

Les Académies des Sciences et l'enseignement de l'Évolution

Philippe Taquet, *paléontologue, membre de l'Académie des sciences*
Pierre Léna, *astrophysicien, membre de l'Académie des sciences, Délégué à l'éducation et la formation*

Le 24 novembre 1859, Darwin publiait la première des six éditions de son fameux ouvrage *De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle, ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie*. Son exposé, fondateur, impliquait que l'apparition de nouvelles formes vivantes est le fruit d'une succession de variations dont le seul moteur est la sélection naturelle. Il constituait donc une approche résolument nouvelle et féconde de l'histoire de la vie, en rupture complète avec toute vision finaliste.

L'année 2009 a été à la fois celle du bicentenaire de la naissance de Charles Darwin et celle du cent cinquantième de la publication de cet ouvrage majeur sur l'origine des espèces. L'Académie des sciences s'est associée à cette commémoration en publiant deux numéros exceptionnels de ses *Comptes Rendus*, l'un de *Biologies* et l'autre de *Palevol*, consacrés à la théorie darwinienne et à l'Évolution, sous ses aspects biologiques et paléobiologiques. Elle a consacré également, le 30 juin 2009, l'une de ses séances publiques à un hommage à Darwin en proposant une série de douze conférences.

Alors que paraissent ici ou là quelques ouvrages qui veulent contester le fait évolutif en présentant un florilège de fantasmagories et d'arguments non scientifiques, alors que divers groupes de pression tentent de suggérer qu'un plan, qu'un dessein détermine le cours de l'Évolution, il est bon de rappeler avec force que c'est la démarche rationnelle et scientifique qui a permis au cours des siècles de découvrir, de décrire les caractéristiques du monde dans lequel nous vivons et de proposer une représentation de plus en plus exacte de la place de l'homme dans la nature. Ainsi, la Terre, de plate est devenue sphérique ; elle tourne autour du Soleil et les continents se déplacent à sa surface au fil des millions d'années ; depuis les débuts de la vie sur Terre, les espèces naissent, évoluent, se transforment et meurent. La théorie de l'évolution, tout comme celle de la gravitation universelle, reposent sur des fondements solides ; elles sont le fruit de l'observation et de l'expérience.

Certes, les idées de Darwin ne furent acceptées en leur temps que très progressivement et encore aujourd'hui subsistent des réticences à leur égard. Et pourtant la théorie de l'évolution, qui demeure en mouvement comme toute science authentique, garde toute sa valeur explicative et illustre l'une des avancées les plus importantes de la connaissance. Elle féconde toutes les branches des sciences de la vie, de la paléontologie à l'anthropologie, de l'embryologie à l'écologie, de la biologie moléculaire à la neurologie.

C'est la raison pour laquelle l'Académie des sciences s'est associée à la déclaration qui a été proposée par les Académies des sciences de nombreux pays, déclaration qui tient à souligner l'importance d'un enseignement adéquat de l'évolution.

C'est également la raison pour laquelle l'Académie a soutenu la traduction en français du substantiel document produit conjointement aux États-Unis par *la National Academy of Sciences* et *l'Institute of Medicine*, et met cette traduction à la disposition du public français sur son site. L'Académie est consciente que l'écriture de ce document, son mode d'argumentation et nombre de ses références présentent des caractères parfois particuliers au contexte culturel, social, politique ou religieux des États-Unis, et pourront surprendre le lecteur français qui ne connaîtrait pas ce contexte. Il n'en demeure pas moins que les fondements scientifiques et les analyses épistémologiques de ce texte sont rigoureux, ils méritent lecture et réflexion.

Jean-Yves Chapron, assisté de Joëlle Fanon, a bien voulu œuvrer à nos côtés pour la présentation de ces documents : nous l'en remercions chaleureusement, ainsi qu'Armand de Ricqlès, professeur au Collège de France, qui a pris l'initiative et assuré la charge de cette traduction.

La Science, l'Évolution et le Créationnisme*

Un point de vue de l'Académie Nationale des Sciences et de l'Institut de Médecine des États-Unis

Traduit de l'américain (2007) d'après la seconde édition (1999)
par un collectif d'enseignants-chercheurs

Alain Blicq, P. de Laguérie & G. Denis (Lille), *alain.blicq@univ-lille1.fr*

Bruno Chanet (Rennes), *Bruno.Chanet@ac-rennes.fr*

Pierre Deleporte (Rennes), *pierre.deleporte@univ-rennes1.fr*

Jean Deutsch (Paris), *jean.deutsch@snv.jussieu.fr*

Edwige Masure (Paris), *edmeasure@ccr.jussieu.fr*

Pascal Picq (Paris), *picq.anthrope@wanadoo.fr*

Marc-André Selosse (Montpellier), *ma.selosse@wanadoo.fr*

Philippe Taquet (Paris), *Taquet@mnhn.fr*

Louise Zylberberg (Paris), *zylber@ccr.jussieu.fr*

Coordonnés par Armand de Ricqlès, *armand.de_ricqlès@upmc.fr*

Texte relu par Béatrice Ajchenbaum-Boffety, *béatrice.ajchenbaum@academie-sciences.fr*

***NB La présente version de la traduction française (2009) inclut de nombreux éléments de la troisième édition américaine (2008) : ceux-ci sont indiqués par un astérisque**

Avec en préambule la déclaration commune des Académies des sciences de 68 Nations concernant l'enseignement de l'Évolution

Déclaration commune des Académies des sciences de 68 Nations concernant l'enseignement de l'évolution

Nous, les Académies des sciences soussignées, avons appris que dans différentes parties du monde où les disciplines scientifiques sont enseignées dans le cadre de l'enseignement public, les preuves scientifiques, les données et les théories réfutables relatives aux origines et à l'évolution de la vie sur Terre sont omises, niées ou mélangées à des théories non réfutables par la science. Nous recommandons instamment aux décideurs, aux enseignants et aux parents d'éduquer tous les enfants aux méthodes et aux découvertes de la science et d'encourager la compréhension des sciences de la nature. La connaissance du monde naturel dans lequel ils vivent donne aux hommes le pouvoir de subvenir à leurs besoins et de protéger la planète.

Nous sommes d'accord pour affirmer que les faits suivants, fondés sur des preuves, concernant les origines et l'évolution de la Terre et de la vie sur cette planète, ont été établis par de nombreuses observations et résultats expérimentaux obtenus indépendamment par une

multitude de disciplines scientifiques. Même s'il demeure encore beaucoup de questions ouvertes concernant les détails précis de l'évolution, aucune preuve scientifique n'a jamais contredit les résultats suivants :

1. Dans un univers qui a évolué jusqu'à sa configuration actuelle depuis quelque 11 à 15 milliards d'années, notre Terre s'est formée il y a environ 4,5 milliards d'années.
2. Depuis sa formation, la Terre – sa géologie et son environnement – a changé sous l'effet de nombreuses forces physiques et chimiques, et elle continue de changer.
3. La vie est apparue sur la Terre il y a au moins 2,5 milliards d'années. L'évolution, peu de temps après, d'organismes photosynthétiques a permis, depuis au moins 2 milliards d'années, la lente transformation de l'atmosphère initiale en une autre, qui renferme de substantielles quantités d'oxygène. En plus de l'émission de l'oxygène que nous respirons, le processus de photosynthèse est la source ultime de fixation de l'énergie solaire et de la production de nourriture dont dépend la vie humaine sur la planète.
4. Depuis sa première apparition sur la Terre, la vie a pris de nombreuses formes, qui toutes ont continué à évoluer selon des voies que la paléontologie et les sciences biologiques et biochimiques décrivent et confirment chacune indépendamment avec une précision croissante. Les points communs dans la structure du code génétique de tous les organismes vivants actuels, y compris les humains, indiquent clairement leur origine commune.

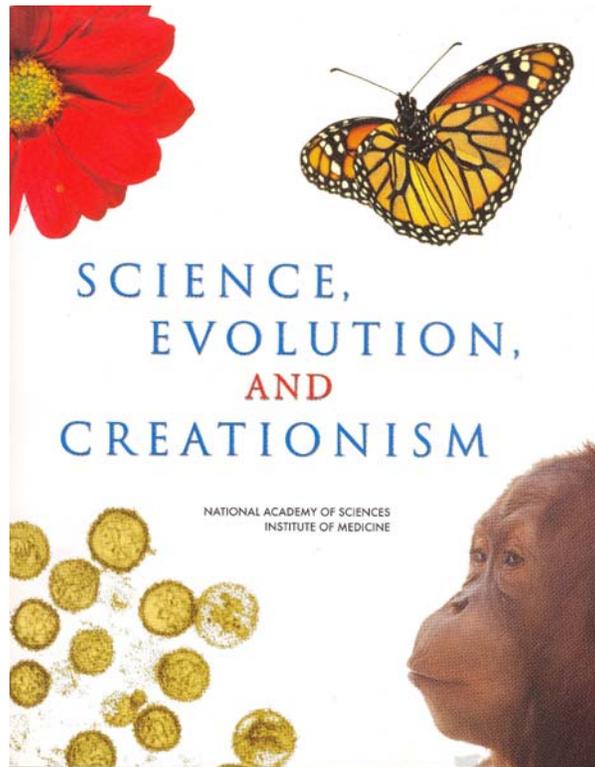
Nous souscrivons également à la déclaration qui suit concernant la nature de la science par rapport à l'enseignement de l'évolution et, plus généralement, par rapport à tous les champs de la connaissance scientifique.

La connaissance scientifique découle d'un mode de questionnement sur la nature de l'univers, questionnement dont les résultats et les effets sont indéniables. La science se concentre (a) sur l'observation du monde naturel et (b) formule des hypothèses *testables* et *réfutables* afin de tirer des explications plus poussées des phénomènes observables. Des théories scientifiques sont bâties pour rendre compte de faits irréfutables, les mettre en relation, les expliquer, et pour prédire la structure ou la survenue probable d'un phénomène non encore observé.

La compréhension par l'homme de la valeur ou de la finalité ne relèvent pas des sciences de la nature. Cependant, un certain nombre d'autres données – scientifiques, sociales, philosophiques, religieuses, culturelles et politiques – y contribuent. Ces différentes approches, qui ont chacune des champs d'action et des limites qui leur sont propres, se doivent un respect mutuel.

Tout en reconnaissant ses limites actuelles, la science n'a pas de frontières fixes, elle est sujette à corrections et à expansions infinies à mesure qu'émergent de nouvelles compréhensions théoriques et empiriques.

(Voir : <http://www.interacademies.net/Object.File/Master/6/150/Evolution%20statement.pdf>.)



La Science, l'Évolution et le Créationnisme

Un point de vue de l'Académie Nationale des Sciences
et de l'Institut de Médecine des États-Unis

Préface à la seconde édition (1999) par Bruce Alberts, Président de l'Académie Nationale des Sciences des États-Unis

Dans sa préface à l'édition originale de ce document (1984), Franck Press, mon prédécesseur à la Présidence de l'Académie Nationale des Sciences, attirait l'attention sur deux illustrations semblables à celles de la première et de la quatrième de couverture de ce livret. La première est une photographie de la Terre vue de l'espace, prise par le satellite GOES 7 en 1992 au moment où, survolant la Terre, il captura tous les détails du cyclone Andrew. La seconde montre une carte du monde produite au cours du septième siècle par l'érudite Isidore de Séville. Comme Press le remarquait, les deux illustrations expriment les efforts de l'homme pour comprendre le monde naturel. « Comment se fait-il alors, écrivait-il, qu'elles soient si différentes ? La réponse est au cœur même de la nature de ce système d'étude que nous appelons la science ».

Depuis que ces mots ont été écrits, la cartographie de la Terre a produit de nouveaux et puissants exemples de la façon dont progressent les sciences et les technologies qui en découlent. À partir du début des années 1990, un réseau de satellites a permis à tout un chacun en possession d'un récepteur manuel de connaître sa position à la surface de la Terre à quelques mètres près. Ce système de positionnement global (GPS) sert à présent à localiser les navires perdus en mer, à étudier la tectonique des plaques, à choisir un itinéraire dégagé parmi les rues embouteillées des villes ou à observer la surface de la Terre. Cependant, cette technologie trouve son origine dans un objectif purement scientifique : le désir de construire des horloges extrêmement précises destinées à tester la théorie de la relativité d'Einstein.

L'extraordinaire succès de la science pour expliquer les phénomènes naturels et susciter des innovations techniques provient du fait qu'elle se concentre sur des explications qui doivent être extraites de données susceptibles d'être correctement corroborées. Les chercheurs essayent de relier un phénomène à un autre et d'identifier les causes des phénomènes et les effets de leurs interactions. Ce faisant, ils ont développé des explications du changement des saisons, du mouvement de la Lune et des étoiles, de la structure de la matière, de la morphologie des montagnes et des vallées, du changement de la position des continents au cours du temps, de l'histoire de la vie sur la Terre et de bien d'autres phénomènes naturels. Les chercheurs scientifiques ont employé ces mêmes moyens pour découvrir quelles sont les substances dangereuses dans notre environnement et celles qui ne le sont pas, mettre au point des remèdes aux maladies, et produire les connaissances nécessaires à l'invention d'innombrables machines qui dispensent l'homme d'un lourd fardeau.

Le concept *d'évolution biologique* est l'une des idées les plus importantes qui ait jamais surgi de l'application de la méthode scientifique au monde naturel.

Note critique : Dès la fin du XVIII^e siècle (siècle des Lumières) le Français Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) a formulé les bases de la théorie développée ensuite par Darwin. Élu en 1779 à l'Académie des sciences, à l'âge de trente-cinq ans, il a émis l'idée qu'il était impossible d'expliquer l'énigme des fossiles (différents des espèces actuelles) sans faire intervenir une transformation des espèces au cours du temps (il a postulé les principaux troncs évolutifs d'un arbre buissonnant pour expliquer le vivant par un processus continu et a montré qu'il fallait abandonner le fixisme cher à ses contemporains, notamment à Cuvier qui défendait un ordre divin, avec un plan établi une fois pour toutes).

L'évolution de tous les organismes vivant sur Terre aujourd'hui à partir de formes ancestrales qui vivaient dans les temps anciens est au cœur de la génétique, de la biochimie, de la neurobiologie, de la physiologie, de l'écologie et d'autres disciplines biologiques. Elle aide à comprendre l'apparition de nouvelles maladies infectieuses, le développement de la résistance des bactéries aux antibiotiques, les relations entre animaux et plantes sauvages et domestiques dans le cadre de l'agriculture, la composition de l'atmosphère terrestre, la machinerie moléculaire de la cellule, les ressemblances entre les êtres humains et les autres primates, et d'innombrables autres caractéristiques du monde physique et biologique. Comme l'écrivait en 1973 le grand évolutionniste et généticien Theodosius Dobzhansky « Rien n'a de sens en biologie si ce n'est à la lumière de l'évolution ».

Cependant, l'enseignement de l'évolution au sein du système scolaire demeure un objet de controverse. Certains s'y opposent au prétexte que l'évolution contredit le récit des origines donné dans les deux premiers chapitres de la Genèse. D'autres souhaitent voir une « science de la création » enseignée à égalité avec l'évolutionnisme, en tant que théories scientifiques concurrentes. Cette « science de la création » affirme que des données scientifiques existent pour démontrer que l'univers et les êtres vivants ont été créés tels quels dans leurs formes actuelles.

Les chercheurs scientifiques ont examiné les hypothèses proposées par les tenants de la « science de la création » et les ont rejetées du fait de l'absence de preuves de leurs assertions. De plus, les affirmations de la « science de la création » ne font pas référence à des causes naturelles et ne peuvent donc être soumises à aucun test probant, de telle sorte qu'on ne peut les considérer comme des hypothèses scientifiques. En 1987, la Cour suprême des États-Unis a jugé que le créationnisme était de la religion, pas de la science, et ne pouvait donc pas être enseigné à l'école publique. Par ailleurs, la plupart des grandes confessions ont conclu que le concept d'évolution n'était pas en opposition avec leurs descriptions de la création et des origines de l'homme.

Cette nouvelle édition de *La science et le créationnisme, un point de vue de l'Académie Nationale des Sciences* constitue un ouvrage associé à une autre publication de l'Académie publiée en 1998, intitulée *Comment enseigner l'évolution et la nature de la science*. Ce document plus détaillé s'adresse aux professeurs, enseignants et décideurs qui élaborent, supervisent ou mettent en œuvre les programmes scolaires de biologie. Il résume les données de fait, écrasantes en faveur de l'évolution, et explique en quoi la science diffère des autres entreprises humaines. Il présente aussi des moyens efficaces pour enseigner la question, et propose des exemples d'exercices d'enseignement, des guides de programmes et des dialogues fictifs entre enseignants discutant des difficultés qu'ils rencontrent à présenter l'évolution dans leurs classes.

Cette nouvelle édition de *La science et le créationnisme* (1999) a un objectif quelque peu différent. Elle aussi résume les apports essentiels des nombreux domaines, parmi les plus importants, qui offrent des arguments de fait en faveur de l'évolution. Elle décrit en outre certaines des positions prises par les avocats de la « science de la création » et présente une analyse de leurs thèses. Tel quel, le présent document, destiné à un plus large public, instruit les raisons de ne pas introduire des concepts religieux dans les classes de sciences. Ce document, comme son homologue, *Comment enseigner l'évolution et la nature de la science*, sont librement disponibles en ligne sur le site de l'Académie des sciences des Etats-Unis.

Les chercheurs, comme bien d'autres, sont frappés d'humilité en contemplant l'ordre et la complexité de la nature. En fait, bien des scientifiques sont profondément religieux, mais la science et la religion occupent deux domaines distincts de l'expérience humaine. Exiger qu'ils soient confondus retire beaucoup à la gloire de chacun.

