans les extrémités plus froides, qui sont noires, mais pas dans les parties chaudes du corps, qui se colorent en beige.

«Cette interaction de l'environnement avec le fonctionnement des gènes existe partout, précise Jean-Michel Gibert. Notre taille, poids et forme du corps dépendent de nos gènes, mais également

JEAN-MICHEL GIBERT

«LE CRÉATIONNISME A DÉBARQUÉ EN EUROPE»

Dernière et redoutable trouvaille des créationnistes, le «dessein intelligent» est présenté comme une alternative à la théorie de l'évolution. Arrivé en 2008 à Genève, le professeur Michel Milinkovitch a récemment donné une conférence sur le sujet



Michel Milinkovitch

Campus: Qu'est-ce que le «dessein intelligent»?

Michel Milinkovitch: Il s'agit d'un habillage moderne du créationnisme classique. Le discours traditionnel, qui consiste à dire que la Terre et le reste de l'univers

ont été créés il y a 6000 ans, que l'être humain et toutes les espèces vivantes sont immuables et que l'évolution n'existe pas, est de moins en moins tenable aux yeux du public. Les créationnistes ne peuvent pas continuer à prétendre que ces grands reptiles ont disparu parce qu'ils étaient trop gros pour entrer dans l'Arche de Noé (je n'invente rien, cette explication a été avancée par certains créationnistes américains). Face à l'érosion de leur mouvement, certains créationnistes ont donc tenté de draper leur croyance dans un manteau scientifique. Ainsi, les partisans du «dessein intelligent» acceptent l'idée d'une forme d'évolution, mais prétendent que celle-ci est dirigée par un être surnaturel car, selon eux, des causes naturelles ne peuvent expliquer la complexité du vivant. Un créateur serait donc nécessaire pour donner à la nature le coup de pouce indispensable pour fabriquer un œil ou un flagelle. Le «dessein intelligent» est présenté comme une hypothèse scientifique alternative à la «théorie synthétique de l'évolution» (qui intègre, en gros, les lois de Mendel, la théorie de Darwin

et un siècle de biologie moléculaire). C'est là que réside l'imposture: le «dessein intelligent» ne peut en aucun cas être considéré comme une hypothèse scientifique.

Pourquoi?

La science s'évertue à expliquer les phénomènes que l'on observe à l'aide de mécanismes naturels. En faisant appel à un être surnaturel, le «dessein intelligent» sort de facto du cadre de la science. En effet, une hypothèse est dite scientifique seulement si elle est prédictive et falsifiable, c'est-à-dire que l'on peut imaginer une expérience dont le résultat pourrait démontrer qu'elle est fautive. Il arrive d'ailleurs souvent que des expériences ou observations scientifiques contredisent les théories du moment, celles-ci devant alors être modifiées, corrigées ou parfois, mais c'est plus rare, complètement abandonnées. Aucune hypothèse basée sur l'exis-

tence d'un être surnaturel ne répond à ces exigences. On ne peut pas imaginer une expérience potentiellement capable de démontrer qu'un tel être surnaturel n'existe pas. Tout débat sur la question de savoir si le dessin intelligent est une hypothèse scientifique devrait en principe s'arrêter à ce stade.

Est-ce que la théorie de l'évolution des espèces est falsifiable?

Oui, bien sûr. On peut sans problème imaginer une expérience dont le résultat est capable de mettre en défaut cette théorie. Les biologistes passent d'ailleurs leur temps à essayer de trouver ce qui est incomplet dans

la théorie synthétique de l'évolution. Si un paléontologue découvrait, par exemple, un fossile de dinosaure (qui ont tous disparu il y a 65 millions d'années) dans les mêmes strates géologiques qu'un fossile d'australopitèque (qui n'est apparu que 60 millions d'années plus tard), il démontrerait que l'évolution des espèces telle qu'on la conçoit aujourd'hui est complètement fautive. Mais, bien entendu, personne n'en a trouvé. C'est plutôt le contraire qui arrive car la théorie de l'évolution a une valeur prédictive. On sait ►

«Le «dessein intelligent» ne peut en aucun cas être considéré comme une hypothèse scientifique»

«Aucun biologiste ne prétend que l'évolution ne dépend que du hasard»

par exemple depuis longtemps que des couches géologiques d'un certain âge ne renferment que des fossiles de poisson tandis que, dans des strates plus jeunes, on trouve les premiers animaux avec des pattes. Récemment, le biologiste américain Neil Shubin s'est dit qu'une couche située entre les deux âges devait logiquement contenir des fossiles d'une forme de vie intermédiaire qui manquaient encore aux paléontologues. Ils ont cherché un affleurement raisonnablement accessible (dans le Grand Nord canadien) et s'y sont rendus en 2004 pour fouiller. Et ils ont trouvé le Tiktaalik roseae, un organisme intermédiaire entre les poissons et les vertébrés terrestres ayant vécu il y a 375 millions d'années.

Contrairement à ce que croient les créationnistes, les dinosaures ont disparu il y a 65 millions d'années, probablement des suites d'une chute d'une météorite géante dans le golfe du Mexique. Ils n'ont donc jamais pu côtoyer l'être humain. Les seuls représentants de la lignée des dinosaures encore vivants aujourd'hui sont les oiseaux dont les plumes sont apparues au départ pour résoudre des problèmes de régulation thermique. Ce n'est que bien après qu'elles ont servi pour le vol.

Le principal argument du «dessein intelligent» est celui de l'irréductible complexité. De quoi s'agit-il?

Quelle que soit la manière dont les tenants du «dessein intelligent» présentent les choses, leur discours se résume en effet toujours à cet ancien argument que le philosophe britannique William Paley a énoncé en 1802: tout comme il existe un horloger pour la montre, il existe un Grand Horloger pour la vie. En d'autres termes, il est impossible d'imaginer qu'un œil, qu'une aile d'oiseau ou même qu'un flagelle de bactérie soient apparus par hasard. Ce sont des structures beaucoup trop complexes, aux yeux des créationnistes. En enlevant une seule de leurs composantes, l'ensemble (comme la montre) perd sa fonction, ajoutent-ils. Il n'y a donc pas d'intermédiaires possibles, ce qui implique que l'évolution est fautive, etc. En fait, il s'agit là d'une manipulation du discours scientifique. Aucun biologiste ne prétend que l'évolution ne dépend que du hasard. S'il n'y avait que lui, ce serait comme si je vous demandais de trouver, par déplacement aléatoire, une étoile précise dans l'univers. Etant donné le nombre gigantesque d'étoiles, il vous faudra un temps infini avant d'éventuellement tomber dessus.

Ce qui revient à dire que c'est impossible.

En effet. Mais si j'introduis dans l'exercice un mécanisme de sélection, le jeu se modifie grandement. Admettons qu'à chaque étoile que vous proposez, je précise si vous vous rapprochez de la cible ou non, vous allez trouver le bon astre beaucoup plus vite. Car à chaque étape, vous ne recommencez pas de zéro,

mais vous partez du niveau de connaissance acquis au stade précédent. Des simulations par ordinateur ont permis d'obtenir des résultats étonnants. Rien qu'avec deux mécanismes, le hasard et la sélection, l'informatique américain Karl Sims a réussi à générer très vite une complexité fascinante. Son logiciel, développé dans les années 1990 déjà, crée des créatures virtuelles aléatoires à partir de plots articulés dont certains peuvent être animés d'un mouvement. Des mutations au hasard engendrent des changements simples. Elles ajoutent un plot ici ou là, modifient leur taille ou leur mouvement. Le programme informatique accorde ensuite une probabilité de survie plus élevée aux créatures qui, par exemple, se déplacent le plus vite, augmentant ainsi leurs chances de donner une descendance qui subira à son tour des mutations aléatoires. Au départ, les performances des organismes virtuels sont mauvaises. Mais, très rapidement (après quelques centaines de générations), des formes extrêmement diverses et très performantes sont générées, dont certaines ressemblent à s'y méprendre à des êtres existants sur Terre (www.karlsims.com).



Les formes que l'on rencontre dans la nature apparaissent donc graduellement, par petites touches successives...

Bien entendu. Il s'agit d'un mécanisme majeur de l'évolution, même si des transformations plus drastiques – des sauts évolutifs – se sont aussi produites. Les créationnis-

tes affirment que l'œil de vertébré est d'une complexité irréductible. Mais c'est ignorer que l'on trouve dans le règne animal de nombreuses étapes intermédiaires possibles, depuis la surface plane tapissée de cellules photosensibles (une rétine en quelque sorte), en passant par la cupule photosensible

informant sur la direction de la lumière, jusqu'à l'œil plus complexe des vertébrés ou des céphalopodes comportant aussi une lentille (le cristallin). La complexité irréductible est une chimère issue du refus, sur des bases idéologiques, d'admettre l'émergence progressive, sur des millions ►

UN LABORATOIRE DÉD

Le Laboratoire d'évolution artificielle et naturelle (LANE) s'est installé à l'Université de Genève en 2008. Petit tour de ses principaux axes de recherche

d'années, de l'incroyable diversité – et complexité – des formes de vie peuplant notre planète.

Pensez-vous qu'il soit judicieux de débattre publiquement avec les créationnistes?

Je fais la différence entre un créationniste pur et dur et un tenant du «dessein intelligent». Le premier se place d'emblée en dehors de la science et parle de foi. A la fin de l'échange, il aura tendance à me bénir en regrettant de me voir emprunter la voie que j'ai choisie (la science). Même si un tel créationniste est dangereux, car il rejette la validité de la science au nom d'une idéologie, il n'est pas fondamentalement malhonnête. En revanche, à partir du moment où quelqu'un prétend que le «dessein intelligent» est une science, il est important d'être présent et de dénoncer l'imposture. Il est fondamental de réaliser cette séparation entre la foi et la science. Ce sont deux domaines de pensée séparés. C'est pour cette raison que l'on peut évidemment être un scientifique de haut niveau et croyant.