Bruce Alberts

Président

Académie Nationale des Sciences des États-Unis

Préface à la troisième édition (2008)

Les avancées scientifiques et techniques ont eu un retentissement profond sur la vie humaine. Au XIX^e siècle, la plupart des familles pouvaient s'attendre à perdre un ou plusieurs enfants du fait de maladies. Aujourd'hui, la perte d'un enfant à la suite d'une maladie est peu commune aux États-Unis comme dans les autres pays développés. Chaque jour, nous comptons sur des technologies rendues possibles par l'application des connaissances et des procédés scientifiques. Les ordinateurs et téléphones mobiles que nous utilisons, les voitures et les avions avec lesquels nous voyageons, les médicaments que nous prenons et bien des aliments que nous consommons ont été largement développés du fait de la compréhension de la nature obtenue grâce à la recherche scientifique. La science a amélioré les modes de vie, permis aux hommes de voyager sur des orbites terrestres et jusqu'à la Lune, et nous a ouvert de nouvelles manières de considérer l'univers et de nous considérer nous-mêmes.

La biologie évolutionniste a été et demeure une pierre angulaire de la science moderne. Ce livret expose certaines des contributions majeures que notre compréhension de l'évolution a offert au bien être de l'humanité, y compris l'aptitude à prévenir et à traiter des maladies, à développer de nouvelles productions agricoles et à créer des innovations industrielles. Plus généralement, l'évolution constitue un concept central de la biologie, fondé à la fois sur l'étude des organismes du passé et sur l'étude de la diversité et des relations de parenté entre les organismes actuels. Les progrès rapides actuellement réalisés dans les sciences de la vie et en médecine reposent sur des principes dérivés de notre compréhension de l'évolution. Cette compréhension est née à la fois de l'étude des données toujours plus abondantes issues des fossiles et, de façon tout aussi importante, de l'application, à l'étude de l'évolution, des techniques issues des sciences biologiques et moléculaires modernes. Bien entendu, comme dans tout domaine actif de la recherche scientifique, bien des questions fascinantes restent ouvertes, et ce livret met en valeur certains aspects particulièrement actifs des recherches en cours concernant l'évolution.

Cependant, les sondages montrent que beaucoup de gens continuent à se poser des questions sur notre connaissance de l'évolution biologique. On a pu leur faire croire que la compréhension scientifique de l'évolution était incomplète, incorrecte ou discutable. Certains se montrent sceptiques quant à la capacité du processus naturel de l'évolution biologique à produire cette incroyable diversité d'objets vivants, depuis la bactérie microscopique à la baleine ou au séquoia millénaire, depuis la simple éponge jusqu'à l'homme capable de contempler l'histoire de la vie sur cette planète. Ils peuvent aussi se demander s'il est possible d'accepter la notion d'évolution tout en continuant à adhérer à des croyances religieuses.

Ce livret répond à ces questionnements. Il a été écrit pour servir d'aide et de ressource à tous ceux qui peuvent se retrouver impliqués dans des débats concernant l'évolution. Il apporte des éclairages sur le rôle que joue l'évolution dans la biologie moderne et sur les raisons pour lesquelles seules des connaissances scientifiques doivent être professées dans les classes de sciences de l'enseignement public.

Les lecteurs particulièrement concernés peuvent être des membres de l'administration scolaire, des professeurs de sciences et d'autres responsables en éducation, des politiciens qui ont à faire des arbitrages, des spécialistes du droit et tous ceux qui se mobilisent pour qu'une éducation scientifique de qualité soit offerte aux élèves. Ce livret s'adresse aussi à un lectorat plus large constitué des élèves des grandes classes, des étudiants de premier cycle des universités et des adultes qui souhaitent se familiariser avec les nombreux et divers types de preuves en faveur de l'évolution, et qui cherchent à comprendre en quoi l'évolution est à la fois un fait et un mécanisme qui rend compte de la diversité de la vie sur la Terre.

Ce livret replace aussi l'étude de l'évolution dans un contexte plus large. Il définit ce que signifie une théorie pour la communauté scientifique. Il montre comment la théorie de l'évolution reflète la nature de la science et en quoi elle diffère de la religion. Il explique pourquoi l'écrasante majorité du monde savant accepte l'idée d'évolution comme base de la biologie moderne. Il témoigne du fait qu'un certain nombre de scientifiques et de croyants, en tant qu'individus, et que certaines confessions religieuses ont décrit comment la théorie de l'évolution n'était pas en opposition avec leur foi. Il explique enfin pourquoi certaines théories non scientifiques opposées à la notion d'évolution, comme le créationnisme (y compris le créationnisme du « dessein intelligent ») ne doivent pas faire partie du programme de sciences de l'enseignement public de la Nation.

La Science, l'Évolution et le Créationnisme constitue la troisième édition (2008) d'une publication de l'Académie Nationale des Sciences, une société indépendante de savants élus par leurs pairs pour leurs contributions exceptionnelles dans leurs domaines, publication initialement parue en 1984. Depuis 1863, l'Académie Nationale des Sciences est mandatée par le Congrès des États-Unis pour conseiller le Gouvernement Fédéral sur les questions de science et de technologie. Compte tenu de l'importance croissante de l'évolution pour les sciences biologiques, physiques et médicales, et pour l'amélioration de la santé, cette nouvelle édition constitue une publication conjointe de l'Académie Nationale des Sciences et de l'Institut de Médecine. Ce dernier est, depuis 1970, une composante de l'Académie Nationale des Sciences : il a pour mission de fournir des avis scientifiquement fondés sur les questions de médecine, de science biomédicale et de santé.

Bien des choses ont changé en biologie de l'évolution depuis la parution des deux premières éditions de ce livret (1984, 1999) et cette nouvelle édition effectuée d'importantes mises à jour de ces nouveaux développements. Les nouvelles découvertes de fossiles ont continué à nous fournir des données irréfutables concernant l'histoire évolutive de la vie. Une connaissance et une compréhension nouvelles des molécules constitutives du vivant sont advenues, comprenant en particulier le séquençage complet de l'ADN humain. Le séquençage de l'ADN est devenu un outil puissant pour établir les relations de parenté génétiques entre espèces. Les données issues de l'ADN ont à la fois confirmé celles qui sont issues des fossiles et permis des études évolutives là où la documentation paléontologique est encore incomplète. Un domaine entièrement nouveau, la biologie moléculaire du développement, permet aux chercheurs d'étudier comment les changements génétiques qui se sont produits au cours de l'histoire de la vie ont modelé les formes et fonctions des organismes. L'étude de l'évolution biologique constitue l'une des champs de recherche les plus actifs et aux plus vastes conséquences de toute la science moderne.

Les controverses publiques qui tournent autour de l'évolution ont elles aussi changé. Au cours des années 1980, beaucoup de gens opposés à l'enseignement de l'évolution à l'école publique soutenaient une législation qui aurait exigé des professeurs de biologie qu'ils discutent d'un « créationnisme scientifique » - une assertion selon laquelle la documentation paléontologique et les données géologiques sont conformes à l'idée que la Terre et tous les êtres vivants ont été créés séparément il y a seulement quelques milliers d'années. Des procès importants, donnant lieu à un avis de la Cour Suprême des États-Unis en 1987, ont jugé que la « science de la création » est le produit de convictions religieuses, et non de la recherche scientifique, et qu'elle ne peut être enseignée à l'école publique parce que le faire imposerait à tous les élèves d'adopter une perspective religieuse.

Depuis lors, les opposants à l'évolution ont développé d'autres stratégies. Certains ont soutenu un point de vue connu sous le terme de « dessein intelligent », une nouvelle forme de créationnisme considérant fondamentalement que les êtres vivants sont trop complexes pour avoir pu évoluer selon des mécanismes naturels. En 2005, à Dover, Pennsylvanie, un procès a fait date en jugeant l'enseignement du « dessein intelligent » non constitutionnel car, une fois encore, fondé sur des convictions religieuses et non sur la science.

D'autres ont considéré que les professeurs de sciences devraient enseigner les « controverses » entourant l'évolution. Mais il n'y a pas de controverse dans le monde scientifique quant à la réalité de l'évolution et de son déroulement. Bien au contraire, les preuves en faveur de « la descendance avec modification », ainsi que la dénommait Charles Darwin, sont à la fois écrasantes et confondantes. Au cours du siècle et demi qui a suivi la publication de l'ouvrage capital de Darwin (*L'origine des espèces*, publié en 1859) les chercheurs ont mis en lumière de façon détaillée bien des mécanismes qui sous-tendent la variation biologique, l'hérédité et la sélection naturelle, et ils ont montré comment ces mécanismes conduisent à un changement biologique au cours du temps. Compte tenu de cet immense corpus de données et de preuves, les savants considèrent l'existence de l'évolution comme l'un des faits scientifiques les mieux établis. Les biologistes, en particulier, sont certains d'avoir compris, dans leurs grandes lignes, les mécanismes explicatifs de l'évolution.

Note critique : ils savent reprogrammer des bactéries, fabriquer des virus artificiels, etc.).

La présente publication comporte trois chapitres. Le premier décrit brièvement le processus évolutif, la nature de la science et la différence entre science et religion. Le deuxième chapitre examine de façon plus détaillée le grand nombre de données et de preuves scientifiques en faveur de l'évolution, comprenant des données très variées issues de l'astronomie, de la paléontologie, de l'anatomie comparée, de la biologie moléculaire, de la génétique et de l'anthropologie. Le troisième chapitre examine plusieurs perspectives créationnistes, dont le « dessein intelligent », et expose les raisons juridiques et scientifiques de s'opposer à l'enseignement des idées créationnistes dans les classes de sciences de l'école publique. Un choix de questions récurrentes suit le texte principal. Un appareil de documents complémentaires présente des articles auxquels il est fait référence dans ce livret et d'autres publications sur l'évolution, la nature de la science et la religion. Comme *La Science, l'Évolution et le Créationnisme* le montre parfaitement, les preuves en faveur de l'évolution peuvent être pleinement compatibles avec la foi religieuse. La science et la religion constituent deux façons différentes d'appréhender le monde. Les opposer sans nécessité réduit le potentiel de chacune de contribuer à un avenir meilleur.

Ralph J. Cicerone, Président, National Academy of Sciences

Harvey V. Fineberg, Président, Institut of Medicine

Francisco J .Ayala, Président du Comité

INTRODUCTION

La science est une manière particulière d'acquérir des connaissances sur le monde. En science, les explications se limitent à celles qui se fondent sur des observations et des expériences qui peuvent être concrètement reproduites par d'autres scientifiques. Les explications qui ne peuvent pas s'appuyer sur des éléments concrets ne font pas partie de la science.

Dans sa quête pour la compréhension du monde, la science implique un grand nombre d'observations minutieuses qui conduisent finalement à une description élaborée du monde naturel. Les chercheurs communiquent leurs découvertes et leurs conclusions aux autres chercheurs par des publications, des communications orales au cours de conférences, des conversations de couloirs, etc.. Les autres chercheurs testent alors ces idées et continuent à élaborer à partir du travail préexistant. De cette manière, la précision et la sophistication des descriptions du monde naturel tendent à s'accroître avec le temps, du fait que les générations successives de scientifiques corrigent et étendent le travail de leurs prédécesseurs.

Le progrès scientifique consiste à développer de meilleures explications concernant les causes des phénomènes naturels. Les scientifiques ne peuvent jamais être certains qu'une explication donnée soit complète et définitive. Certaines des hypothèses avancées par les scientifiques se révèlent finalement incorrectes lorsqu'on les teste à l'aide de nouvelles observations ou de nouvelles expériences. Cependant, beaucoup d'explications scientifiques ont été testées et confirmées de manière si approfondie qu'on leur accorde une grande confiance.

La théorie de l'évolution est l'une de ces explications bien établies. Depuis le milieu du dix-neuvième siècle, une quantité énorme de recherches scientifiques a transformé les premières idées sur l'évolution avancées par Darwin et d'autres, en une théorie solide et bien soutenue. Aujourd'hui, l'évolution est un champ de recherche extrêmement actif, et une quantité de nouvelles découvertes viennent continuellement accroître notre compréhension de la manière dont l'évolution se produit.

Cet opuscle examine la science sur laquelle se fonde la théorie de l'évolution, en considérant particulièrement trois catégories de sources de connaissance scientifique :

- Les éléments tirés des origines de l'univers, de la Terre et de la vie ;
- Les éléments en faveur de l'évolution biologique, incluant des données de la paléontologie, de l'anatomie comparée, de la biogéographie, de l'embryologie, et de la biologie moléculaire ;

- Les éléments en faveur de l'évolution humaine.

De même, à la fin de chacune de ces parties, les positions défendues par les avocats de la « science créationniste » sont présentées brièvement et analysées.

La théorie de l'évolution est devenue le concept unificateur central de la biologie, et elle est une composante décisive de nombreuses disciplines scientifiques apparentées. Par contraste, les assertions de la « science créationniste » manquent de données factuelles permettant de la soutenir et ne peuvent pas être testées de manière sensée. Ces constatations conduisent à deux conclusions fondamentales : (1) l'enseignement de l'évolution devrait être une partie intégrante de l'instruction scientifique, tandis qu'en fait (2) la « science créationniste » n'est pas une science, et ne doit donc pas être présentée comme telle dans les classes de sciences.

Termes utilisés dans la description de la nature de la science

Fait : Pour la science, c'est une observation qui a été confirmée de manière répétée, et qui est en pratique couramment acceptée comme « vraie ». La vérité en science, toutefois, n'est jamais définitive, et ce qui est accepté comme un fait aujourd'hui peut être modifié ou même rejeté demain.

Hypothèse : C'est un essai d'affirmation à propos du monde naturel, conduisant à des déductions qui peuvent être testées. Si les déductions sont vérifiées, il devient plus vraisemblable que l'hypothèse soit correcte. Si les déductions s'avèrent incorrectes, l'hypothèse originelle peut être abandonnée ou modifiée. Des hypothèses peuvent être utilisées pour élaborer des inférences et des explications plus complexes.

Loi : C'est une généralisation décrivant la manière selon laquelle un certain aspect du monde naturel se comporte dans des circonstances données.

Théorie : Pour la science, c'est une explication bien soutenue concernant un certain aspect du monde naturel, et qui peut intégrer des faits, des lois, et des hypothèses testées. L'affirmation selon laquelle l'évolution devrait être enseignée « comme une théorie, et non comme un fait » confond l'usage commun de ces termes avec leur usage scientifique. En science, les théories ne se transforment pas en faits par l'accumulation d'éléments en leur faveur. Les théories sont plutôt les points d'aboutissement de la science. Ce sont des formes de compréhension qui sont construites sur la base de considérables travaux d'observation, d'expérimentation, et de réflexion créative. Elles intègrent une grande quantité de faits scientifiques, de lois, d'hypothèses testées, et d'inférences logiques. En ce sens, l'évolution est l'une des théories scientifiques les plus solides et les plus utiles dont on dispose actuellement.

** Adapté de *Teaching About Evolution and the Nature of Science* par la National Academy of Sciences (Washington, D.C.: National Academy Press, 1998). Copyright © National Academy of Sciences. Tous droits réservés.

CHAPITRE 1

L'ÉVOLUTION ET LA NATURE DE LA SCIENCE

Les preuves scientifiques de l'évolution continuent de s'accroître à un rythme rapide

Depuis plus de cent cinquante ans, les chercheurs ont récolté des données qui étendent notre compréhension de l'évolution du vivant, conçue à la fois comme un fait historique et comme un processus biologique. Ils analysent comment l'évolution a eu lieu et comment elle se poursuit toujours aujourd'hui.

En 2004, par exemple, une équipe de chercheurs a fait une découverte remarquable. Dans une île très septentrionale du Canada arctique, ces chercheurs ont découvert un fossile d'environ un mètre vingt de long présentant des caractéristiques intermédiaires entre celles d'un poisson et d'un animal à quatre pattes (ou tétrapode). Il avait des branchies, des écailles, des nageoires et passait probablement la plus grande partie de sa vie dans l'eau. Mais il avait aussi des poumons, un cou flexible et un solide squelette, des nageoires qui pouvaient soutenir le poids du corps dans une très mince couche d'eau ou même sur le sol.

Des découvertes scientifiques plus anciennes de plantes et d'animaux fossiles avaient déjà révélé une foule de choses sur l'environnement dans lequel cet animal avait vécu. Il y a 375 millions d'années, ce qui est aujourd'hui l'île d'Elsmere, dans le territoire du Nunavut, Canada, faisait partie d'une vaste plaine traversée par les méandres de nombreux fleuves. Des arbres, des fougères et d'autres plantes anciennes poussaient sur les bords de ces fleuves, créant un riche environnement pour les bactéries, champignons et petits organismes qui se nourrissaient de matières végétales en décomposition. Il n'y avait pas encore d'animaux de grande taille sur les continents mais les mers c hébergeaient de nombreuses **espèces** (*) de poissons dont certaines se nourrissaient de plantes et animaux des eaux douces peu profondes des fleuves et des marais côtiers.

* Espèce : chez les organismes à reproduction sexuée, l'espèce est constituée de l'ensemble des individus qui peuvent se reproduire entre eux).

Les **paléontologues*** avaient préalablement découvert des fossiles de certains de ces poissons d'eaux peu profondes. Les os de leurs nageoires étaient plus robustes et complexes que chez d'autres espèces de poissons, leur permettant peut être de se hâler à la surface de chenaux encombrés de végétation, et ils avaient des poumons primitifs en plus des branchies. Les paléontologues avaient aussi découvert, cette fois dans des terrains un peu moins anciens, des fossiles d'animaux encore comparables à des poissons mais qui passaient sans doute une partie de leur vie sur terre. Connus sous le nom de premiers tétrapodes (terme signifiant la présence de quatre pattes), ils avaient des nageoires pectorales et pelviennes modifiées, ressemblant déjà à des pattes antérieures et postérieures, et d'autres caractères propres à la vie hors de l'eau. Mais les paléontologues n'avaient pas encore découvert les animaux de transition, intermédiaires entre les poissons d'eaux peu profondes et les animaux pourvus de pattes.

L'équipe qui a découvert le nouveau fossile a décidé de chercher dans la partie la plus septentrionale du Canada après avoir remarqué, dans des ouvrages géologiques, que cette région renfermait des sédiments déposés il y a environ 375 millions d'années, précisément à l'époque où les sciences de l'évolution plaçaient la transition entre des poissons d'eaux peu profondes et des animaux terrestres. Il a fallu à l'équipe des heures d'avion et d'hélicoptère pour atteindre les terrains à explorer où ils ne pouvaient travailler que deux mois par an en été, avant que la neige ne recommence à tomber. Lors de la quatrième saison de fouille, ils découvrirent enfin ce qu'ils avaient prédit pouvoir trouver. Dans un affleurement sédimentaire au flanc d'une colline, ils découvrirent le fossile d'un organisme qu'ils nommèrent *Tiktaalik* (ce nom signifie « gros poisson d'eau douce » dans la langue des Inuits du Nord du Canada). *Tiktaalik* avait encore bien des caractères de poisson, mais il avait aussi des traits caractéristiques des premiers tétrapodes. Par dessus tout, ses nageoires paires contenaient des os internes et constituaient des appendices en forme de patte que l'animal pouvait utiliser pour se mouvoir et se pousser en se hissant dessus.

Une prévision résultant de plus d'un siècle de découvertes de la biologie évolutive énonce que l'une des premières espèces à émerger des océans terrestres il y a 375 millions d'années donna en fin de compte naissance aux amphibiens, aux dinosaures, aux oiseaux, aux autres reptiles **Note critique** : il vaudrait mieux parler de Sauropsides, groupe qui englobe tous les « reptiles » actuels, les oiseaux et divers « reptiles » fossiles) et aux mammifères. La découverte

*Paléontologues : chercheur scientifique spécialisé dans l'étude des fossiles pour connaître et comprendre les organismes anciens.

de *Tiktaalik* soutient fortement cette prévision. En fait, les principaux os de nos bras et jambes ont la même configuration générale que ceux de *Tiktaalik*.

La découverte de *Tiktaalik*, bien qu'elle soit d'une importance cruciale pour confirmer les prévisions de la théorie de l'évolution, n'est qu'un exemple des nombreuses découvertes faites chaque année, qui ajoutent de la profondeur et de la substance à la compréhension scientifique de l'évolution biologique. Ces découvertes proviennent non seulement de la paléontologie, mais aussi de la physique, de la chimie, de l'astronomie et de multiples domaines au sein de la biologie.

La théorie de l'évolution est soutenue par tant d'observations et d'expériences que la majorité écrasante des scientifiques ne se pose plus la question de savoir si l'évolution a eu lieu et se poursuit aujourd'hui, mais bien d'approfondir les mécanismes de l'évolution. Les savants sont confiants dans l'idée que les composantes fondamentales de l'évolution continueront à être corroborées par de nouvelles découvertes, comme cela est le cas depuis 150 ans.

L'évolution biologique est le principe organisateur central de la biologie moderne

L'étude de l'évolution biologique a transformé notre compréhension de la vie sur cette planète. L'évolution explique pourquoi il y a tant de types d'organismes différents sur terre et comment tous ces organismes font partie d'une même buissonnement évolutif. Elle démontre pourquoi certains organismes qui apparaissent comme très différents sont cependant apparentés, alors que d'autres organismes qui se ressemblent beaucoup n'ont entre eux que des liens lointains. Elle rend compte de l'apparition des humains sur la Terre et révèle les liens biologiques de notre espèce avec les autres êtres vivants. Elle détaille comment les différents groupes humains sont liés les uns aux autres et comment nous avons acquis beaucoup de nos **traits***. Elle permet enfin de développer des moyens nouveaux et efficaces pour nous protéger des bactéries et virus, eux-mêmes en constante évolution.

L'évolution biologique concerne des changements dans les traits des organismes survenant au cours de nombreuses générations. Avant le développement de la science de la génétique, au début du XX^e siècle, les biologistes ne comprenaient pas les mécanismes responsables de la transmission héréditaire des caractères entre parents et descendants. Les progrès de la génétique

* Traits (ou caractères) : caractéristique physique ou comportementale d'un organisme.

révélèrent que les caractères héréditaires trouvent leur support dans l'ADN qui est transmis d'une génération à la suivante. L'ADN est constitué de segments appelés gènes qui contrôlent la production des **protéines*** nécessaires à la croissance et aux fonctions des cellules. Les gènes orchestrent aussi le développement, depuis une seule cellule-œuf jusqu'à l'achèvement des organismes multicellulaires. Aussi l'ADN est-il le responsable de la continuité des formes et fonctions biologiques au fil des générations.

Cependant, les descendants ne sont pas toujours exactement semblables à leurs parents. La plupart des organismes de n'importe quelle espèce, homme compris, sont génétiquement variables, dans une certaine mesure. Dans les espèces à reproduction sexuée, ou chaque parent ne contribue que pour une moitié de son information génétique à ses descendants (le descendant reçoit la totalité de son information génétique quand un spermatozoïde fusionne avec une ovule), l'ADN des deux parents est combiné de façons nouvelles dans le descendant. De plus, l'ADN peut subir des changements, connus sous le nom de **mutations***, d'une génération à l'autre, aussi bien chez les organismes à reproduction sexuée que chez ceux dont la reproduction est asexuée, comme les bactéries.

Quand une mutation se produit dans l'ADN d'un organisme, beaucoup de choses peuvent se passer. La mutation peut avoir pour résultat d'altérer un caractère, ce qui peut handicaper l'organisme, rendre moins probable sa survie ou diminuer ses chances de produire des descendants, relativement à d'autres individus de la **population*** à laquelle il appartient. Une autre possibilité est que la mutation n'entraîne aucune différence dans le bon fonctionnement et le succès reproductif de l'organisme. Enfin, la nouvelle mutation pourrait avoir pour résultat un caractère qui permet à un organisme de mieux utiliser les ressources de son environnement, accroissant de ce fait son aptitude à survivre et à produire des descendants. Par exemple, un poisson pourrait apparaître avec une petite modification à ses nageoires, lui permettant de se déplacer plus facilement en eau peu profonde (comme ce fut le cas dans la lignée conduisant à

* Protéine : grosse molécule formée d'une chaîne de molécules plus petites appelées acides aminés. La séquence des acides aminés et la structure tridimensionnelle de la molécule déterminent les fonctions spécifiques d'une protéine dans les cellules ou les organismes).

* Mutation : un changement dans la séquence des nucléotides de l'ADN. Ces changements peuvent altérer la structure des protéines ou la régulation de la production des protéines.)

* Population : un groupe d'organismes de la même espèce, qui sont suffisamment proches géographiquement ou physiquement les uns des autres pour qu'ils puissent se croiser entre eux).

Tiktaalik) ; un insecte pourrait acquérir une coloration différente lui permettant d'être moins visible par les prédateurs, ou une mouche pourrait avoir une différence dans son type d'aile ou dans ses comportements de parade qui attirerait les partenaires avec plus de succès.

Si une mutation accroît les chances de survie d'un organisme, celui-ci aura plus de chances d'avoir davantage de descendants que les autres membres de la population. Si le descendant hérite de la mutation, le nombre d'organismes portant le caractère avantageux augmentera d'une génération à la suivante. De cette façon le caractère (et le matériel génétique, l'ADN, responsable du caractère) tendront à devenir de plus en plus répandus, au fil du temps, dans les organismes constituant la population. En revanche, les organismes porteurs d'une mutation désavantageuse ou délétère ont moins de chance que leur ADN contribue aux générations futures, et le caractère résultant de la mutation tendra à devenir moins fréquent ou disparaîtra de la population.

L'évolution consiste dans ces changements de fréquence des caractères héréditaires dans les populations d'organismes, au fil de la succession des générations. *Ce sont les populations d'organismes qui évoluent, pas les organismes individuels.*

Le succès reproductif différentiel des organismes porteurs de caractères avantageux est connu sous le nom de **sélection naturelle***, parce que la nature « sélectionne » les traits qui augmentent l'aptitude des organismes à survivre et à se reproduire. La sélection naturelle peut aussi réduire la prévalence de caractères qui diminuent l'aptitude des organismes à survivre et à se reproduire. La sélection artificielle est un processus similaire mais, dans ce cas, ce sont les hommes, plutôt que l'environnement, qui sélectionnent les traits désirables, en s'arrangeant pour que les animaux ou les plantes porteurs de ces caractères se reproduisent entre eux. La sélection artificielle constitue le mécanisme responsable de la production des variétés d'animaux domestiques (différentes races de chiens, chats et chevaux) et de plantes cultivées (roses, tulipes, maïs...).

L'évolution et la médecine : combattre de nouvelles maladies infectieuses

À la fin de l'année 2002, plusieurs centaines de personnes en Chine se trouvèrent atteintes d'une forme sévère de pneumonie causée par un agent infectieux inconnu. Appellée SRAS (syndrome respiratoire aigu sévère) la maladie se répandit rapidement au Viet Nam, à Hong Kong, au Canada et provoqua plusieurs centaines de morts. En mars 2003, une équipe de chercheurs de l'Université de Californie à San Francisco reçut des échantillons de virus isolés à partir de tissus de patients atteints du SRAS. À l'aide d'une technologie nouvelle connue sous le

* Sélection naturelle : la survie et la reproduction différentielle des organismes comme conséquence des caractéristiques de l'environnement.

nom de *DNA micro-array*, les chercheurs en identifièrent le virus dans les 24 heures en tant que membre jusque là inconnu d'une famille particulière de virus – résultat confirmé par d'autres chercheurs utilisant des techniques différentes. Le travail commença immédiatement sur un test sanguin destiné à identifier les gens porteurs du virus (afin qu'ils soient mis en quarantaine), sur les traitements contre la maladie, et sur des vaccins pour prévenir l'infection par le virus. La connaissance des mécanismes de l'évolution a été essentielle dans l'identification du virus du SRAS. Le matériel génétique de ce virus était assez semblable à celui d'autres virus parce qu'il avait évolué à partir du même virus ancestral. De plus, la connaissance de l'histoire évolutive du virus du SRAS a fourni aux scientifiques des informations importantes sur la maladie elle-même, notamment sur la façon dont elle se transmet.

La connaissance des origines évolutives des pathogènes humains sera d'une importance critique dans l'avenir, au fur et à mesure que les agents infectieux actuels évolueront vers des formes nouvelles, éventuellement plus dangereuses.

L'évolution en agriculture : la domestication du blé

Quand les hommes comprennent un phénomène qui se passe dans la nature, ils acquièrent souvent un contrôle accru sur celui-ci ou peuvent l'adapter à de nouveaux usages. La domestication du blé en est un bon exemple. En recueillant des graines provenant de différents sites archéologiques et en répertoriant les changements dans leurs caractéristiques au fil des siècles, les chercheurs ont pu bâtir des hypothèses sur la façon dont le blé a été modifié par l'homme au cours du temps. Il y a environ 11 000 ans, des populations du Moyen-Orient commencèrent à cultiver les végétaux pour se nourrir, au lieu de compter entièrement sur la cueillette ou sur la consommation d'animaux qu'ils chassaient ou pouvaient rassembler. Ces premiers agriculteurs commencèrent à recueillir les graines de plantes présentant des traits particulièrement favorables et à les planter pour la saison suivante. Par ce processus de sélection artificielle, ils créèrent obtinrent une variété de semence ayant des caractéristiques particulièrement favorables pour l'agriculture. Par exemple, les cultivateurs, au fil des générations, modifièrent les traits caractéristiques du blé sauvage de telle sorte que les graines restent fixées à la plante à maturité et puissent être séparées facilement des épis. Au fil des millénaires suivants, des hommes tout autour de la Terre utilisèrent des procédés semblables de changements évolutifs pour transformer de nombreuses autres plantes et animaux sauvages jusqu'aux variétés cultivées et races domestiques sur lesquelles nous comptons aujourd'hui.

Au cours des dernières années, des spécialistes de biologie végétale ont entrepris d'hybrider du blé avec ses parents sauvages du Moyen Orient et d'autres régions. À l'aide de ces hybrides, ils ont différencié de nouvelles variétés de plus en plus résistantes aux sécheresses, aux coups de chaleur et aux parasites. Très récemment, les biologistes moléculaires ont entrepris d'identifier les gènes de l'ADN des végétaux qui sont responsables de leurs caractéristiques avantageuses, de telle sorte que ces gènes puissent être incorporés dans d'autres espèces. Ces avancées se fondent sur la compréhension de l'évolution afin d'analyser les relations de parenté entre plantes et de rechercher les caractéristiques utilisables pour améliorer les variétés cultivées.

L'évolution peut produire de petits et de grands changements dans les populations d'organismes

Les biologistes spécialistes de l'évolution ont découvert des structures, des processus et des voies biochimiques, et aussi des comportements qui semblent avoir été fortement conservés à l'intérieur des espèces ainsi qu'entre espèces. Certaines espèces semblent n'avoir subi que peu de changements apparents dans leurs structures corporelles pendant des millions d'années. Au niveau de l'ADN, certains gènes contrôlant la production de substances biochimiques ou de réactions chimiques qui sont essentielles au fonctionnement cellulaire montrent peu de variations entre espèces qui n'ont entre elles que des relations lointaines (voir par exemple les séquences d'ADN un peu différentes d'un gène qui est conservé dans deux espèces proches, relativement à la séquence correspondante du gène dans une troisième espèce, apparentée aux deux premières de façon plus lointaine).

Cependant, la sélection naturelle peut aussi avoir des conséquences évolutives radicalement différentes sur différentes échelles de temps. Sur des périodes de quelques générations seulement (ou même en une seule génération, dans certains cas étudiés), l'évolution produit des changements de faibles amplitudes, dits **microévolutifs***, chez les organismes. Par exemple, beaucoup de bactéries à l'origine de maladies ont évolué en développant une résistance accrue aux antibiotiques. Quand une bactérie subit un changement génétique qui accroît sa capacité à résister aux effets d'un antibiotique, cette bactérie peut survivre et produire plus de copies d'elle-même, alors que les bactéries non résistantes sont tuées. Les bactéries provoquant la tuberculose, la méningite, des infections par staphylocoques, des maladies sexuellement transmissibles et d'autres pathologies sont toutes devenues sources de sérieux problèmes au fur et à mesure qu'elles ont développé des résistances à un nombre croissant d'antibiotiques.

Un autre exemple de changements microévolutifs provient d'une expérience sur les guppies vivant dans la rivière Aripo sur l'île de Trinidad (Antilles). Les guppies de cette rivière sont mangés par une espèce de poisson de plus grande taille qui consomme aussi bien les adultes que les jeunes. En revanche, les guppies vivant dans les petits affluents de cette rivière sont consommés par un poisson de plus petite taille qui s'attaque principalement aux jeunes. Les guppies de la rivière Aripo arrivent à maturité plus rapidement, sont plus petits et donnent

* Microévolution : changements dans les caractères d'un organisme qui n'aboutissent pas à une nouvelle espèce.

naissance à des jeunes plus petits et plus nombreux que ceux qui vivent dans les affluents parce que les guppies porteurs de ces caractères sont plus capables d'éviter leurs prédateurs dans la rivière que ne le sont les plus grands guppies. Quand on préleva des guppies de la rivière Aripo pour les introduire dans un affluent sans population préalable de guppies, on constata qu'en une vingtaine de générations ils évoluèrent en acquérant des caractères semblables à ceux des guppies des autres affluents.

Des changements évolutifs par incréments peuvent donner naissance, sur des durées généralement considérées comme très longues, à de nouveaux types d'organismes, y compris de nouvelles espèces.

La formation d'une espèce nouvelle a généralement lieu quand un sous-groupe d'une espèce en vient à se reproduire préférentiellement en son propre sein pendant une longue durée. Par exemple, un sous-groupe peut se trouver géographiquement isolé du reste de l'espèce, ou en venir à utiliser les ressources d'une façon qui le met à l'écart, par rapport aux autres membres de la même espèce. Comme les membres du sous-groupe se reproduisent entre eux, ils accumulent des différences génétiques par rapport au reste de l'espèce. Si cet isolement reproductif se poursuit sur des périodes prolongées, les membres du sous-groupe peuvent en arriver à ne plus répondre aux signaux de parade ou à d'autres signaux des membres de la population originelle. Finalement, les changements génétiques deviennent si importants que les membres des divers sous-groupes ne peuvent plus produire ensemble de descendants viables, même s'ils se rencontrent. De cette manière, les espèces existantes peuvent continuellement être à l'origine d'espèces nouvelles.

Combien de générations peuvent être produites en un million d'années ?		Combien de temps pour produire 1 000 générations ?	
d'années	1 génération	1.000 générations	générations par million
Bactéries :	1 heure à 1 jour	1.000 heures (42 jours) à 2,7 ans	8,7 milliards à 370,4 millions
Animaux domestiques :	2 ans	2.000 ans	500.000
(chiens.chats)			
Humains :	22 ans	22.000ans	45.000

Sur de très longues durées, les spéciations successives peuvent en arriver à produire des organismes qui sont très différents de leurs ancêtres. Bien que chaque espèce nouvelle ressemble à sa devancière, dont elle est issue, une série de nouvelles espèces successives peut s'éloigner de plus en plus de la forme ancestrale. Cette divergence à partir de la forme ancestrale peut devenir particulièrement spectaculaire quand un changement évolutif permet à un groupe d'organismes d'occuper un nouvel habitat ou d'utiliser une ressource de façon nouvelle.

Considérons par exemple l'évolution continue des tétrapodes après que les premiers animaux à pattes marcheuses ont commencé à vivre sur le sol. Tandis que de nouvelles espèces de végétaux évoluaient et couvraient les continents, de nouvelles espèces de tétrapodes apparurent avec des caractéristiques qui leur permettaient de tirer avantage des ressources de ces environnements nouveaux. Les premiers tétrapodes étaient des amphibiens qui passaient une partie de leur vie en milieux terrestres mais qui continuaient à pondre leurs œufs dans l'eau ou dans des environnements humides. L'évolution de l'œuf amniotique, il y a environ 340 millions d'années, avec des structures telles qu'une coquille dure ou souple, et des membranes supplémentaires permettant à l'embryon de survivre et de se développer dans des environnements secs, fut l'une des innovations-clés de l'évolution des reptiles.

Les premiers tétrapodes pourvus de l'œuf amniotique se séparèrent en lignées majeures. L'une de ces lignées mena aux reptiles, incluant les dinosaures et aussi les oiseaux. Un autre rameau donna naissance aux mammifères, il y a entre 200 et 250 millions d'années.