Le «dessein intelligent» vient des Etats-Unis où le débat entre la science et la religion est un classique. Est-ce que cette théorie s'implante aussi en Europe?

Oui, et elle représente une menace importante. Une enquête a été menée récemment dans des écoles bruxelloises et le résultat est catastrophique. En gros, un tiers des élèves (de 17 et 18 ans) interrogés considèrent que la théorie de l'évolution est en conflit partiel ou total avec leurs croyances. Ce chiffre monte à deux tiers si on ne considère que les élèves musulmans et protestants. Le résultat est le même concernant l'origine de l'homme: un tiers des élèves interrogés considèrent que l'être humain a été créé par Dieu, comme l'expliquent les textes sacrés. Le problème n'est donc pas confiné aux Etats-Unis. Il a clairement débarqué en Europe. ■

JESSIE COHEN



Le tenrec est un mammifère insectivore originaire de Madagascar. Il ressemble au hérisson de nos contrées, mais il en est séparé d'au moins 80 millions d'années d'évolution. Le tenrec est plus proche de l'éléphant que de son sosie européen. Malgré cela, l'évolution a choisi le même chemin et a transformé chez les deux animaux, de façon indépendante, les poils du dos en piquants. L'étude comparée des génomes et du développement embryonnaire de ces deux espèces est susceptible d'élucider les mécanismes sous-jacents.

L'arbre généalogique des êtres vivants. Ce volet des activités du LANE consiste à reconstruire l'arbre phylogénétique du vivant et à accrocher les branches aux bons endroits. En d'autres termes, il s'agit de déterminer le degré d'apparenté de toutes les espèces. L'analyse de l'ADN a permis d'avancer à grands pas dans ce domaine. C'est dans ce contexte que l'équipe de Michel Milinkovitch a découvert il y a quelques années, en collaboration avec des équipes japonaises et américaines, que les cétacés font partie des artiodactyles, c'est-à-dire les ruminants, les cochons, les lamas, etc. (lire la légende de la photo de la baleine ci-dessus). D'autres études ont notamment permis de

reconstruire l'histoire évolutive de différents caractères morphologiques et physiologiques dans des groupes aussi divers que des insectes et des amphibiens.

Génétique des populations et de la conservation. Les changements environnementaux, y compris ceux liés aux activités humaines, ont un impact majeur sur la biodiversité des écosystèmes. Le Laboratoire d'évolution artificielle et naturelle (LANE) étudie les mécanismes (mutations, sélection, migration...) et les contraintes historiques qui influencent l'évolution de la biodiversité. Par exemple, combien faut-il d'échanges d'individus entre

LIÉ À L'ÉVOLUTION



I-STOCK

Les plus proches parents des hippopotames encore en vie aujourd'hui sont les cétacés, c'est-à-dire les baleines, les dauphins ou encore les marsouins. Le porc, qui est un artiodactyle comme l'hippopotame, est un cousin plus éloigné, malgré les apparences. Cette découverte a pu être réalisée grâce aux données moléculaires, c'est-à-dire à l'analyse des génomes des différentes espèces. Pourtant une des premières théories, que Charles Darwin lui-même estimait plausible, rangeait les baleines comme des cousins de l'ours, avant de s'approcher des artiodactyles puis finalement d'y être carrément intégrés.

deux populations pour qu'elles deviennent génétiquement homogènes ou, au contraire, se différencient l'une de l'autre pour donner naissance à deux espèces différentes? Des analyses génétiques ont ainsi montré qu'une espèce de dauphins vivant sur les côtes pacifiques et atlantiques de l'Amérique du Sud est en réalité divisée en deux populations totalement isolées génétiquement. Contre toute attente, les dauphins péruviens vivent séparés de tous les autres, malgré une continuité géographique indéniable (la nature de la barrière qui les isole demeure non identifiée). Comme les cétacés péruviens souffrent d'une pêche excessive, ces résultats peuvent contribuer

de manière significative à la gestion de ces populations.

Le LANE a réalisé d'autres études qui ont notamment permis de caractériser la diversité et la structure génétique de populations de boas de la Jamaïque et de guider des programmes de gestion et de repeuplement de populations de tortues géantes et d'iguanes terrestres aux îles Galapagos.

Evolution-développement. Grâce aux mécanismes de mutation et de sélection, les chercheurs comprennent comment, par exemple, une population de papillons peut passer d'une majorité d'individus noirs à une majorité d'in-

Combien faut-il d'échanges d'individus entre deux populations pour qu'elles deviennent génétiquement homogènes ou, au contraire, pour donner naissance à deux espèces différentes?

dividus blancs. Il est plus ardu, en revanche, de saisir comment sont apparues des nouveautés évolutives comme les poils, les plumes, l'homéothermie, etc. Il est encore plus difficile de comprendre comment certains caractères peuvent se développer de manière répétée et indépendante dans des lignées évolutives différentes. Cette question peut s'étudier en faisant le lien entre l'évolution des caractères morphologiques et physiologiques des individus, de leur génome et de leur développement embryonnaire (lire la légende de la photo du tenrec ci-dessus). ■

www.lanevol.org

LE «DARWINISME SOCIAL» EST UNE CONTRADICTION

L'application de la théorie de l'évolution aux sociétés humaines a fait place ces dernières décennies à une discipline, la psychologie évolutionniste, qui postule que la psychologie est, comme la physiologie, soumise aux mécanismes de la sélection naturelle

«Le terme de darwinisme social est une étiquette donnée a posteriori à des idées parfois contradictoires et dont certaines sont antérieures à Charles Darwin.» Alexandre Mauron, professeur à l'Institut d'éthique biomédicale, rappelle que la notion de darwinisme social, bien que déjà mentionnée auparavant, n'a été popularisée qu'en 1944 par le livre de l'historien américain Richard Hofstadter, *Social Darwinism in American Thought*. Elle est présentée aujourd'hui comme une application de la théorie de l'évolution de Charles Darwin aux sociétés humaines. Mais en réalité, elle regroupe des théories assez diverses, n'ayant pas forcément de liens entre elles, élaborées par d'autres auteurs et qui ont souvent précédé la théorie de la sélection naturelle. Ce sont elles, et non pas la théorie de Darwin proprement dite, qui ont servi de justification scientifique aux programmes d'amélioration de la race (eugénisme) repris par les nazis.

Parmi ces idées, on peut noter celle du philosophe français Auguste Comte (1798-1857), pour qui il existe une loi générale régissant le progrès social que la science doit encore découvrir. On peut ajouter celle du révérend anglais Thomas Robert Malthus (1766-1834), qui a mis en garde contre les dangers de la démographie galopante et a milité pour la nécessité d'un contrôle de la croissance de la population.

On peut poursuivre avec le philosophe anglais Herbert Spencer (1820-1903), contemporain de Darwin, pour qui le progrès social est porté par des personnes dont le succès s'explique par le fait qu'ils sont mieux adaptés à leur cadre social que les autres. C'est ce qu'il ap-

pelle la sélection des plus aptes. Une vision que l'on pourrait aujourd'hui qualifier d'ultra-libérale et qui, entre autres, range la charité envers les plus pauvres dans la catégorie des comportements inutiles, voire nuisibles.

On peut finalement signaler le propre cousin de Darwin, Francis Galton (1822-1911), qui, avant même la parution de *L'Origine des espèces*, était préoccupé par l'amélioration de l'espèce humaine. Le chef-d'œuvre de son illustre parent ne fait que le renforcer dans ses convictions et Galton forge dans la foulée le terme d'eugénisme qu'il considère comme la «science de l'amélioration des lignées».

LIEN TÊNU

«Le lien entre Darwin et l'eugénisme ou le nazisme est très ténu, voire inexistant dans les faits, poursuit Alexandre Mauron. Si le naturaliste anglais a effectivement réfléchi à l'implication de la sélection naturelle dans la détermination de la nature humaine, il est parvenu à des conclusions totalement opposées. Pour lui, la sélection favoriserait plutôt les sentiments moraux et ce qu'il appelle la «sympathie». Une société dans laquelle les individus collaboreraient posséderait un avantage adaptatif évident sur une société ultra-compétitive.»

Charles Darwin était un personnage lucide et sceptique. Il ne voyait dans l'évolution aucune notion de progrès nécessaire. Il reprochait d'ailleurs à ceux de ses disciples les plus enthousiastes, trop empreints d'optimisme victorien, de voir dans ses travaux une théorisation du «progrès de la vie». Pour lui, la sélection naturelle est opportuniste et ne poursuit aucun but à long terme, ce qui est en contradiction avec le darwinisme social.

Sans véritable surprise, les seuls qui accusent la théorie de Charles Darwin d'être directement à l'origine de l'eugénisme et de ses horreurs sont les cercles créationnistes. «Il ne s'agit là que d'une manœuvre de la part de ces extrémistes religieux visant à décrédibiliser le fondateur d'une théorie qu'ils abhorrent car elle entre en contradiction avec leurs croyances», estime Alexandre Mauron.

Il n'en reste pas moins que la sélection naturelle a connu des interprétations erronées donnant lieu à de véritables dérives. Le biologiste et philosophe allemand Ernst Haeckel (1834-1919) a ainsi beaucoup contribué à diffuser la théorie de l'évolution dont il était un fervent défenseur. En se prévalant des idées de Darwin, il a également construit la notion d'«hygiène raciale» que les théoriciens du III^e Reich se sont ensuite appropriée.

PSYCHOLOGIE ÉVOLUTIONNISTE

Malgré ces faux pas, les tentatives d'appliquer la théorie de l'évolution aux sciences sociales se sont poursuivies. En 1975, le biologiste américain Edward Osborne Wilson publie un ouvrage, *Sociobiology: the New Synthesis*, qui relance une discipline scientifique, bel et bien darwinienne, visant à analyser le comportement humain à travers le prisme de la théorie de l'évolution. La sociobiologie crée rapidement une polémique aux États-Unis, puis plus tard en Europe. Certains chercheurs craignaient en effet que les tenants de cette discipline n'en viennent à considérer que certaines caractéristiques cognitives, le quotient intellectuel par exemple, soient héréditaires. Et que l'on traduise cela en décisions politiques, comme l'idée de séparer les élèves des classes primaires en fonction de leur QI.