La transition évolutive des premiers amniotes jusqu'aux mammifères est particulièrement bien représentée dans le matériel paléontologique. Les formes fossiles successives de cette lignée tendent à avoir des cerveaux de plus en plus grands et des organes sensoriels de plus en plus spécialisés, des mâchoires et des dents adaptées à une mastication et une audition de plus en plus efficaces. De même, on observe une modification graduelle de l'orientation des membres, passant d'une position latérale à une position redressée sous le corps, et un tractus reproducteur chez les femelles de plus en plus capable d'assurer le développement interne et la nutrition du jeune. Beaucoup des innovations évolutives observées chez les mammifères ont pu être associées à l'apparition d'une physiologie « à sang chaud », qui permet un style de vie plus actif sur une échelle de températures beaucoup plus étendue que chez les ancêtres reptiliens à sang froid.

Puis, entre 60 et 80 millions d'années avant notre ère, on constate l'apparition, dans les collections fossiles, d'un nouveau groupe de mammifères, les primates. Ces mammifères ont des

mains et des pieds préhensiles, des yeux orientés vers l'avant et des cerveaux encore plus grands et complexes. C'est la lignée à partir de laquelle les humains ancestraux puis modernes évoluèrent.

L'évolution dans l'industrie : mettre la sélection naturelle au travail

Le concept de sélection naturelle a été appliqué à beaucoup de domaines, en-dehors de la biologie. Par exemple, les chimistes ont appliqué les principes de la sélection naturelle pour développer de nouvelles molécules dotées de fonctions spécifiques. Ils créent d'abord des variants d'une molécule existante en utilisant des techniques chimiques. Ils testent ensuite ces variants pour la fonction désirée. Les variants qui répondent le mieux au besoin sont utilisés pour fabriquer de nouveaux variants. De ces cycles successifs de processus sélectifs émergent des molécules qui ont des propriétés nettement améliorées pour assurer la fonction désirée. Cette technique a été utilisée pour créer de nouvelles enzymes qui peuvent convertir les tiges de maïs et d'autres déchets végétaux en éthanol avec une efficacité bien plus grande que celle des enzymes connues jusqu'alors pour catalyser de telles transformations.

Les scientifiques recherchent des explications des phénomènes naturels en se fondant sur les données de l'observation

Les avancées dans la compréhension de l'évolution au cours des deux derniers siècles fournissent un superbe exemple de la façon dont la science fonctionne. Le savoir scientifique et la compréhension des choses s'accroissent du fait d'un dialogue entre observation et explication. Les chercheurs recueillent des informations par l'*observation* du monde naturel et en poursuivant des *expériences*. Ils proposent ensuite une explication (*hypothèse*) sur la manière dont le système étudié se comporte en général, en fondant leurs explications sur les données fournies par leurs expériences et d'autres observations. Ils *testent* leurs explications en effectuant des observations supplémentaires et des expériences sous de nouvelles conditions. D'autres chercheurs confirment les observations indépendamment et procèdent à des études supplémentaires qui peuvent conduire à des explications et prévisions plus raffinées sur les résultats à attendre de futures observations et expériences. De cette façon, les chercheurs parviennent continuellement à des explications de plus en plus précises et pénétrantes d'aspects particuliers de la nature.

En science, les explications doivent être fondées sur des phénomènes qui se déroulent naturellement. Les causes naturelles sont, en principe, reproductibles et peuvent, de ce fait, être vérifiées indépendamment par d'autres. Si les explications sont fondées sur des forces supposées être en dehors de la nature, les chercheurs scientifiques n'ont aucun moyen soit pour confirmer, soit pour infirmer ces explications. Toute explication scientifique doit être *testable* : il doit y avoir des conséquences observables possibles qui peuvent confirmer l'idée *mais qui peuvent*

aussi la réfuter. Si une explication est proposée de telle façon qu'elle ne puisse jamais être potentiellement réfutée par des preuves observables, elle ne peut être l'objet d'une mise à l'épreuve scientifique.

Définition de la science

L'utilisation de données factuelles pour construire des explications testables et des prévisions sur les phénomènes naturels, ainsi que le savoir produit par ce processus

Du fait que les observations et les explications se construisent les unes sur les autres, la science est une activité cumulative. Des observations et expérimentations répétables génèrent des explications décrivant la nature de façon de plus en plus complète et précise, et ces explications suggèrent à leur tour de nouvelles observations et expériences qui peuvent être utilisées pour tester et étendre l'explication. De cette manière, la finesse et l'étendue des explication s'améliorent au fil du temps, tandis que des générations successives de chercheurs scientifiques, utilisant souvent des innovations techniques, travaillent pour corriger, raffiner et étendre le travail accompli par leurs prédécesseurs.

Il n'est pas possible en science de prouver avec une certitude absolue qu'une explication donnée est complète et définitive. Certaines explications avancées par les scientifiques se révèlent incorrectes après avoir été testées par de nouvelles observations ou expériences. Des instruments nouveaux peuvent rendre possibles des observations qui révèlent l'inadéquation d'une explication existante. Des idées nouvelles peuvent conduire à des explications qui révèlent le caractère incomplet ou déficient des explications précédentes. Bien des idées scientifiques qui étaient acceptées à un moment donné sont reconnues maintenant comme inexactes ou ne s'appliquant qu'à un domaine limité.

L'évolution est-elle une théorie ou un fait ?

Les deux, mais cette réponse exige de s'intéresser plus profondément au sens des mots « théorie » et « fait ».

Dans la langue de tous les jours, le terme de *théorie* signifie souvent une spéculation assez vague. Quand les gens disent « j'ai une théorie sur ce qui est arrivé », ils tirent souvent une conclusion fondée sur des preuves fragmentaires ou non concluantes.

La définition scientifique officielle d'une théorie est très différente du sens commun de ce mot. Elle se réfère à une explication détaillée d'un certain aspect de la nature fondée sur un vaste ensemble de données et de preuves.

Beaucoup de théories scientifiques sont si bien établies qu'il y a peu de chances que des données nouvelles viennent les modifier substantiellement. Par exemple, on ne pense pas que de nouvelles données viennent jamais démontrer que la Terre ne tourne pas autour du soleil (théorie

héliocentrique) ou que les êtres vivants ne sont pas formés de cellules (théorie cellulaire), que la matière n'est pas formée d'atomes (théorie atomique), ou que la surface terrestre n'est pas divisée en plaques solides qui se sont déplacées au cours des temps géologiques (théorie de la tectonique des plaques). Tout comme ces autres théories fondamentales de la science, la théorie de l'évolution est soutenue par tant d'observations et confirmée par tant d'expériences que les scientifiques sont confiants dans l'idée que les composants fondamentaux de la théorie ne seront jamais renversés par de nouvelles données. Cependant, comme pour toutes les théories scientifiques, la théorie de l'évolution est sujette à des perfectionnements constants du fait de l'émergence de nouveaux champs scientifiques ou parce que des techniques nouvelles permettent des observations et des expériences qui étaient impossibles auparavant.

Une des propriétés les plus utiles des théories scientifiques est que l'on peut les utiliser pour faire des prévisions à propos d'événements naturels ou de phénomènes qui n'ont pas encore été observés. Par exemple, la théorie de la gravitation prévoyait le comportement d'objets à la surface de la Lune et d'autres planètes bien avant que les activités des vaisseaux spatiaux et des astronautes ne les confirment. Les biologistes évolutionnistes qui découvrirent *Tiktaalik* avaient prévu que l'on découvrirait des fossiles intermédiaires entre les poissons et les animaux à membres marcheurs dans des couches sédimentaires âgées d'environ 375 millions d'années. Leur découverte a confirmé la prévision établie sur les bases de la théorie de l'évolution. Réciproquement, la confirmation d'une prévision accroît la confiance que l'on peut placer dans la théorie.

En science, un *fait* se réfère typiquement à une observation, une mesure ou une autre forme de donnée dont on peut penser qu'elle se répètera à l'identique dans des circonstances semblables. Toutefois, les scientifiques utilisent aussi le terme de « fait » pour désigner une explication scientifique qui a été testée et confirmée si souvent qu'il n'y a plus véritablement de raisons contraignantes pour continuer à la tester ou pour rechercher des exemples supplémentaires. Dans cette perspective, on peut dire que l'existence passée et actuelle de l'évolution est un fait scientifique. Les preuves scientifiques de l'évolution sont si fortes que les chercheurs ne se posent plus la question de savoir si l'évolution a eu lieu et se poursuit toujours. Ils s'intéressent plutôt aux mécanismes de l'évolution, au rythme de sa mise en œuvre et aux questions que ces thèmes peuvent susciter à leur tour.

Cependant, beaucoup d'explications scientifiques ont été si complètement mises à l'épreuve qu'il est très improbable qu'elles changent de façon importante à la lumière de nouvelles observations ou de nouvelles expériences. Ces explications sont donc acceptées par les scientifiques comme des descriptions factuelles et véritables du monde naturel. La structure

atomique de la matière, les bases génétiques de l'hérédité, la circulation du sang, la gravitation et le mouvement des planètes et le processus de l'évolution biologique par sélection naturelle ne sont que quelques exemples d'un très grand nombre d'explications scientifiques qui ont été confirmées de façon écrasante.

La science n'est pas la seule façon de savoir et de comprendre mais *la science est un mode d'acquisition des connaissances qui diffère des autres en ce qu'elle dépend entièrement de données factuelles contrôlables et d'explications susceptibles d'être mises à l'épreuve*. Comme l'évolution biologique rend compte d'événements qui sont aussi d'une importance centrale pour les religions - en particulier l'origine de la diversité biologique et tout particulièrement l'origine de l'homme - l'évolution biologique a été une idée mise en doute par la société dès qu'elle fut exprimée par Charles Darwin et Alfred Russel Wallace en 1858.

L'acceptation des preuves de l'évolution peut être compatible avec la foi religieuse

Aujourd'hui, de nombreuses confessions religieuses acceptent que l'évolution biologique ait produit la diversité des êtres vivants au cours des milliards d'années de l'histoire de la Terre. Beaucoup ont publié des déclarations observant que l'évolution était compatible avec les postulats de leur foi. Des hommes de science comme des théologiens ont disserté avec éloquence sur leur terreur sacrée et leur admiration face à l'histoire de l'univers et de la vie sur cette planète, expliquant qu'ils ne voyaient pas de conflit entre leur foi en Dieu et les preuves de l'évolution. Les confessions religieuses qui n'acceptent pas la réalité de l'évolution tendent à être celles qui croient en une interprétation strictement littérale des textes religieux.

Science et religion sont fondées sur des aspects différents de l'expérience humaine. En science, les explications *doivent* être basées sur des données de fait tirées de l'examen du monde naturel. Des observations ou expériences scientifiquement bien fondées qui entrent en conflit avec une explication précédemment admise *doivent entraîner* une modification ou même l'abandon de cette explication. Par contraste, la foi religieuse ne dépend pas seulement des données de fait, ne doit pas nécessairement être modifiée face à des données contradictoires et inclut résolument des entités ou des forces surnaturelles.

Comme elles ne font pas partie de la nature, les entités surnaturelles ne peuvent pas être étudiées par la science. En ce sens, science et religion sont distinctes et s'adressent de façons différentes à

des aspects de l'entendement humain. Les tentatives de dresser science et religion l'une contre l'autre créent des controverses qui n'ont pas lieu d'être.

Extraits de déclarations de responsables religieux qui ne voient pas de conflit entre leur foi et la science

Beaucoup de représentants de confessions religieuses et de religieux à titre individuel ont publié des déclarations reconnaissant l'existence de l'évolution et soulignant que l'évolution n'est pas en conflit avec la foi.

« Il n'y a pas de contradiction entre une théorie évolutionniste des origines humaines et la doctrine de Dieu comme Créateur »
- Assemblée générale de l'Église Presbytérienne -

« L'ignorance des étudiants en matière d'évolution limitera sérieusement leur compréhension du monde et des lois naturelles qui le gouvernent, et leur présenter d'autres explications décrites comme « scientifiques » leur donnera une idée fautive des méthodes et des critères de la science »
- Conférence centrale des Rabbins américains -

« Dans son Encyclique *Humani generis* (1950) mon prédécesseur Pie XII a déjà affirmé qu'il n'y a pas de conflit entre l'évolution et la doctrine de la foi concernant l'homme et sa destinée, dans la mesure où nous ne perdons pas de vue certains points fixes... Aujourd'hui, plus d'un demi-siècle après la publication de cette Encyclique, certaines découvertes nouvelles nous conduisent à envisager de reconnaître l'évolution comme plus qu'une hypothèse. En fait, il est remarquable que cette théorie a eu une influence progressivement de plus en plus grande dans l'esprit des chercheurs, à la suite d'une série de découvertes dans différentes disciplines savantes. La convergence des résultats de ces études indépendantes - qui n'était ni organisée ni espérée - constitue par elle-même un argument significatif en faveur de la théorie.
- Pape Jean-Paul II, Message à l'Académie Pontificale des Sciences, 22 Octobre 1996

« Nous soussignés, membres de Clergés chrétiens de nombreuses traditions différentes, croyons que les vérités intemporelles de la Bible et les découvertes de la science moderne peuvent co-exister confortablement. Nous croyons que la théorie de l'évolution est une vérité scientifique fondamentale, une théorie qui a résisté victorieusement à une analyse critique rigoureuse et sur laquelle repose une bonne partie du savoir et des réalisations humaines. Rejeter cette vérité ou la traiter comme « une théorie parmi d'autres » c'est épouser délibérément l'ignorance scientifique et la transmettre à nos enfants. Nous croyons que parmi les bons cadeaux de Dieu sont des esprits humains capables de pensée critique et que l'échec à employer pleinement ce don est un rejet de la volonté de notre Créateur... Nous pressons les responsables scolaires de préserver l'intégrité des programmes de sciences en confortant l'enseignement de la théorie de l'évolution comme constituant de base des connaissances humaines.

« The Clergy letter project » signé par plus de 10.000 membres de clergés chrétiens
http://www.butler.edu/clergyproject/clergy_project.htm.

Extraits de déclarations de chercheurs scientifiques qui ne voient pas de conflit entre leur foi et la science

Les chercheurs scientifiques, tout comme les gens d'autres professions, représentent un large spectre d'opinions concernant la religion et le rôle d'entités ou de forces surnaturelles dans l'univers. Certains adhèrent à une position connue sous le nom de scientisme, qui considère que les méthodes de la science seule sont suffisantes pour découvrir tout ce qu'il peut y avoir à connaître sur l'univers. D'autres souscrivent à une idée dénommée déïsme, qui admet que Dieu créa toutes choses et mit l'univers en mouvement mais ne dirige plus activement les phénomènes physiques. D'autres sont théistes, qui croient que Dieu intervient activement dans le monde. Beaucoup de scientifiques qui croient en Dieu, soit comme moteur premier soit comme une force active dans l'univers, ont écrit éloquemment à propos de leurs croyances.

« Les créationnistes se tournent inévitablement vers Dieu pour tout ce que la science n'a pas encore expliqué ou pour ce qu'ils considèrent que la science ne peut pas expliquer. La plupart des scientifiques qui sont croyants voient Dieu dans ce que la science comprend et a expliqué »

Kenneth Miller, Professeur de biologie à la Brown University et auteur de *Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground Between God and Evolution* (Découvrir le Dieu de Darwin : la recherche d'un scientifique pour un fonds commun entre Dieu et l'évolution). (d'après une interview disponible sur <http://www.actionbioscience.org/evolution/miller.html>.)

« Selon moi, il n'y a pas de conflit entre être un scientifique rigoureux et une personne croyant en un Dieu qui prendrait un intérêt personnel à chacun d'entre nous. Le domaine de la science est d'explorer la nature. Le domaine de Dieu relève du monde spirituel, un domaine impossible à explorer avec les outils et le langage de la science. Il doit être examiné avec le cœur, l'esprit et l'âme »

Francis Collins, Directeur du projet Génome humain et de l'Institut national de recherche sur le génome humain de l'Institut National de la Santé (NIH) Extrait de son livre « Le langage de Dieu : un scientifique présente la raison de croire »

« Notre compréhension scientifique de l'univers... offre pour ceux qui croient en Dieu une merveilleuse occasion de réfléchir sur leurs croyances »

Père George Coyne, prêtre catholique, jésuite et ancien directeur de l'Observatoire du Vatican, (extrait d'une conférence disponible sur <http://chem.tufts.edu/AnswersInScience/Coyne-Evolution.htm>.)

CHAPITRE 2

LES DONNEES ET PREUVES EN FAVEUR DE L'ÉVOLUTION

L'origine de l'Univers, de la Terre et de la Vie

Le terme « évolution » se rapporte généralement à l'évolution biologique des êtres vivants. Mais les processus par lesquels les planètes, les étoiles, les galaxies et l'univers se forment et changent au cours du temps sont aussi des types d'« évolution ». Dans tous ces cas, des changements se produisent au cours du temps, bien que les mécanismes à l'œuvre soient tout à fait différents. À la fin des années 1920, l'astronome américain Edwin Hubble fit une découverte intéressante et importante. Il conclut de ses observations que les étoiles et galaxies lointaines s'éloignaient de la Terre dans toutes les directions. De plus, la vitesse de leur éloignement augmentait en raison de leur distance. Depuis l'époque de Hubble, cette découverte a été confirmée par un grand nombre de mesures. Ces découvertes impliquent que l'univers est en expansion. La théorie de Hubble d'un univers en expansion conduit à plusieurs déductions, dont l'une est que l'univers était auparavant plus condensé. D'où la proposition que toute la matière et toute l'énergie que l'on peut aujourd'hui observer dans l'univers étaient initialement condensées en une masse très réduite et infiniment chaude. Une explosion gigantesque, qu'on appelle le « Big Bang » a alors répandu la matière et l'énergie dans toutes les directions.

Note critique. Pour l'anecdote, ajoutons que le terme « Big Bang » utilisé en 1942 par un farouche opposant de cette théorie, Fred Hoyle, pour la disqualifier, a finalement eu un succès bien plus grand qu'« atome primitif », l'appellation proposée initialement par l'abbé Georges Lemaître, qui dès 1927 avait, avec le cosmologiste Friedman, formulé, sur la base de la relativité générale, le modèle d'un univers en expansion et surtout la loi donnant le décalage spectral des galaxies en fonction de leur distance.

L'hypothèse du « Big Bang » a conduit à des prévisions plus faciles à tester. Une de ces déductions voulait que la température dans l'espace profond devrait être de plusieurs degrés au-dessus du zéro absolu. Et en effet, le satellite COBE (Cosmic Microwave Background Explorer),

lancé en 1991, a confirmé que le champ du rayonnement intersidéral présente exactement le spectre thermique prédit par la théorie du « Big Bang » pour l'origine de l'univers.

Selon les interprétations scientifiques actuelles, alors que l'univers s'accroissait, de la matière s'est condensée en nuages et s'est mise en rotation, formant ainsi les prémises des galaxies. À l'intérieur des galaxies, y compris la nôtre, la Voie lactée, des changements de pression ont provoqué la formation de nuages de gaz et de poussières séparés. Dans certains cas, quand leur masse était suffisante et les forces en jeu convenables, les nuages se sont effondrés sur eux-mêmes du fait de la force de gravitation. Lorsque la masse de matière était suffisamment comprimée, des réactions nucléaires se sont déclenchées et une étoile est née.

Une certaine proportion de ces étoiles, dont notre soleil fait partie, se sont formées au centre d'un disque de matière en rotation. Dans le cas de notre soleil, les gaz et les poussières de ce disque sont entrés en collision et se sont agrégés en petits grains, les grains formant à leur tour des objets plus gros appelés planétésimaux (« très petites planètes »). Certains d'entre eux ont fini par atteindre des diamètres de plusieurs centaines de kilomètres. En plusieurs étapes, nos neuf planètes et leurs nombreux satellites se sont formés par la fusion de ces objets. Les planètes rocheuses, comme la Terre, se sont situées près du soleil, les planètes gazeuses sur des orbites plus éloignées.

Grâce aux méthodes scientifiques modernes, on peut estimer l'âge de l'univers, celui de notre galaxie, du système solaire, et de la Terre. L'âge de l'univers peut-être déduit des relations observées entre les distances séparant les galaxies et leurs vitesses. Les vitesses des galaxies éloignées peuvent être mesurées très exactement, mais la mesure des distances sont plus sujettes à caution. Durant les dernières décennies, les mesures de l'expansion de l'univers suivant l'hypothèse de Hubble ont fourni des estimations de l'âge de l'univers comprises entre 7 et 20 milliards d'années ; les meilleures et plus récentes mesures nous conduisent à une estimation comprise entre 10 et 15 milliards d'années.

L'âge de la Voie lactée a pu être calculé de deux façons. La première part de l'étude des stades d'évolution des étoiles de différentes tailles des amas globulaires. Ces amas sont situés dans un léger halo entourant le centre de la galaxie, chacun de ces groupes pouvant comprendre de cent mille à un million d'étoiles. Ces étoiles ne contiennent que des quantités infimes d'éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium. Cela indique qu'elles se sont formées très tôt dans l'histoire de la galaxie, avant que de grandes quantités d'éléments lourds ne soient créées

lors de la première génération d'étoiles et distribués par la suite dans le milieu interstellaire par l'explosion de supernovas (le « Big Bang » par lui-même n'a créé que des atomes d'hydrogène et d'hélium). L'estimation de l'âge des étoiles des amas globulaires se situe dans une fourchette de 11 à 16 milliards d'années. La seconde méthode d'estimation de l'âge de notre galaxie est fondée sur l'abondance actuelle dans le système solaire de plusieurs éléments radioactifs à longue demi-vie. Leur abondance dépend de leurs taux de production et de distribution lors de l'explosion de supernovas. D'après ces calculs, l'âge de notre galaxie est compris entre 9 et 16 milliards d'années. Ainsi, ces deux modes d'estimation de l'âge de la Voie lactée sont en accord, et sont aussi en accord avec l'âge de l'univers, calculé indépendamment.

Les éléments radioactifs naturels découverts dans les roches et minéraux fournissent également un moyen d'estimer l'âge du système solaire et de la Terre. Plusieurs de ces éléments ont des demi-vies comprises entre 700 millions et plus de 100 milliards d'années (la demi-vie, ou période, d'un élément radioactif est le temps nécessaire à la décroissance de moitié de sa radioactivité). En se servant de ces horloges, on a pu calculer que les météorites, qui sont des fragments d'astéroïdes, se sont formés il y a environ 4,53 à 4,58 milliards d'années (les astéroïdes sont de petites « planétoïdes » qui tournent autour du Soleil et sont les restes de la nébuleuse solaire qui a donné naissance au Soleil et à ses planètes). Les mêmes horloges radioactives appliquées aux trois échantillons les plus anciens rapportés de la lune sur la Terre par les astronautes des missions Apollo nous fournissent un nombre compris entre 4,4 et 4,5 milliards d'années comme durée minimale du temps écoulé depuis la formation de la Lune.

Les roches les plus anciennes connues sur la Terre, se situent au nord-ouest du Canada. Elles sont datées de 3,96 milliards d'années, mais on trouve des roches presque aussi anciennes dans d'autres parties du monde. Dans l'ouest de l'Australie, on trouve des cristaux de zircon incrustés dans des roches plus jeunes. Ils sont vieux de 4,3 milliards d'années, ce qui en fait le matériau le plus ancien connu sur Terre jusqu'à présent.

Les meilleures estimations de l'âge de la Terre ont été obtenues en calculant le temps nécessaire à la formation de certains isotopes du plomb dans les plus anciens minerais de plomb de la Terre. Ces calculs nous donnent 4,54 milliards d'années comme âge de la Terre et des météorites, donc comme âge du système solaire.

La datation radiométrique

Selon la cosmologie moderne, les particules constitutives de la matière ordinaire (protons, neutrons et électrons) se sont formées lors du refroidissement de l'univers après le « big bang » ; ces particules se réunirent alors pour former des atomes d'hydrogène et d'hélium et de faibles quantités de l'élément plus lourd suivant dans la classification périodique, le lithium. Tous les autres éléments dans l'univers se sont formés au sein d'étoiles comme le Soleil et lors d'explosions d'étoiles constituant les supernovae. C'est par l'addition de neutrons aux éléments plus légers que des réactions nucléaires produisirent les éléments plus lourds. Les supernovae ont dispersé ces éléments lourds dans l'espace interstellaire. Mêlés à l'hydrogène, à l'hélium et au lithium issus du « Big bang » ces éléments plus lourds ont formé notre système solaire.

Certains atomes sont radioactifs, ce qui signifie qu'ils se dégradent naturellement en formant d'autres atomes radioactifs ou stables, cela en émettant des particules subatomiques et de l'énergie. Chaque **nucléide*** radioactif a une période ou demi-vie caractéristique, qui est la quantité de temps nécessaire pour que la moitié des atomes de l'échantillon initial soit transformée en autres nucléides. Les atomes radioactifs peuvent ainsi servir d'horloges internes pour la matière. En comparant la quantité des éléments radioactifs contenus dans un matériau (un minéral, par exemple) à la quantité de leurs produits de dégradation, les chercheurs peuvent déterminer quand celui-ci s'est formé. Ces mesures ont donné des âges pour la croûte terrestre, la Lune, les météorites et le système solaire. Toutes ces mesures montrent que ces objets ont des milliards d'années.

Certains opposants à la théorie de l'évolution essayent de jeter le doute sur la valeur des âges radiométriques. La datation radiométrique est le résultat de plus d'un siècle de recherches ingénieuses et constitue l'un des accomplissements les mieux démontrés de la science moderne.

L'origine de la vie ne peut être datée aussi précisément, mais l'on dispose d'indications selon lesquelles des organismes ressemblant à des bactéries auraient vécu sur Terre il y a 3,5 milliards d'années. Il se pourrait même qu'ils aient existé plus tôt, lorsque la croûte terrestre solide s'est formée, il y a presque 4 milliards d'années. Ces premiers organismes vivants auraient été moins complexes que ceux d'aujourd'hui. De plus, avant les tout premiers organismes, il a dû exister des structures qu'on ne saurait appeler « vivantes » et qui sont cependant aujourd'hui des composants de la matière vivante. De nos jours, tous les organismes vivants contiennent et transmettent leur information génétique en utilisant deux types de molécules : l'ADN et les ARN. Chacune de ces molécules est à son tour composée de quatre types de sous-unités appelées les nucléotides. La séquence en nucléotides de segments donnés de ces molécules, ce qu'on appelle les gènes, contrôle la synthèse de molécules appelées les protéines, qui à leur tour catalysent les réactions biochimiques, produisent les composants structurels des organismes, et réalisent

* Nucléide : ce terme définit un atome ayant un nombre donné de protons et de neutrons dans son noyau. Un élément est défini par le nombre de protons dans son noyau. Des nucléides qui ont le même nombre de protons mais des nombres différents de neutrons dans leur noyau sont des isotopes du même élément.

nombre d'autres fonctions nécessaires à la vie. Les protéines consistent en une chaîne de sous-unités dénommées acides aminés. La séquence des nucléotides dans l'ADN et l'ARN détermine la séquence des acides aminés des protéines ; ce mécanisme moléculaire est au centre de toute la biologie.

Des expériences, conduites dans des conditions s'efforçant de ressembler à celles qui étaient présentes sur la Terre primitive, ont permis de produire certains des composés chimiques des protéines, de l'ADN, de l'ARN. Des astronomes, en se servant de radiotélescopes, ont détecté certaines de ces molécules dans des météorites et dans l'espace interstellaire. Les scientifiques en ont conclu que les « briques de construction de la vie » pourraient avoir été disponibles très tôt dans l'histoire de la Terre.

ARN : ACIDE RIBONUCLÉIQUE

Une molécule proche de l'ADN, constituée de sous-unités appelées nucléotides liées entre eux en formant une chaîne. Les ARN ont de nombreuses fonctions dans la vie cellulaire, notamment en constituant le « patron » pour la synthèse des protéines et en catalysant certaines réactions biochimiques.

Il y a encore quelque temps, on pensait que seules les protéines pouvaient servir de catalyseurs capables d'effectuer les réactions biochimiques. La découverte de certaines molécules d'ARN, appelées « ribozymes », a ouvert une importante voie de recherches. Ces ribozymes agissent comme catalyseurs dans les cellules modernes. On peut ainsi penser que dans le monde prébiotique des molécules d'ARN pourraient avoir été autocatalytiques : elles auraient pu être capables d'assurer leur propre réplication bien avant que des catalyseurs protéiques (les enzymes) ne soient présents. On a pu montrer par des expériences de laboratoire que de telles molécules d'ARN autocatalytiques, capables de se répliquer, subissent des changements spontanés et que des variants de ces molécules d'ARN, possédant une activité autocatalytique plus grande, arrivent à dominer dans leur environnement. Certains scientifiques penchent pour l'hypothèse qu'un « monde ARN » précoce a préexisté au monde actuel ; ils recherchent des modèles qui pourraient conduire de l'ARN à la synthèse de molécules simples d'ADN et de protéines. De tels assemblages de molécules pourraient avoir été ultérieurement entourés de membranes, formant ainsi des « protocellules » - version primitive de cellules.

Pour ceux qui étudient l'origine de la vie, la question n'est plus de savoir si l'apparition de la vie a résulté, ou non, de mécanismes chimiques impliquant des composés non biologiques. La question est à présent de déterminer quelle voie, parmi les nombreux chemins possibles, a permis la production des premières cellules. Serons-nous jamais capables d'identifier le chemin de l'évolution chimique qui a réussi à déclencher la vie sur la Terre ? Les scientifiques construisent des expériences et spéculent sur les conditions nécessaires pour que la Terre primitive ait pu

fournir un site favorable à la mise en place correcte de l'architecture moléculaire qui a pu être celle des premiers systèmes vivants. Parmi les plus récentes spéculations, il y a celle qui suppose que les premières cellules vivantes sont apparues sur Mars, ensemençant ensuite la Terre grâce aux nombreux météorites qui voyagent de Mars jusqu'à notre planète.

Bien sûr, même si une cellule vivante était fabriquée en laboratoire, cela ne prouverait pas que la nature ait suivi le même chemin des milliards d'années plus tôt. Mais c'est le travail de la science de proposer des explications naturelles plausibles pour les phénomènes naturels. L'étude des origines de la vie est un domaine de recherches très actif, en progrès constant, même s'il convient d'observer que les scientifiques sont d'accord pour penser que les hypothèses actuellement présentées sont très loin d'être confirmées. L'histoire des sciences nous montre que des problèmes apparemment insolubles comme celui-ci ont trouvé plus tard une solution, du fait d'avancées théoriques ou de progrès sur le plan de l'instrumentation, ou encore à la suite de nouvelles découvertes.

Les points de vue créationnistes sur l'origine de l'Univers, de la Terre et de la vie

Pour nombre de croyants, y compris des scientifiques, c'est Dieu qui créa l'univers et tous les mécanismes contrôlant l'évolution physique et biologique ainsi que tous les processus qui ont conduit à la formation des galaxies, de notre système solaire et de la vie sur Terre. Cette croyance, qu'on appelle parfois « Théïsme ou Déïsme évolutionniste », n'est pas en contradiction avec les explications scientifiques de l'évolution. En fait, elle reflète le caractère remarquable et exaltant de l'univers physique, tel qu'il est révélé par la cosmologie, la paléontologie, la biologie moléculaire et bien d'autres disciplines scientifiques. Mais en tant que *croyance*, cette attitude d'esprit sort tout simplement du domaine scientifique.

Les partisans de la « science de la création » présentent des points de vue variés. Pour certains, la Terre et l'univers sont relativement jeunes, et n'ont peut-être que 6 000 à 10 000 ans. Ces personnes croient souvent que la forme physique actuelle de la Terre s'explique par des « catastrophes », telles qu'un déluge universel, et que toutes les formes vivantes (y compris l'espèce humaine) ont été créées séparément et de façon miraculeuse, essentiellement sous la forme où nous les connaissons maintenant.

D'autres partisans de la « science de la création » sont d'accord pour accepter que la Terre,

les planètes et les étoiles existent depuis des millions d'années. Mais ils soutiennent que les différents types d'organismes vivants, et tout particulièrement l'espèce humaine, parce qu'ils témoignent d'un « dessein intelligent » (*Intelligent design**), n'ont pu advenir que grâce à une intervention surnaturelle.

Dans le présent fascicule, nous qualifierons de « créationnisme » ou de « création particulière » aussi bien le point de vue qui soutient une « Jeune Terre », de création récente, que celui d'une « Vieille Terre », de création ancienne.

Il n'y a aucune donnée ou calcul scientifique valable qui puisse conforter la croyance que la Terre a été créée il y a seulement quelques milliers d'années. Le présent document a résumé la grande quantité de preuves apportées par l'astronomie, l'astrophysique, la physique nucléaire, la géologie, la géochimie et la géophysique en faveur du grand âge de l'univers, de notre galaxie, du système solaire et de la Terre. Des méthodes scientifiques indépendantes aboutissent à un âge de la Terre et du système solaire d'environ 5 milliards d'années, et à un âge de notre galaxie et de l'univers deux à trois fois plus élevé. Ces conclusions font de l'origine de l'univers un ensemble compréhensible, donnent de la cohérence à différentes branches de la science, et forment le cœur d'un remarquable corpus de connaissances sur les origines et le comportement du monde physique.

De plus, aucune donnée ne permet d'affirmer que l'ensemble des archives géologiques, avec la succession ordonnée de ses fossiles, pourrait être l'effet d'un seul déluge universel qui se serait produit il y a quelques dizaines de milliers d'années, aurait duré un peu plus d'un an, recouvrant les plus hautes montagnes de plusieurs mètres. Bien au contraire, les dépôts marins et terrestres démontrent qu'à aucun moment du passé, l'ensemble de la planète n'a été entièrement recouvert d'eau. De plus, un déluge universel de magnitude suffisante pour former les **roches sédimentaires*** connues aujourd'hui, de plusieurs kilomètres d'épaisseur, aurait nécessité un volume d'eau beaucoup plus considérable que celui qui a jamais existé sur Terre, au moins depuis la formation de la première croûte solide il y a environ 4 milliards d'années. La croyance

* « Dessein intelligent ». Notons que le mot de l'ancien français « dessein », qui a donné « *design* » en anglais, a donné en français moderne à la fois « dessein » et « dessin ». Ainsi le mot anglais moderne « *design* » véhicule toujours à la fois le sens de « dessein » et de « dessin », d'où de possibles ambiguïtés de compréhension. Nous traduisons ici l'expression américaine par « dessein intelligent » qui véhicule bien l'idée essentielle d'une *intentionnalité*. (N d T).

* Les roches sédimentaires : roches formées de particules déposées par l'eau, le vent ou la glace (calcaires, marnes, grés, loess...)

selon laquelle les sédiments terrestres, avec leurs fossiles, auraient pu être déposés en une séquence ordonnée au cours de l'espace d'une année défie toutes les observations géologiques et les principes physiques concernant les taux de sédimentation et les quantités possibles de matière solide en suspension dans l'eau.

Les géologues ont pu établir une histoire détaillée des dépôts sédimentaires. Cette histoire fait le lien entre des catégories particulières de roches de la croûte terrestre et des environnements et des mécanismes précis. Si les géologues du pétrole avaient pu trouver plus de pétrole et de gaz en s'appuyant sur l'idée que les roches sédimentaires résultent d'un déluge unique, nul doute qu'ils eussent favorisé cette idée. Mais ce n'est pas le cas. Bien au contraire, ces personnes au sens pratique sont d'accord avec les géologues universitaires sur la nature des dépôts, leur environnement, et les temps géologiques. Les géologues du pétrole ont été des pionniers en reconnaissant que les dépôts fossilifères se sont formés au cours de millions d'années dans des environnements tels que les méandres des rivières, les deltas, les flèches littorales et les barrières de corail.

L'exemple des géologues du pétrole illustre l'une des grandes forces de la science. C'est en permettant à notre connaissance du monde naturel de prévoir les conséquences de nos actions que la science rend possible la solution de nos problèmes et crée de nouvelles ressources technologiques. Les connaissances détaillées qui nous ont été nécessaires pour développer notre civilisation n'ont été possibles que grâce à la recherche scientifique.

Les arguments des créationnistes ne sont pas déduits de faits observés dans le monde naturel. La « création spéciale » ou l'intervention surnaturelle ne sont pas susceptibles d'être soumis à des tests significatifs, qui exigeraient de formuler des prévisions plausibles, puis de soumettre ces prévisions à l'épreuve de l'observation et de l'expérimentation. En fait, la « création spéciale » inverse la démarche scientifique. L'explication est conçue comme irréfutable, et la recherche des données ne vise qu'à soutenir, par tous les moyens possibles, une conclusion définie *a priori*.