De manière indépendante de l'être humain, et bien avant lui, les fourmis ont inventé la ville. La population d'un nid de certaines espèces peut en effet dépasser celle du grand Londres. La vie sociale des fourmis a beaucoup influencé Edward Osborne Wilson dans la création de la sociobiologie, qui est l'étude des bases biologiques des comportements des espèces animales. L'application de cette discipline à l'être humain a néanmoins provoqué une importante controverse scientifique.

«Aujourd'hui, on ne parle plus guère de sociobiologie, qui est une discipline mort-née, mais de psychologie évolutionniste, note Alexandre Mauron. De toute façon, l'idée d'appliquer la théorie de l'évolution au comportement humain, plutôt que de restreindre son champ d'action à l'anatomie, est une évidence. On ne peut pas accepter que le comportement d'une mouche soit influencé par la sélection naturelle et, en même temps, refuser cette conclusion pour la seule espèce humaine.»

Née à la fin des années 1980, la psychologie évolutionniste partage donc avec l'approche sociobiologique, dont elle est l'héritière, le postulat selon lequel la psychologie est, comme la physiologie, soumise aux mécanismes de l'évolution. Les tenants de cette discipline insistent toutefois sur le fait que de nombreuses conditions qui ont forgé les caractéristiques de l'être humain n'existent plus. C'est ainsi

que notre préférence pour le sucré a probablement été sélectionnée pour répondre au souci de se nourrir quand cela représentait un défi quotidien. Aujourd'hui, cette caractéristique pose un problème puisque notre penchant pour les douceurs – et les graisses – a entraîné l'apparition de l'obésité.

«Cet exemple illustre bien l'erreur conceptuelle fondamentale que commettent beaucoup de gens, notamment ceux qui ont autrefois utilisé la théorie de Darwin pour justifier l'eugénisme, estime Alexandre Mauron. Ce n'est pas parce qu'un caractère a été sélectionné par la nature qu'il est forcément «bon» ou «meilleur». Il est simplement mieux adapté que d'autres dans des conditions environnementales précises. Il ne l'est plus quand ces conditions changent.» ■

«On ne peut pas accepter que le comportement d'une mouche soit influencé par la sélection naturelle et, en même temps, refuser cette conclusion pour la seule espèce humaine»

RIEN DE TEL QU'UNE EXTINCTION POUR DOPER LA BIODIVERSITÉ

L'être humain prépare une catastrophe écologique d'une ampleur encore inconnue, mais dont il pourrait bien être aussi victime. En cause: son génome, particulièrement pauvre en diversité, qui le rend vulnérable à des changements brusques de son environnement

L'être humain ne doit pas tenter de sauver la biodiversité pour préserver la vie sur Terre. Il doit le faire pour sauver sa propre peau. *Homo sapiens* est en effet une des espèces les plus en danger d'extinction face à la catastrophe naturelle qu'il prépare lui-même depuis plus d'un siècle. La biodiversité, elle, ne se portera que mieux après une crise dont elle a l'habitude depuis les temps géologiques.

Juan Montoya, chef du Laboratoire de phylogénie et d'évolution des vertébrés au Département de zoologie et biologie animale, n'y va pas par quatre chemins. Selon lui, l'espèce humaine se classe parmi les plus vulnérables. En cause: son génome, particulièrement pauvre en diversité, malgré le nombre élevé d'êtres humains vivant actuellement (plus de six milliards). «*Nous sommes une espèce à «faible effectif efficace», précise le biologiste. Nous sommes tous issus d'une population estimée au plus à 10 000 individus qui vivait il y a 100 000 ans environ et dont nous partageons toujours les gènes à peu de chose près. Nous sommes donc particulièrement mal armés pour survivre en cas d'extinction de masse causée par un changement brusque de notre environnement, comme le bouleversement climatique qui s'amorce.*»

CROISSANCE CONTINUE

Cette constatation découle d'une réflexion sur les mécanismes qui sont à l'origine des fluctuations de la biodiversité de la planète.

RAPHAËL COVAIN



«*Pseudancistrus brevispinis* est un petit poisson-chat muni d'une bouche en forme de ventouse qui vit dans les fleuves côtiers des Guyanes (Guyane française, Guyana et Suriname). Dans la revue «*Molecular Ecology*» du mois de mars 2009, Juan Montoya et ses collègues ont montré que cet animal a colonisé les Guyanes à partir de l'Amazone à la faveur d'une rivière qui a changé de bassin versant dans le passé. Ensuite, ce sont les baisses du niveau de la mer qui ont connecté les différents fleuves entre eux et permis la dispersion progressive du poisson-chat. En remontant, le niveau de la mer a de nouveau séparé les cours d'eau et donc les populations. Ce phénomène d'isolation géographique a donné naissance à au moins sept espèces différentes.»