Les preuves en faveur de l'évolution biologique

Un long chemin mène des origines de la « vie » primitive, qui existe depuis au moins 3,5 milliards d'années, à la profusion et à la diversité de la vie d'aujourd'hui. Ce chemin ramifié est interprété comme le résultat de l'évolution. Contrairement à l'opinion commune, ni l'expression

ni l'idée d'évolution biologique n'ont été proposées pour la première fois par Charles Darwin dans son principal ouvrage *Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground Between God and Evolution (L'origine des espèces)*, 1859. De nombreux savants, depuis les philosophes grecs antiques, avaient émis l'hypothèse que des espèces ressemblantes partageaient un ancêtre commun. Le mot « évolution » est apparu pour la première fois en anglais en 1647 dans un contexte non biologique, et a été par la suite largement utilisé en anglais pour désigner toutes sortes de séries progressives partant de formes simples. Le terme que Darwin a le plus utilisé pour parler d'évolution biologique est « *descendance avec modification* », qui demeure encore aujourd'hui une bonne définition abrégée du processus invoqué. L'idée de Darwin est que l'évolution peut être expliquée par la capacité différente des organismes à survivre et à se reproduire du fait de différences héréditaires, un processus qu'il a appelé la « *sélection naturelle* ». Pour que s'exerce cette sélection, il est nécessaire que les descendants d'un croisement puissent, pour certains caractères, présenter des différences entre eux et avec leurs parents, et que ces différences soient héréditaires, c'est-à-dire susceptibles d'être transmises à leurs propres descendants. Dans la nature, les organismes produisent habituellement bien plus de descendants qu'il ne peut en survivre et se reproduire, du fait de la limitation des ressources, tels que l'espace et la nourriture. Si, donc, un individu possède des variations de certains caractères qui lui donnent un avantage dans un environnement particulier, cet individu sera plus apte à survivre et à transmettre ces variations. Ces différences s'accumulant de génération en génération, les populations d'organismes divergent progressivement de leurs ancêtres.

L'hypothèse première de Darwin a subi d'importantes modifications et extensions, mais les concepts centraux restent solides. Les études de génétique et de biologie moléculaire, deux disciplines inconnues du temps de Darwin, ont expliqué l'apparition des variations héréditaires qui sont essentielles à la sélection naturelle. Les variations génétiques résultent de changements, ou *mutations*, dans la séquence des nucléotides de l'ADN, la molécule constitutive des gènes. De nos jours, de tels changements de l'ADN peuvent être détectés et décrits avec une grande précision. Les mutations génétiques apparaissent au hasard. Elles peuvent ou non doter l'organisme de moyens plus efficaces pour survivre dans son environnement. Mais si une variation génétique améliore l'adaptation à l'environnement (par exemple en permettant à un organisme de mieux utiliser la nourriture disponible ou d'échapper de façon plus efficace aux prédateurs - grâce à des jambes plus robustes, une coloration de camouflage, etc.), les organismes

porteurs de cette variation sont plus aptes à survivre et se reproduire que ceux qui en sont dépourvus. Au fil du temps, leurs descendants constitueront une proportion de plus en plus importante de la population, modifiant ainsi les caractéristiques moyennes de celle-ci. Bien que la variation génétique sur laquelle agit la sélection naturelle soit fondée sur des éléments aléatoires, la sélection naturelle produit elle-même des changements « adaptatifs », ne relevant nullement du hasard, bien au contraire. Les scientifiques ont aussi acquis une compréhension des processus par lesquels de nouvelles espèces apparaissent, dénommés aussi **spéciation** *.

Une nouvelle espèce est d'abord constituée d'un groupe d'individus ne pouvant plus se croiser avec les individus d'une espèce préexistante (à laquelle leurs ancêtres appartenaient) ni par conséquent produire de descendants viables avec eux. La scission d'une espèce en deux commence souvent parce qu'un groupe d'individus s'est trouvé séparé géographiquement du reste de son espèce. Ceci est particulièrement apparent dans le cas des îles très éloignées comme celles qui constituent des archipels tels les Galápagos ou les Hawaii. L'éloignement de ces îles des Amériques et de l'Asie implique que les descendants des quelques individus colonisateurs à l'origine des populations de telles îles auront peu ou n'auront pas du tout d'occasion de se croiser avec les individus restés sur ces continents. Les montagnes, les rivières, les lacs et d'autres barrières naturelles jouent aussi dans la séparation géographique de populations qui auparavant appartenaient à la même espèce.

Une fois isolés géographiquement les uns des autres, des groupes d'individus peuvent devenir distincts génétiquement en raison des mutations et d'autres processus, y compris la sélection naturelle. L'origine d'une espèce est souvent un processus graduel : l'isolement reproductif qui apparaît entre des groupes séparés n'est d'abord que partiel, avant d'être, finalement, total. Les scientifiques portent une attention toute particulière à ces situations intermédiaires parce qu'elles aident à reconstituer les détails des processus et à identifier les gènes ou groupes de gènes particuliers responsables de l'isolement reproductif des espèces. Les treize espèces d'oiseaux étudiées par Darwin sur les îles Galápagos, connues aujourd'hui sous le nom de « pinsons » de Darwin (actuellement classés parmi les passereaux *Thraupidae*), constituent un cas particulièrement exemplaire de spéciation. Il apparaît que les ancêtres de ces pinsons ont migré depuis l'Amérique du Sud vers les Galápagos. Aujourd'hui, les différentes

* Spéciation : processus évolutifs par lesquels de nouvelles espèces apparaissent à partir d'espèces préalablement existantes.

espèces de pinsons de ces îles ont des habitats, des régimes alimentaires et des comportements distincts, mais les mécanismes en jeu dans la spéciation continuent d'opérer. Un groupe de chercheurs dirigés par Peter et Rosemary Grant de l'université de Princeton (New Jersey, États-Unis) a montré qu'une seule année de sécheresse sur les îles pouvait entraîner des changements évolutifs chez les pinsons. La sécheresse diminue la quantité disponible de noix faciles à casser mais permet la survie de plantes qui produisent des noix plus grosses et plus dures. La sécheresse favorise ainsi les oiseaux avec des becs larges et résistants qui peuvent briser ces noix plus dures, et qui constituent progressivement des populations d'oiseaux porteurs de ces caractéristiques. Peter et Rosemary Grant ont évalué que, si des sécheresses ont lieu environ une fois tous les dix ans sur les îles, une nouvelle espèce de pinson pourrait apparaître en seulement 200 ans. Pour des preuves supplémentaires en faveur de l'évolution, les parties suivantes abordent plus en détail plusieurs aspects de l'évolution biologique, prenant en compte la paléontologie, l'anatomie comparée, la biogéographie, l'embryologie et la biologie moléculaire.

Les archives fossiles

Bien que Darwin ait été incontestablement le premier à rassembler un ensemble de preuves convaincantes de l'évolution biologique, des savants avaient observé avant lui que les organismes peuplant notre planète avaient tous tendance à changer au cours de longues périodes de temps. Par exemple, en 1799, un ingénieur anglais du nom de William Smith rapporte, à partir de l'étude du bassin houiller du Somerset, que, dans des couches sédimentaires en place, les fossiles apparaissent suivant une séquence définie où ceux qui présentent un aspect plus moderne se situent vers le haut de la séquence. Étant donné que les couches sédimentaires inférieures ont été logiquement déposées plus tôt et sont donc plus anciennes que celles du sommet de la séquence, la série des fossiles pouvait également fournir une chronologie des plus anciens aux plus récents. Les découvertes de W. Smith furent confirmées et développées dans les années 1830 par le paléontologue anglais William Lonsdale qui reconnut que les restes fossiles d'organismes des strates inférieures étaient plus anciens que ceux des strates supérieures.

Aujourd'hui, des milliers de séquences de couches sédimentaires ont été identifiées, qui montrent les successions correspondantes d'organismes fossiles. Ainsi la séquence générale de succession des fossiles était déjà reconnue avant que Darwin ne conçoive la « descendance avec modification ». Mais les paléontologues et géologues antérieurs à Darwin utilisaient la série des

fossiles dans les roches non en tant que confirmation de l'évolution biologique, mais comme témoins pour reconstituer la séquence originelle de dépôt des strates sédimentaires quand celles-ci avaient été perturbées (plissements, failles...) par les tremblements de terre et autres forces tectoniques. Au temps de Darwin, la paléontologie était encore une science rudimentaire. Des pans entiers de la succession des couches sédimentaires étaient inconnus ou insuffisamment étudiés. C'est pour cela que Darwin s'est inquiété de la rareté des formes intermédiaires entre certains des principaux groupes d'organismes. De nos jours, de nombreuses lacunes dans les archives fossiles ont été comblées par les paléontologues. Des centaines de milliers d'organismes fossiles, récoltés dans des séries sédimentaires bien datées, représentent des successions de formes à travers le temps et témoignent de nombreuses transitions évolutives. Comme on l'a dit plus haut, une vie microbienne des plus simples existait déjà il y a 3,5 milliards d'années. La preuve la plus ancienne d'organismes unicellulaires plus complexes (à savoir des cellules eucaryotes qui sont plus complexes que les bactéries) a été découverte dans des roches âgées d'environ 2 milliards d'années. Les organismes pluricellulaires tels que les champignons, les plantes et les animaux qui nous sont si familiers, n'ont été récoltés que dans des strates géologiques plus récentes. Choisie dans le buissonnement des formes vivantes, la liste suivante présente l'ordre d'apparition des formes de vie des moins complexes aux plus complexes, si l'on décide d'illustrer le cheminement particulier conduisant à l'homme.

Note critique. Cette vision hiérarchique qui place l'Homme au sommet de l'évolution n'est pas confirmée par la génétique.

Ancienneté exprimée en millions d'années depuis la première présence connue de cette forme de vie (environs)

Microbes (cellules procaryotes) : 3.500
 Organismes « complexes » (cellules eucaryotes) : 2.000
 Premiers animaux pluricellulaires : 670
 Animaux à coquilles : 550
 Vertébrés (« poissons » sl.) : 510
 Amphibiens : 380
 Reptiles : 310
 Mammifères : 200
 Primates non hominoïdes : 60
 Premiers singes anthropoïdes : 25
 Ancêtres et cousins
 (australopithèques s.l.) de l'homme : 7
 Hommes modernes 0,15 (150.000 ans)

On a découvert tellement de formes intermédiaires entre poissons et amphibiens, entre amphibiens et reptiles, entre reptiles et mammifères et tout au long de la lignée des primates qu'il est souvent difficile de dire de façon catégorique à quel moment la transition entre telle et telle espèce est survenue. En fait, d'une certaine façon, presque tous les fossiles peuvent être vus comme des intermédiaires ; il s'agit de formes de vie qui se situent entre celles qui les ont précédées et celles qui les ont suivies. Les archives fossiles fournissent ainsi des preuves concordantes d'un changement systématique survenu au cours du temps, c'est-à-dire de la descendance avec modification. À partir de ce vaste corpus de données, on peut prédire qu'aucune réversion de l'évolution ne sera découverte au cours des recherches paléontologiques futures. Autrement dit, les amphibiens n'apparaîtront pas avant les poissons, ni les mammifères avant les reptiles, ni aucune forme de vie plus complexe avant les plus vieilles cellules eucaryotes. Cette prévision a été confirmée par les découvertes accumulées jusqu'à aujourd'hui : aucune réversion de l'évolution n'a été observée.

<p>Note critique. On retrouve ici l'usage des anciens termes « reptiles », « poissons », aujourd'hui obsolètes dans les classifications phylogénétiques du vivant.</p>

L'anatomie comparée

Les arguments paléontologiques en faveur de l'ascendance commune des espèces sont confirmés par l'anatomie comparée (comparaisons entre organismes actuels). Par exemple, les squelettes des hommes, des souris et des chauves-souris présentent de remarquables ressemblances en dépit des modes de vie différents de ces organismes et de la diversité des environnements dans lesquels ils s'épanouissent. La correspondance os par os entre ces animaux s'observe dans chaque partie du corps, y compris les membres : une personne écrit, une souris court et une chauve-souris vole à l'aide de structures construites avec des os qui sont différents dans le détail mais similaires dans leur structure générale et par les relations de position qu'ils présentent les uns avec les autres. Les scientifiques appellent de telles ressemblances des *homologies*, dont l'explication la plus vraisemblable est une ascendance commune. Les spécialistes d'anatomie comparée étudient de telles homologies, non seulement dans les structures osseuses mais aussi dans d'autres composants du corps (système nerveux, appareil circulatoire...), et établissent des liens de parenté à partir du degré de similarité. Leurs conclusions fournissent d'importantes hypothèses quant aux détails de l'histoire évolutive,

hypothèses qui peuvent être testées par comparaison avec la séquence des formes ancestrales provenant des archives fossiles.

L'oreille et la mâchoire des mammifères sont des exemples où paléontologie et anatomie comparée convergent pour démontrer une ascendance commune à travers des étapes de transition. La mâchoire inférieure des mammifères ne contient qu'un os tandis que celle des reptiles en a plusieurs. Les autres os de la mâchoire des reptiles sont homologues aux os que l'on trouve aujourd'hui dans l'oreille moyenne des mammifères. Les paléontologues ont découvert des formes intermédiaires de « reptiles mammaliens » (les Thérapsides) avec une double articulation à la mâchoire, l'une composée des os qui persistent dans les mâchoires des mammifères, l'autre consistant en des os qui sont finalement devenus le marteau et l'enclume de l'oreille moyenne des mammifères.

La répartition des espèces

La diversité du vivant est à nulle autre pareille et la biogéographie a, elle aussi, apporté des arguments pour comprendre l'évolution des espèces à partir d'ancêtres communs. Environ 250 000 espèces de plantes, 100 000 espèces de champignons et un million d'espèces animales ont été décrites dans la nature actuelle, chacune occupant une position écologique particulière appelée niche ; et le recensement est loin d'être complet. Certaines espèces, comme l'espèce humaine ou notre compagnon, le chien, peuvent vivre au sein d'un large éventail d'environnements, alors que d'autres sont étonnamment spécialisés. Une espèce de champignon (*Laboulbenia*) se développe exclusivement sur la partie postérieure des élytres (= ailes antérieures modifiées) d'une espèce particulière de scarabée (*Aphaenops cronei*) seulement connue dans certaines grottes du sud de la France. Les larves de la mouche *Drosophila carcinophila* ne peuvent se développer que dans les rainures situées sous les volets de la troisième paire d'appendices buccaux d'un crabe terrestre uniquement connu sur certaines îles des Caraïbes ! Comment la colossale diversité des êtres vivants et l'existence de ces extraordinaires et apparemment étranges créatures telles que le champignon, le scarabée et la mouche décrits ci-dessus peuvent-elles être compréhensibles? Et pourquoi des îles telles que les Galápagos peuvent-elles être aussi souvent habitées par des formes similaires à celles du continent le plus proche mais constituant cependant d'autres espèces ? La théorie de l'Évolution explique que la diversité biologique est le résultat de l'adaptation aux divers environnements locaux des descendants de prédécesseurs, soit locaux, soit

émigrants. On peut mettre cette explication à l'épreuve en examinant les espèces actuelles et les fossiles locaux afin de déterminer s'ils partagent des caractéristiques similaires pouvant indiquer que les espèces actuelles proviennent bien des fossiles locaux apparentés. En leur absence, l'on pourrait légitimement présumer que la présence d'une espèce actuelle à un endroit donné, alors qu'aucun fossile apparenté n'y est connu, est le résultat d'une migration. À chaque fois qu'un tel test a été entrepris, cette conclusion a été confirmée. Un bon exemple de tout cela est fourni par les faunes de mammifères d'Amérique du Nord et d'Amérique du Sud, où des groupes mammaliens fort différents ont évolué isolément jusqu'à ce que les deux masses continentales soient reliées par l'isthme de Panama il y a environ 3 millions d'années. À partir de ce moment, les tatous, les porcs-épics et les opossums - des mammifères d'origine sud-américaine - migrèrent vers le Nord, en compagnie de nombreuses autres espèces de plantes et d'animaux, tandis que les pumas et d'autres espèces nord-américaines traversaient l'isthme vers le Sud.

L'argument avancé par Darwin de l'influence de la répartition géographique sur l'évolution des organismes a pris du poids à mesure de l'avancée des connaissances. Par exemple, environ 2 000 espèces de mouches du genre *Drosophila* existent aujourd'hui à travers le monde. Environ un quart de celles-ci ne vivent qu'à Hawaï. De même, plus de mille espèces d'escargots et de mollusques terrestres ne sont connus qu'à Hawaï. Cette abondance d'espèces apparentées dans des endroits isolés s'explique par le fait qu'une telle diversité est la conséquence de l'évolution intervenue localement à partir de quelques ancêtres communs qui ont colonisé un biotope isolé. L'archipel des Hawaï est éloigné de tout continent ou de toute autre île, et l'étude de sa géologie montre qu'il a toujours été isolé. Ainsi, les quelques rares colonisateurs qui ont, par chance, atteint l'archipel hawaïen ont trouvé de nombreuses niches écologiques disponibles et, là où ils l'ont pu, se sont diversifiés et ont évolué en espèces distinctes au fil des générations. Aucun autre mammifère qu'une espèce de chauve-souris ne vivait sur les îles Hawaï avant l'arrivée des premiers humains. De même, de nombreuses autres variétés de plantes et d'animaux en étaient absentes. Les îles de l'archipel hawaïen ne sont pourtant pas moins hospitalières que les autres parties du monde pour les espèces que l'on ne trouve pas à Hawaï. Par exemple, les cochons et les chèvres se sont multipliés à Hawaï et les autres mammifères domestiques y prospèrent également. L'explication scientifique de l'absence de tant de groupes d'organismes et de la grande abondance en espèces de peu de groupes est que de nombreux groupes n'ont jamais atteint ces îles en raison de leur isolement géographique. Les groupes qui ont réussi à atteindre ces îles

s'y sont diversifiés au fil du temps, du fait de l'absence d'organismes de même type qui auraient pu entrer en compétition avec eux, par exemple pour les ressources alimentaires.

Les drosophiles à ailes tachetées des Iles Hawaii

Les « mouches du vinaigre » ou drosophiles de l'archipel des Hawaii offrent un excellent exemple de « radiation adaptative » dans lequel une espèce ancestrale donne naissance à un très grand nombre d'espèces nouvelles dans un laps de temps relativement court. Les biologistes évolutionnistes ont particulièrement consacré leur attention à un groupe d'à peu près une centaine d'espèces de drosophiles qui présentent des taches pigmentées caractéristiques sur leurs ailes. Connues sous le nom de drosophiles à ailes tachetées, ces espèces portent en elles un remarquable enregistrement biologique de l'histoire évolutive de leur groupe.

Les cellules des glandes salivaires de toutes les larves de drosophiles contiennent des structures chromosomiques particulières, connues sous le nom de **chromosomes*** géants ou polyténiques. Facilement visibles au microscope optique, ces chromosomes polyténiques montrent des centaines de bandes transversales, alternativement claires et sombres, et d'épaisseurs différentes. Le patron de ces bandes transversales facilite significativement la détection d'un type de réarrangement chromosomique appelé inversion. Il arrive quelquefois, au cours de la duplication de l'ADN, qu'une erreur entraîne l'inversion d'un fragment de chromosome. Le résultat est un chromosome remanié où une section, avec son dessin caractéristique de bandes claires et sombres, se retrouve avec une orientation inversée. Bien des inversions de ce type se sont produites dans différents segments des chromosomes dans différentes espèces de mouches.

Comme différentes espèces de drosophilides sur les Iles Hawaii se sont diversifiées en produisant nombre de nouvelles espèces, les chercheurs ont utilisé les changements concomitants des patrons des bandes transversales sur les chromosomes géants pour reconstituer la séquence au cours de laquelle des espèces ancestrales vivant sur les îles les plus anciennes ont colonisé les îles plus récentes en y donnant naissance à de nouvelles espèces. Par exemple, la « grande île » de Hawaii, qui est la plus récente de l'archipel, possède actuellement 26 espèces de drosophiles à ailes tachetées. En examinant les patrons d'inversions sur les chromosomes propres à chacune de ces espèces colonisatrices et en les comparant avec ceux d'espèces vivant sur des îles plus anciennes, les chercheurs sont parvenus à déterminer que les espèces vivant actuellement sur la « grande île » ont toutes eu pour origine 19 événements distincts de colonisation par de petits groupes de mouches (ou peut-être même par une seule femelle fécondée) à partir de l'une ou l'autre des îles plus anciennes de l'archipel.

Des similitudes durant le développement

L'embryologie, ou étude du développement des êtres vivants depuis la conception, est une autre source indépendante de preuves de l'ascendance commune. Les balanes, par exemple, sont des crustacés sédentaires présentant peu de caractéristiques communes visibles avec les autres

* Chromosome : structure comportant, associée à de nombreuses protéines, une molécule d'ADN en double hélice, support matériel de gènes spécifiques... Chez la plupart des organismes à reproduction sexuée, chaque chromosome est présent en double exemplaire dans le noyau des cellules, un exemplaire de chaque paire étant hérité de chaque parent.

crustacés comme les homards, les crevettes ou les copépodes. Toutefois, les balanes passent par une étape où la larve nage librement, étape retrouvée à l'identique chez les larves des autres crustacés. Cette similitude des stades larvaires conforte la conclusion que tous les crustacés partagent des parties homologues et l'existence d'un ancêtre commun. De même, un grand nombre d'organismes, des drosophiles (mouches du vinaigre) aux vers en passant par les souris et les hommes, présentent des gènes aux séquences similaires et qui sont activés durant les premières étapes du développement. Ces gènes jouent un rôle fondamental dans la mise en place de la segmentation et de l'orientation des parties du corps chez tous ces groupes. La présence de ces mêmes gènes, ayant des fonctions similaires chez un aussi grand nombre d'organismes différents, est très bien expliquée par leur présence chez un très ancien ancêtre commun à tous ces groupes.

L'évolution des membres des premiers tétrapodes

Les biologistes moléculaires ont découvert des régions de l'ADN qui contrôlent la formation de diverses parties du corps au cours du développement. Certaines des plus importantes de ces régions de l'ADN sont connues sous le nom de gènes HOX. Les humains, comme tous les autres mammifères, ont 39 gènes hox. Chaque gène hox contrôle la fonction d'autres types de gènes et un même gène hox donné peut contrôler différents groupes de gènes dans différentes régions du corps. Les gènes hox sont aussi impliqués dans le développement de nombreuses caractéristiques anatomiques, telles que les membres, l'axe vertébral, le système digestif et le tractus génital dans de nombreuses espèces, aussi bien chez les vertébrés que chez les « invertébrés ». Par exemple, ce sont les mêmes gènes hox qui contrôlent le développement spécifique des diverses parties du corps (tête, thorax, abdomen..) aussi bien chez la drosophile que chez la souris et tous les mammifères. Les gènes hox contrôlent également la formation des nageoires chez les poissons et celle des membres chez les tétrapodes terrestres. Ils s'expriment selon des patrons différents chez les tétrapodes, ce qui entraîne la différenciation de doigts et d'orteils. Des changements dans le mode d'expression de ces gènes ont été très probablement impliqués dans l'évolution de Tiktaalik puis des premiers tétrapodes.

Nouvelles données tirées de la biologie moléculaire

Le principe de l'origine commune des espèces qui émerge de toutes les séries de preuves précédentes a été renforcé par les découvertes de la biochimie moderne, et en particulier de la biologie moléculaire. On sait maintenant que tous les organismes vivants sont principalement constitués par des protéines, de grosses molécules formées par un enchaînement d'acides aminés. Bien qu'extraordinairement nombreuses et variées, les protéines de tous les organismes sont constituées des mêmes vingt acides aminés : c'est donc l'enchaînement particulier de ceux-ci qui confère à chaque protéine ses caractéristiques spécifiques. L'information nécessaire à la

fabrication des protéines est « codée » dans l'ADN contenu dans le noyau de chaque cellule. Le « code génétique » précise la correspondance entre la séquence de nucléotides, les constituants de base de l'ADN, d'une part, et la séquence des acides aminés dans la protéine résultante, d'autre part. Au sein de l'ADN, chaque gène correspond le plus souvent à une séquence de nucléotides codant l'enchaînement des acides aminés d'une protéine donnée.

Le mécanisme biochimique qui traduit les séquences de nucléotides en protéines est, à peu de choses près, identique dans tous les organismes. Cette unité de composition et de fonctionnement du vivant est un argument fort en faveur d'une origine unique de toute la diversité des organismes.

En 1959, des chercheurs de l'université de Cambridge, en Angleterre, ont déterminé la structure tridimensionnelle de deux protéines présentes dans presque tous les animaux pluricellulaires : l'hémoglobine et la myoglobine. L'hémoglobine transporte l'oxygène dans le sang, tandis que la myoglobine reçoit l'oxygène de l'hémoglobine pour le stocker dans les tissus jusqu'à son utilisation. Les structures de ces protéines, les premières jamais établies, débouchèrent sur plusieurs apports majeurs. La myoglobine a une chaîne unique faite de 153 acides aminés entourant un hème, groupe d'atomes comportant du fer auquel se lie l'oxygène. L'hémoglobine, quant à elle, comporte jusqu'à quatre chaînes : deux chaînes de 141 acides aminés et deux de 146 acides aminés. Chacun de ces deux types de chaînes possède aussi un hème et présente une structure spatiale voisine de celle de la myoglobine. Il apparut dès 1959 que ces molécules étaient proches. Dans les années 1960 et 1970, les séquences des hémoglobines et des myoglobines furent établies chez des dizaines de mammifères, d'oiseaux, d'amphibiens, de poissons, de vers et de mollusques. Toutes ces séquences étaient si proches entre elles qu'on a pu comparer leurs structures tridimensionnelles à celles de deux types choisis comme valeurs témoins : la myoglobine de baleine et l'hémoglobine de cheval. Il y a plus révélateur encore : les différences entre les séquences de ces différents organismes ont pu être mises à profit pour construire un arbre évolutif de ces divers organismes à partir des variations des myoglobines et des hémoglobines. Cet arbre est identique à celui qui avait été obtenu par les travaux de paléontologie et d'anatomie comparée pour les organismes où l'on rencontre ces variations. Ceci conforte, une fois encore, l'origine commune de tous ces animaux.

Des relations de parenté semblables ont été reconstituées à partir des séquences en acides aminés pour d'autres protéines, comme le cytochrome *C* (une protéine intervenant dans le

métabolisme énergétique) et des protéines digestives, la trypsine et la chymotrypsine. L'étude de la structure des protéines est donc un outil très puissant pour étudier les liens évolutifs entre organismes actuels. La quantité d'information potentielle sur l'évolution est énorme, à la hauteur des milliers de protéines différentes qui constituent ces organismes. Son exploitation n'est limitée que par le temps et les ressources des biologistes moléculaires !

Par la suite, les possibilités de séquençage direct des nucléotides constituant l'ADN se sont développées et il est maintenant possible d'utiliser les gènes eux-mêmes pour reconstruire l'histoire évolutive des organismes. Sous l'effet des mutations, la séquence des nucléotides d'un gène évolue graduellement avec le temps pour chaque espèce. Plus l'ancêtre commun à deux espèces est récent, moins celles-ci ont eu le temps d'accumuler des mutations et, par conséquent, moins les séquences de leurs gènes diffèrent. L'existence de dizaines de milliers de gènes chez l'homme et les autres organismes constitue une extraordinaire bibliothèque d'informations sur l'histoire évolutive de chaque organisme.

Les gènes évoluent à des vitesses différentes car, bien que les mutations se fassent au hasard, certaines protéines supportent mieux que d'autres des changements dans leur séquence d'acides aminés : c'est pourquoi les gènes qui « codent » pour ces protéines plus tolérantes évoluent plus vite. Pour d'autres protéines, les contraintes liées à leurs fonctions limitent davantage les variations possibles : leurs gènes changent donc plus lentement. Le taux moyen d'évolution d'un gène ou d'une protéine a donné naissance au concept « d'horloge moléculaire ». Les horloges moléculaires avancent vite pour les protéines les moins contraintes (et les gènes correspondants) et lentement pour les plus contraintes, bien qu'elles enregistrent toutes les mêmes événements évolutifs.

Comparons les horloges moléculaires de trois molécules. Le cytochrome *C* interagit étroitement avec d'autres macromolécules, ce qui contraint fortement sa séquence en acides aminés et interdit donc à son gène d'évoluer rapidement. Les hémoglobines sont moins contraintes, car elles n'interagissent qu'avec l'oxygène et quelques autres petites molécules. Enfin, les fibrines, des fragments de protéines assurant la coagulation du sang, interagissent surtout entre eux. L'horloge moléculaire des fibrinopeptides suit donc un rythme rapide (1 % des acides aminés changent en un peu plus d'un million d'année). À l'autre extrême, l'horloge du cytochrome *C* a un rythme lent : changer 1 % des acides aminés requiert 20 millions d'années. L'horloge de l'hémoglobine est intermédiaire. Le concept d'horloge moléculaire est utile à deux

égards : d'abord pour déterminer les relations de parenté entre les espèces ; ensuite, pour évaluer le temps passé depuis la divergence (à partir du dernier ancêtre commun) entre deux espèces. Après calibrage, c'est-à-dire lorsqu'on sait à quel rythme fonctionne l'horloge pour un gène ou une protéine donnée, la chronologie des événements évolutifs peut être déterminée à partir de l'arbre évolutif du gène ou de la protéine considérée.

Une autre série intéressante de preuves de l'évolution réside dans des séquences d'ADN qu'on appelle « pseudogènes ». Les pseudogènes sont les vestiges de gènes qui n'ont plus de fonction (ils ne codent plus de protéine), mais persistent dans l'ADN sans rôle connu. Les pseudogènes changent aussi au cours du temps, lorsqu'ils sont transmis des ancêtres à leurs descendants, et offrent des données particulièrement utiles pour reconstituer des relations évolutives. Du fait qu'ils ne sont plus contraints par aucune fonction, ils indiquent les relations évolutives entre les organismes où ils se trouvent d'une façon encore plus convaincante. En effet, on peut penser que les gènes qui ont une fonction pourraient se ressembler, précisément parce que leurs fonctions sont voisines dans différents organismes - par exemple, les gènes d'un cheval pourraient ressembler davantage à ceux d'un zèbre qu'à ceux d'un tigre, parce que l'habitat et le comportement d'un cheval et d'un zèbre sont semblables. Ce genre d'explication ne tient évidemment pas pour les pseudogènes, qui n'ont justement plus de fonction. Le degré de ressemblance entre pseudogènes reflète simplement leurs relations évolutives : plus le dernier ancêtre commun à deux organismes est ancien, moins leurs pseudogènes sont semblables.

Les preuves de l'évolution issues de la biologie moléculaire sont donc confondantes, et s'accumulent rapidement. Elles peuvent parfois aller au-delà des preuves paléontologiques. Par exemple, on supposait depuis longtemps que les cétacés (baleines, etc.) descendaient de mammifères terrestres secondairement retournés à l'eau. Les analyses anatomiques et paléontologiques suggéraient que les plus proches parents terrestres des baleines étaient des mammifères ongulés qui possédaient un nombre pair de doigts (les bovins, les moutons, les chameaux, les chèvres...). Des comparaisons récentes sur des gènes de protéines du lait (caséines *bêta* et *kappa*) confirment cette relation et laissent même à penser que leurs plus proches parents actuels sont les hippopotames. Dans ce cas, la biologie moléculaire permet des rapprochements plus précis que la paléontologie.

L'évolution des baleines, dauphins et marsouins (cétacés)

La combinaison des données paléontologiques et moléculaires permet à présent aux biologistes de reconstituer l'histoire évolutive de façon bien plus détaillée que cela n'était possible autrefois. Par exemple, de récentes découvertes de fossiles en Asie ont révélé une succession d'organismes qui, à partir de 50 millions d'années avant le présent, ont évolué à partir d'un mode de vie terrestre vers la chasse en milieu aquatique et finalement vers une vie marine permanente. Ces documents paléontologiques s'accordent avec des découvertes génétiques récentes selon lesquelles les baleines et dauphins descendent d'un groupe de mammifères terrestres, les artiodactyles, des ongulés végétariens qui comprennent aujourd'hui des animaux comme les moutons, chèvres et girafes. Tout récemment, des études des réseaux régulateurs de l'expression de l'ADN chez le marsouin actuel ont mis en lumière les changements moléculaires qui ont fait que les ancêtres des cétacés ont progressivement perdu leurs pattes postérieures et développé des corps plus hydrodynamiques. Tous ces types de preuves indépendantes se renforcent mutuellement et apportent des précisions fascinantes à notre compréhension de l'évolution.

Enfin, les gènes permettent de comparer des organismes pour lesquels on ne dispose pas de fossiles, ou bien encore dont les anatomies ne sont pas comparables (par exemple, parce qu'ils ont beaucoup évolué depuis leur ancêtre commun). C'est ainsi que l'évolution des bactéries peut être reconstituée et datée, ou que nous avons découvert que les plus proches parents de l'ensemble des animaux sont certains champignons, comme le champignon de Paris ou la morille.

Le Créationnisme et les données en faveur de l'Évolution

Les créationnistes utilisent ce qu'ils considèrent comme des lacunes dans l'enregistrement des données fossiles comme « preuve » de l'échec de la théorie de l'évolution. Les données de la paléontologie étaient certes incomplètes du temps de Darwin mais, depuis lors, bien des grandes lacunes dans les connaissances ont été comblées par les recherches paléontologiques ultérieures. Le témoignage le plus probant de la réalité de l'évolution reste sans aucun doute la logique de la succession des fossiles, des origines à nos jours. Nulle part sur Terre nous avons trouvé, par exemple, des mammifères dans des couches d'âge dévonien (l'âge des poissons), ou des fossiles d'hominidés associés à des restes de dinosaures. Les strates en place contenant des organismes unicellulaires simples sont plus anciennes que celles à organismes pluricellulaires, et les invertébrés précèdent les vertébrés ; on n'a trouvé nulle part cette succession inversée. Les fossiles contenus dans des couches latérales mais de même âge sont plus semblables entre eux que ceux provenant de couches éloignées dans le temps. La conclusion scientifique la plus

raisonnable qui découle du matériel paléontologique est que les générations se sont succédé en se modifiant, conformément aux principes de la théorie de l'évolution.

Certains créationnistes prônent le fait que « personne n'a jamais vu en direct l'évolution se dérouler ». Cette remarque révèle une méconnaissance de la démarche scientifique et comment les hypothèses sont testées. Nous ne voyons pas la Terre tourner autour du Soleil ni les atomes qui constituent la matière. Nous en « voyons » les conséquences. Les scientifiques concluent que les atomes existent et que la Terre tourne parce qu'ils ont testé toutes les conséquences de ces hypothèses par des observations et une expérimentation approfondies.

De plus, à moindre échelle, nous constatons chaque jour le déroulement de l'évolution. Les mutations annuelles du virus de la grippe et l'émergence des bactéries résistantes aux antibiotiques sont les résultats des forces évolutives. En fait, la rapidité avec laquelle les organismes à génération courtes, tels que les bactéries et les virus, peuvent évoluer sous l'influence de leurs environnements est d'une grande importance médicale. De nombreuses expérimentations de laboratoire ont montré que les caractéristiques spécifiques de ces microorganismes peuvent être modifiées d'une génération à l'autre du fait des mutations et de la sélection naturelle.

À une plus grande échelle, l'évolution des moustiques résistants aux insecticides est un autre exemple de la ténacité et de l'adaptabilité des organismes à la pression environnementale. De même, le parasite de la malaria est devenu résistant aux médicaments utilisés de façon intensive pendant de nombreuses années pour le combattre ; avec pour conséquence une recrudescence de la malaria, qui frappe plus de 300 millions d'individus chaque année.