Les archives géologiques indiquent que cette dernière n'a fait qu'augmenter au cours du temps, depuis l'apparition de la vie il y a 3,8 milliards d'années jusqu'à aujourd'hui. Cette croissance continue est ponctuée d'épisodes d'extinction plus ou moins réguliers et sévères, mais qui ne changent rien à la tendance générale.

Deux théories se sont longtemps opposées concernant la vitesse de cette augmentation et sa tendance future. Certains chercheurs pensent qu'elle est exponentielle et qu'elle

possède encore le potentiel pour se développer davantage. D'autres, comme Charles Darwin, estiment que la biodiversité sur Terre possède une limite et que cette dernière est presque atteinte. Autrement dit, toutes les niches écologiques seraient utilisées et il serait impossible d'ajouter de nouvelles espèces sans en éliminer des anciennes.

En 2002, un chercheur russe, Alexander Markov, propose une nouvelle hypothèse qui change la perspective de la problématique. Selon lui, les lignées d'organismes vivants (re-

DE MASSE

JUAN MONTOYA, chef du Laboratoire de phylogénie et d'évolution des vertébrés au Département de zoologie et biologie animale

groupant plusieurs espèces apparentées) qui peuplent la Terre deviennent de plus en plus robustes avec le temps. Au début, elles disparaissent assez fréquemment car elles sont relativement vulnérables. Mais, extinction après extinction, les plus robustes d'entre elles sont sélectionnées et, profitant du fait que nombre de niches écologiques se sont libérées après les crises, donnent naissance à de nouvelles lignées, elles aussi plus résistantes aux changements environnementaux.

De plus, après chaque extinction de masse, les archives géologiques révèlent des explosions de la biodiversité, souvent liées à des innovations évolutives. Il peut s'agir de l'apparition des mâchoires chez les vertébrés, par exemple, qui introduit les mangeurs dans la faune de filtreurs, suceurs ou encore pinceurs et marque l'avènement des superprédateurs. Il peut s'agir également de l'apparition des mammifères avec leur technique de régulation de la température ou d'allaitement, qui permet à la mère de transmettre un apprentissage à sa descendance. La liste est très longue.

QUI SURVIVRA?

«Si l'on poursuit ce raisonnement, la crise qui se prépare sera forcément bénéfique, à long terme, pour la biodiversité globale, note Juan Montoya. La Terre a connu cinq extinctions massives (sans compter les autres de moindre ampleur). Nous entamons la sixième. Les activités humaines sont en effet responsables de la destruction de plus en plus de milieux naturels et elles commencent également à bouleverser le climat. Ce dernier phénomène, selon les spécialistes, devrait d'ailleurs devenir la première cause de la chute de la biodiversité dans le monde.»

Vient alors la question lancinante: quelles sont les espèces qui vont disparaître? Et quelles sont les plus robustes qui survivront et généreront la prochaine explosion de la biodiversité? Les plus vulnérables aux changements rapides (destruction de l'habitat et changements climatiques) sont les espèces les plus spécialisées, celles qui dépendent de la plus

des caractéristiques spécifiques de leur environnement. Mais il existe une autre catégorie d'espèces qui ne survivent généralement pas aux extinctions: celles qui comptent des individus de grande taille.

«En 1971 déjà, les biologistes japonais Tomoko Ohta et Motoo Kimura ont développé la «théorie presque neutre de l'évolution», précise Juan Montoya. Elle stipule, entre autres, que les espèces dont l'effectif est modeste et qui possèdent une faible

diversité génétique vont accumuler dans leur génome des mutations légèrement délétères qui, dans des populations nombreuses, sont éliminées par la sélection naturelle. L'accumulation de ces caractéristiques sensiblement négatives diminue les capacités biologiques de ces espèces qui se dégradent peu à peu. Il se trouve que les espèces de grande taille sont souvent celles qui répondent à ce signal.» Les exemples les plus marquants sont probablement les placodermes, de gigantesques poissons qui ont disparu lors de l'extinction du dévonien, il y a 364 millions d'années et les dinosaures, qui ont tiré leur révérence lors de l'extinction de la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années.

SIGNES PRÉOCCUPANTS

«Tout comme le mammouth ou le tigre à dents de sabre avant lui et les éléphants, les baleines et les autres grands singes aujourd'hui, l'être humain fait partie des espèces de grande taille dont le génome se dégrade, insiste Juan Montoya. Notre population est passée par un goulot d'étranglement trop récent pour que nous ayons pu acquérir une diversité génétique suffisante. Si nous attendons encore 500 000 ans, il est possible que nous corrigions le tir. Mais il semble que la crise que nous préparons est bien plus imminente que cela.»

C'est un fait, les signes avant-coureurs sont préoccupants. Le taux de stérilité augmente dans la population humaine, ce qui est dû en partie à des problèmes génétiques. *Homo sapiens* se distingue aussi par une très forte compétition à l'intérieur de l'espèce. La diminution des ressources en eau, en nourriture et autres matières premières va entraîner une augmentation des tensions et des guerres entre nations. Et nous sommes toujours à la merci d'un nombre croissant de pandémies virales comme la grippe aviaire, le H1N1, la fièvre d'Ebola, le sida, le SRAS... Si nous persistons à bouleverser notre environnement, il y a donc peu de chances pour que nous échappions aux lois de la nature. ■

«L'espèce humaine est passée par un goulot d'étranglement trop récent pour que nous ayons pu acquérir une diversité génétique suffisante»

ET DIEU CRÉA DARWIN

En privant l'homme de sa position centrale dans la création, Darwin a provoqué un séisme dont l'onde de choc a été ressentie loin au-delà du cercle des biologistes. Une révolution philosophique dont nous n'avons pas encore pris la pleine mesure aujourd'hui

Oxford, juin 1860. Sept mois après la publication de *L'Origine des espèces*, l'évêque Samuel Wilberforce apostrophe Thomas Huxley, darwiniste convaincu, lors d'un débat public. Le premier demande au second si c'est du côté de son grand-père ou de sa grand-mère qu'il descend du singe. La réponse fuse: *«Je préfère avoir pour grand-père un singe plutôt qu'une personne qui profite de sa position prestigieuse pour ridiculiser une sérieuse discussion scientifique.»*

Passé à la postérité, ce dialogue emblématique constitue une très bonne illustration des discussions engendrées par les travaux de Darwin depuis la publication de son œuvre maîtresse en 1859: un dialogue souvent tendu, mais pas toujours fécond entre deux parties qui défendent une conception du monde impossible à réconcilier. Explications avec Pascal Engel, directeur du Département de philosophie, Faculté des lettres

PASCAL ENGEL,
directeur du
Département
de philosophie,
Faculté
des lettres

«La théorie de Darwin a d'emblée suscité de très vives réactions bien au-delà du cercle des biologistes, explique le philosophe. Admettre que Darwin a raison, c'est non seulement admettre que l'homme n'est pas le centre de la création, mais aussi que la création n'est pas ordonnée selon un plan rationnel et que le monde pourrait n'être que le produit de phénomènes causaux et de hasards répétés. Et cela a naturellement un impact théologique et philosophique énorme.»

Darwin n'est pourtant ni le premier ni le seul à s'être aventuré sur ce terrain. Cinquante ans avant lui, le naturaliste français Jean-Bap-

Le plus proche cousin du chimpanzé et du bonobo est l'être humain. L'ancêtre commun à ces trois espèces vivait il y a moins de 6,3 millions d'années, en Afrique. La séparation entre l'embranchement qui aboutira à «Homo sapiens» et celui qui donnera naissance aux chimpanzés et bonobos ne s'est pas forcément faite de manière brutale. A la lumière d'une analyse comparative entre les génomes, il semblerait qu'il y ait eu des ré-hybridations durant quelques millions d'années avant une séparation totale.

ISTOCK



tiste de Lamarck propose ce qui est considéré comme la première théorie matérialiste et mécaniste de l'évolution des êtres vivants.

Figurant parmi les plus grands philosophes et écrivains de langue anglaise, David Hume (1711-1776), expose pour sa part dans ses *Dialogues sur la religion naturelle* l'idée qu'on pourrait très bien voir le monde comme produit d'un chaos, plutôt que d'une harmonie divine. Dans une tout autre perspective, Marx et Engels fondent leur raisonnement sur une conception matérialiste de l'histoire dans laquelle Dieu n'a aucun rôle à jouer. «*L'idée qu'une bonne partie du monde vivant pouvait être né du hasard et non de la volonté divine est dans l'air du temps dès la seconde moitié du XIX^e siècle*, commente Pascal Engel. *Ce qui fait du darwinisme une pensée révolutionnaire, c'est qu'elle concentre ces problématiques de façon particulièrement nette en s'appuyant sur un raisonnement de nature scientifique.*»

La théorie de la sélection naturelle est globalement acceptée à partir des années 1930-1940 par l'ensemble de la communauté scientifique. De nombreux penseurs comme Bergson, Popper ou Peirce y trouvent d'ailleurs une source d'inspiration majeure.

LE «PROCÈS DU SINGE»

Elle mettra plus de temps à s'imposer dans l'opinion publique de la chrétienté. L'Eglise catholique va en effet longtemps camper sur les positions énoncées dès 1802 par William Paley. La thèse du théologien, qui est à l'origine du créationnisme et de la théorie du «dessein intelligent» (lire en pages 17-20), repose sur l'idée que, de la même façon qu'on ne peut imaginer une montre sans l'intervention d'un horloger, on ne peut concevoir la création sans l'intervention d'une puissance divine.

Il faut attendre 1950 pour que le pape Pie XII admette que «*l'évolution est une hypothèse sérieuse, digne d'une investigation et d'une réflexion approfondie*». En 1996, Jean Paul II franchit un pas supplémentaire en affirmant que la théorie de l'évolution est «*plus qu'une hypothèse*». Signe des temps – et du crédit récent accordé aux défenseurs du «dessein intelligent» –, Benoît XVI revient un pas en arrière en 2005 en déclarant que «*la science seule n'est pas en mesure d'expliquer les origines de la vie*».

C'est cependant aux Etats-Unis que la résistance est la plus âpre. En juillet 1925, lors d'un épisode entré dans l'histoire sous le nom de «procès du singe», un professeur d'école du Tennessee est condamné à une amende de 100 dollars pour avoir enseigné la théorie de

l'évolution à ses élèves. Ce jugement ne sera désavoué qu'en 1987, lorsque la Cour suprême interdit l'enseignement des thèses créationnistes dans les écoles publiques. Dans un pays où, selon un sondage de l'institut Gallup réalisé en 2008, 44% de la population croit que l'homme a été créé il y a moins de 10 000 ans, cela n'a pas suffi à empêcher des institutions comme le Musée de la Création du Kentucky de continuer à prétendre qu'hommes et dinosaures ont pu se côtoyer.

«*Cette différence de perception entre l'Europe et les Etats-Unis s'explique en partie par le rapport plus littéral aux Ecritures qu'entretienement les Américains*, explique Pascal Engel. *En Europe, nous avons tendance à considérer la foi religieuse sur un mode individualiste et privé. De l'autre côté de l'Atlantique, comme dans le monde musulman d'ailleurs, pour un croyant, les articles de la foi sont littéralement vrais et il ne peut y avoir de demi-mesure. Comme il en va de même pour le rapport à la science, qui jouit d'un crédit nettement plus grand que chez nous, le choc est forcément violent.*»

L'HOMME RÉDUIT À SES GÈNES

Il est vrai que, de leur côté, les émules de Darwin, n'ont pas toujours fait preuve de la même retenue que l'auteur de *L'Origine des espèces*. Contemporain et compatriote de Darwin, Herbert Spencer compte parmi les principaux défenseurs de la théorie de l'évolution au XIX^e siècle. Mais c'est aussi le père du «darwinisme social», une théorie fondée sur la sélection des plus aptes qui fera le lit des pires idéologies totalitaires du XX^e siècle et dont la sociobiologie et la psychologie évolutive sont les avatars les plus récents (lire en pages 22-23).

Plus près de nous, et avec des conséquences tout autre, des auteurs comme Richard Dawkins ou Daniel Dennett défendent l'idée que l'homme se réduirait à ses gènes et qu'il ne serait rien de plus que le résultat de leur assemblage. En d'autres termes, la morale et la conscience seraient, elles aussi, le produit des forces aveugles de la sélection. «*Même si l'idée selon laquelle les croyances et les idées religieuses sont le résultat de l'évolution expliquerait pourquoi on a tant de mal à s'en passer, il faut considérer ce type de théories avec une certaine prudence*, commente Pascal Engel. *L'explication est certes séduisante sur le plan intellectuel, mais ces théories sont étayées par très peu d'éléments factuels. Par ailleurs, on peut tout à fait soutenir, sans trahir Darwin, que nos comportements sont dans une très large mesure pré-cablé et que nous sommes, comme*

Selon un sondage réalisé en 2008, 44% de la population américaine croit que l'homme a été créé il y a moins de 10 000 ans

tous les animaux, le produit de l'évolution tout en affirmant que notre comportement, en particulier sur le plan social, dispose d'un certain degré de plasticité.»

Sur le plan philosophique, l'essentiel n'est d'ailleurs pas là. Darwin, qui était parfaitement conscient des difficultés qu'il y avait à rendre compte de la morale par le biais de la théorie de l'évolution, a en effet soulevé un certain nombre d'autres questions dont on n'a peut-être pas encore pris la pleine mesure.

«*Ce qu'il y a de radicalement nouveau dans le darwinisme, c'est l'idée que nous sommes le produit d'une histoire évolutionnaire, mais cette histoire aurait pu prendre à tout moment un autre cours*, explique Pascal Engel. *Le darwinisme nous oblige également à cesser de penser le monde en termes individuels, au profit d'une vision en termes de population dans laquelle les statistiques, les masses et les probabilités deviennent des facteurs de compréhension essentiels. Et dans ces domaines-là, il me semble que les philosophes ne sont pas allés au bout de toutes les implications de la révolution opérée par la pensée de Darwin.*» ■

POUR EN SAVOIR PLUS:

Daniel Dennett: «*Darwin est-il dangereux?*» (trad. de Pascal Engel), Odile Jacob, 2000.

Richard Dawkins: «*Pour en finir avec Dieu*», Robert Laffont, 2008.

Thomas Lepeltier: «*Darwin l'hérétique. L'éternel retour du créationnisme*», Le Seuil, 2007.

Marcel Weber*: «*Philosophy of Experimental Biology*», Cambridge University Press, 2005.

* Professeur suppléant en histoire et philosophie des sciences à la Faculté des lettres de l'UNIGE.