Les données d'évolution moléculaire contrecarrent une récente assertion appelée la théorie du « dessein intelligent » (« *Intelligent design* »). Les partisans de cette théorie affirment que la complexité structurale des organismes est telle qu'ils n'ont pu évoluer progressivement. Ce serait donc la preuve de l'intervention de la main de Dieu dans la création directe de chaque organisme dans son état actuel. Ces arguments font échos à ceux de William Paley, un ecclésiastique de la fin du XVIII^e siècle, qui prétendait que les yeux des vertébrés, en raison de leur étonnante complexité, avaient été directement créés dans leurs formes actuelles par un créateur omnipotent. Les partisans modernes de la « création intelligente » soutiennent que les structures moléculaires telles que celles de l'ADN, ou les étapes successives des transformations moléculaires qui provoquent la coagulation du sang, sont si complexes qu'elles ne peuvent intervenir que lorsque

les composants sont tous fonctionnels dès le départ. Aussi, les partisans de la « création intelligente » disent-ils que ces structures et processus ne peuvent pas avoir évolué par étapes successives sous le contrôle de la sélection naturelle.

Néanmoins, les structures et processus qui sont présentés comme « irréductiblement » complexes ne le sont pas, lorsqu'on y regarde de plus près. Par exemple, il n'est pas correct de prétendre qu'une structure complexe ou qu'un processus biochimique ne peut être opérationnel que si tous leurs composants sont réunis et agissent comme ils le font aujourd'hui. Des systèmes biochimiques complexes peuvent se former à partir de systèmes plus simples à travers la sélection naturelle. Ainsi, « l'histoire » d'une protéine peut être retracée à travers des organismes plus simples. Les poissons sans mâchoires possèdent une hémoglobine plus simple que les poissons à mâchoire qui, eux-mêmes, ont une hémoglobine plus simple que celle des mammifères.

L'évolution de systèmes moléculaires complexes peut se réaliser suivant plusieurs cheminements. La sélection naturelle peut rassembler les parties d'un système pour assurer une fonction donnée à un moment donné puis, plus tard, recombinaison ces parties avec d'autres pour produire un nouveau système susceptible d'assurer une fonction différente. Les gènes peuvent être dupliqués, altérés et même amplifiés par la sélection naturelle. La succession complexe des étapes biochimiques qui conduisent à la coagulation du sang a été expliquée de cette façon.

De même, des mécanismes évolutifs peuvent expliquer l'origine de structures anatomiques extrêmement complexes. Par exemple, les yeux ont pu évoluer de nombreuses fois de façon indépendante au cours de l'histoire de la vie sur la Terre. Cette évolution débute par une tache oculaire élémentaire constituée de simples cellules rétinienne sensibles à la lumière (comme on en observe chez les vers plats actuels). Elle aboutit chez les insectes à l'individualisation d'unités photosensibles (ommatidies) multiples, chacune munie d'une lentille concentrant la lumière, jusqu'à la formation, chez certains mollusques et chez les vertébrés, d'un véritable œil avec une seule lentille qui concentre les images sur une rétine. Chez les hominidés et autres vertébrés, la rétine est constituée non seulement de cellules photo-réceptrices mais également de plusieurs types de neurones qui commencent l'interprétation de l'image. Au travers d'étapes graduelles, des yeux de nature très différente se sont différenciés, du simple organe photosensible aux systèmes de vision les plus sophistiqués. L'évolution, enfin, ne va pas toujours du simple au complexe. Ainsi les yeux peuvent se simplifier, voire disparaître, chez des espèces adaptées à la

vie souterraine ou cavernicole.

L'évolution de l'Homme

Les recherches menées dans diverses disciplines de la biologie évolutionniste s'accordent pour inscrire les origines de l'Homme au sein des primates, une conclusion qui fit l'objet de vives controverses au sein de la communauté scientifique du temps de Charles Darwin. De nos jours, les relations de parentés étroites entre tous les primates, dont les Hommes, ne font plus l'objet d'aucun doute d'un point de vue scientifique et ces relations résultent de l'évolution de ce groupe. Au cours du dernier siècle, bien des données parmi les plus importantes accumulées par la paléontologie ont eu trait à l'histoire évolutive de la lignée humaine. On a découvert non pas un, mais de nombreux chaînons fossiles qui jalonnent certaines lignées et les relient avec d'autres au sein du rameau humain. En fait, il ne s'agit pas seulement de la découverte de fossiles intermédiaires, mais aussi de nombreux fossiles témoignant de l'existence passée d'autres branches de la lignée humaine. Ces fossiles proviennent de niveaux géologiques successifs et permettent de préciser à quelles époques et à quels rythmes se sont déployées les différentes lignées de primates, dont la lignée humaine.

Rien que pour la lignée humaine, les fossiles découverts se comptent par milliers et la plupart d'entre eux n'appartiennent pas à notre espèce actuelle *Homo sapiens*. D'autre part, la majorité de ces fossiles sont bien datés, notamment grâce aux méthodes de datations radiométriques. L'ensemble de ces données scientifiques donne un arbre phylogénétique composé de multiples branches dont une partie reconstitue l'histoire connue de la lignée humaine, depuis des formes ancestrales évoquant les conditions archaïques des grands singes anthropoïdes jusqu'à l'Homme moderne. Les paléontologues ont découvert de nombreux fossiles apparentés aux grands singes anthropoïdes actuels dans des terrains de plus de 4 millions d'années mais, jusqu'à récemment, aucun fossile de la lignée humaine n'était connu avec certitude pour ces périodes anciennes (Les découvertes récentes de fossiles attribués à la lignée humaine pour cette période reculée, tant en Afrique orientale (« Orrorin ») que centrale (« Toumaï »), permettront de mieux situer l'époque de la séparation de notre lignée de celles des autres anthropoïdes ndt.).

Mis à part ces nouvelles données, les premiers représentants incontestables de notre lignée apparaissent en Afrique vers quatre millions d'années avant notre ère avec *Australopithecus*, un

genre qui, par certains de ses caractères, rappelle les grands singes et qui, par d'autres caractères, évoque le genre humain. La taille du cerveau excède à peine celle des grands singes actuels ; les jambes courtes, le gros orteil encore divergent et divers caractères de leurs bras relativement longs indiquent que les membres de ce genre avaient une vie arboricole importante. Mais d'autres caractères montrent qu'ils marchaient debout une fois au sol, à l'instar des humains. Cette aptitude à la marche bipède se retrouve dans les traces de pistes de pas magnifiquement conservées dans une couche de cendres volcaniques durcies à côté de celles de nombreux autres animaux de cette époque. La plupart de ces australopithèques disparaissent autour de 2,5 millions d'années, sauf une branche qui perdure à côté de celles des premiers hommes pendant un million d'années.

Les plus anciens fossiles du genre *Homo* proviennent de niveaux géologiques datés de 2,4 millions d'années et les paléanthropologues s'accordent pour les faire émerger depuis l'une des espèces d'*Australopithecus*. Vers 2 millions d'années, les premiers représentants du genre *Homo* possèdent un cerveau dont le volume atteint une fois et demi celui de leurs ancêtres, bien que leur taille corporelle n'ait guère augmentée. L'anatomie du bassin et des membres inférieurs laisse supposer qu'ils avaient abandonné l'habitude de se déplacer dans les arbres et qu'ils étaient capables de marcher et de courir sur des jambes plus longues, comme chez l'Homme actuel. De la même façon que les australopithèques avaient un ensemble de caractères qui rappellent soit ceux des grands singes, soit ceux de l'Homme, et d'autres caractères dans des états intermédiaires, les premiers représentants du genre *Homo* se présentent globalement comme des créatures intermédiaires entre *Australopithecus* et l'Homme moderne. Les premiers outils de pierre taillée sont sensiblement contemporains de ces premiers hommes et, en référence à leur plus gros cerveau, ils en sont certainement les fabricants.

L'abondant matériel paléontologique provenant de la longue période comprise entre 2,4 millions d'années et le présent met en évidence une diversité qui conduit à décrire plusieurs espèces du genre *Homo*. La taille du cerveau augmente, des formes les plus anciennes aux plus récentes. Les collections fossiles sont suffisamment complètes pour décrire comment le genre *Homo*, dont les origines se situent en Afrique, s'est dispersé en Asie et en Europe depuis 2 millions d'années. À cela s'ajoutent de nombreux sites archéologiques où l'on découvre des types d'outils distincts associés à diverses populations. Les représentants les plus récents de la lignée humaine, dotés de plus gros cerveaux, inventent et utilisent des outils plus diversifiés et de

facture plus complexe.

La systématique moléculaire a permis de préciser les relations de parenté entre l'Homme et les grands singes anthropoïdes actuels. L'étude comparée de nombreuses protéines et des séquences d'ADN montre que l'Homme est plus proche des chimpanzés et des gorilles que des orangs-outangs et de tous les autres primates.

De l'ADN a même été extrait des ossements fossiles bien conservés d'hommes de Neandertal, un représentant récent du genre *Homo*, et qui, selon les avis des anthropologues, constitue soit une sous-espèce de notre espèce *Homo sapiens* soit une autre espèce. La comparaison de l'ADN permet d'estimer la date de divergence entre la lignée néandertalienne et celle de l'Homme moderne. L'horloge moléculaire (**Note critique.** Mieux vaudrait éviter d'évoquer les horloges moléculaires, dont on sait qu'elles sont à cadence très variable), qui se fonde sur un taux de mutation connu au cours du temps, donne une date d'environ 500 000 ans, ce qui correspond plutôt bien aux données fossiles.

Toujours en se fondant sur les données moléculaires et génétiques, les biologistes s'accordent pour établir les origines de l'Homme moderne, des hommes très semblables à nous, à une période située entre – 100 000 et 150 000 ans à partir de formes plus archaïques d'*Homo*. Ces études convergent pour situer ces origines en Afrique d'où des populations se sont ensuite dispersées en Asie, en Europe et, plus tard, en Australie et sur le continent américain.

Les nombreuses découvertes de fossiles humains au cours des trois dernières décennies en Afrique orientale et en Afrique australe, au Proche-Orient et ailleurs s'ajoutent à celles de la biologie moléculaire pour fonder une nouvelle discipline : la paléoanthropologie moléculaire. Ce nouveau domaine de recherche produit sans cesse de nouvelles connaissances qui consolident les relations d'étroite parenté entre l'Homme et les grands singes africains.

Divers sondages d'opinion révèlent que beaucoup de gens croient qu'une intervention divine a activement guidé l'évolution des êtres humains. La science n'a pas les moyens de discuter de l'influence des forces surnaturelles dans les affaires humaines. En revanche, la science et les avancées des connaissances scientifiques démontrent que les facteurs naturels impliqués dans l'évolution de toutes les formes de vies connues sur la Terre sont aussi celles qui rendent compte de l'évolution de la lignée humaine.

L'évolution biologique explique l'origine et l'histoire de notre espèce

L'examen de tous les types de preuves déjà passées en revue dans ce livret a conduit à conclure que l'homme a évolué à partir de primates ancestraux. Au XIX^e siècle, l'idée que les

humains et les grands singes avaient des ancêtres communs était nouvelle et fut ardemment débattue parmi les scientifiques, du temps de Darwin et encore longtemps après. Mais aujourd'hui, il n'y a aucun doute scientifique concernant la grande proximité évolutive entre les humains et tous les autres primates. En utilisant les mêmes méthodes et les mêmes outils scientifiques que pour l'examen de l'évolution des autres espèces et lignées, les chercheurs ont accumulé une abondante documentation paléontologique, qui va en s'accroissant, ainsi que des preuves moléculaires irréfutables qui montrent clairement que les mêmes forces responsables de l'évolution de toutes les formes de vie sur la Terre rendent également compte de l'évolution biologique des caractéristiques humaines.

En se fondant sur la comparaison de l'ADN, l'ancêtre commun aux humains et aux chimpanzés vivait en Afrique, il y a approximativement 6 à 7 millions d'années, (époque correspondant au fossile connu sous le nom de *Sahelanthropus tchadensis*, dit « Toumaï », décrit en 2002, et sans doute proche de cet ancêtre commun. ndt). L'arbre évolutif menant de cet ancêtre commun à l'homme actuel contient un bon nombre de branches représentant des populations et des espèces qui, en fin de compte, se sont éteintes. Mais, à certaines époques du passé, la planète semble bien avoir été peuplée simultanément par plusieurs espèces humanoïdes. Il y a environ 4,1 millions d'années, une espèce est apparue en Afrique que les paléontologues placent dans le genre *Australopithecus* (« le singe du Sud » : un représentant de ce genre fut en effet d'abord découvert en Afrique du Sud, bien que d'autres fossiles, comprenant un squelette presque complet d'une femelle de 3 ans, aient été découverts en Afrique orientale). À en juger par la taille et les structures crâniennes, le cerveau d'un adulte de ce genre était à peu près de même dimension que celui des singes anthropoïdes actuels et il semble qu'il pouvait passer une partie de son temps dans les arbres, ce que suggèrent ses jambes courtes et des caractéristiques de ses membres antérieurs. Mais les *Australopithecus* marchaient aussi debout, comme le font les humains. Des traces de pas laissées par des *Australopithecus* anciens ont été découvertes, remarquablement conservées sur un sol de cendres volcaniques.

Il y a à peu près 2,3 millions d'années, le genre *Homo*, auquel tous les humains modernes appartiennent, se différença en Afrique. Cette espèce est connue sous le nom d'*Homo habilis* (« l'homme capable »). Son volume cérébral moyen, déterminé à partir de crânes de moins de 2 millions d'années, était probablement de 50 % supérieur à celui des *Australopithecus* plus anciens. Les premiers outils de pierres taillées apparaissent environ il y a 2,6 millions d'années. Il y a environ 1,8 millions d'années apparaît une espèce plus évoluée, *Homo erectus* (« l'homme redressé »). Cette espèce s'est répandue de l'Afrique à l'Eurasie. Les collections paléontologiques subséquentes comprennent les restes squelettiques d'autres espèces appartenant au genre *Homo*. Les espèces les plus récentes ont en général des cerveaux plus grands que ceux des espèces plus anciennes.

L'ensemble des données montre que les hommes anatomiquement modernes *Homo sapiens* (« l'homme sage, ou savant ») avec un corps et un cerveau comme le nôtre apparurent en Afrique en évoluant à partir de formes humaines plus anciennes. Les plus anciens fossiles connus d'hommes modernes ont moins de 200 000 ans. Les membres de ce groupe se sont répandus en Afrique et, plus récemment, en Europe, Asie, Australie, et sur le continent américain, remplaçant les populations humaines plus anciennes qui vivaient alors dans diverses parties de l'ancien monde.

CHAPITRE 3

LES PERSPECTIVES CRÉATIONNISTES

Les points de vue créationnistes rejettent les méthodes et découvertes scientifiques

Les avocats des idées collectivement connues sous le nom de « créationnisme », et plus récemment le « créationnisme du dessein intelligent » soutiennent des points de vue très variés. Généralement parlant, un « créationniste » est quelqu'un qui rejette les explications scientifiques naturelles concernant l'univers connu, en faveur de créations séparées réalisées par une entité surnaturelle. Le créationnisme, sous ses formes variées, n'est pas du tout la même chose que la croyance en Dieu parce que, comme nous l'avons vu ci-dessus, beaucoup de croyants et de grandes confessions religieuses acceptent les découvertes de la science, y compris l'évolution. De même, le créationnisme n'est pas nécessairement limité à des groupes chrétiens qui font une lecture littérale de la Bible. Certains croyants appartenant à des religions non chrétiennes veulent également remplacer les explications scientifiques des phénomènes physiques par des explications surnaturelles propres à leurs propres religions.

Aux États-Unis, les points de vue créationnistes ont été spécifiquement défendus par de petits groupes politiquement actifs de fundamentalistes religieux qui croient que seule une entité surnaturelle peut rendre compte des changements physiques dans l'univers et de la diversité de la vie sur la Terre. Mais ces créationnistes eux-mêmes soutiennent des points de vue très variés. Certains d'entre eux, connus sous le nom de « créationnistes de la terre récente » croient au récit biblique selon lequel l'univers et la Terre n'ont été créés qu'il y a quelques milliers d'années. Les partisans de cette forme de créationnisme croient aussi que tous les êtres vivants, y compris les humains, ont été créés en un très court laps de temps et essentiellement sous la forme qu'ils ont aujourd'hui.

D'autres créationnistes, dits « créationnistes de la terre ancienne », acceptent que la Terre puisse être très âgée mais rejettent les autres découvertes scientifiques concernant l'évolution des êtres vivants.

Aucune donnée scientifique ne justifie ces deux points de vue. Bien au contraire, comme on

l'a déjà discuté ci-dessus, de nombreuses séries indépendantes d'arguments indiquent que la planète Terre est vieille d'environ 4,5 milliards d'années et que l'univers est âgé d'environ 14 milliards d'années. Rejeter les données de fait qui fondent ces estimations d'âge signifierait rejeter non seulement l'évolution biologique mais encore les découvertes fondamentales de la physique moderne, de la chimie, de l'astrophysique et de la géologie.

Certains créationnistes croient que la disposition actuelle de la Terre et que la répartition des fossiles peuvent s'expliquer par un déluge universel. Mais cette affirmation est également en contradiction avec les données et observations interprétées scientifiquement. La croyance selon laquelle les sédiments terrestres, avec leurs fossiles, furent déposés en un court laps de temps est en désaccord non seulement avec les processus de sédimentation connus mais aussi avec les volumes d'eau nécessaires pour déposer des sédiments au sommet de certaines des montagnes les plus élevées de la terre.

Les créationnistes considèrent parfois le caractère incomplet des collections fossiles comme étant la preuve que les êtres vivants ont été créés dans leurs formes actuelles. Mais cet argument ignore la richesse et la précision de l'histoire évolutive que les paléontologues et d'autres biologistes ont établie au cours des deux derniers siècles et qu'ils continuent à élaborer. La recherche paléontologique a complété bien des domaines du matériel fossile qui étaient encore fragmentaires au temps de Charles Darwin. La prétention selon laquelle les collections paléontologiques sont « pleines de lacunes » qui affaiblissent la validité de la théorie est tout simplement fausse. En fait, les paléontologues en savent à présent assez sur l'âge des sédiments pour être capables de prévoir où ils devraient trouver des fossiles de transition particulièrement significatifs, comme ce fut le cas pour *Tiktaalik* et pour les ancêtres de l'homme moderne. Les chercheurs utilisent aussi des techniques nouvelles, telles que la tomographie **CT*** pour en apprendre davantage encore sur les structures internes et la composition d'os fossiles fragiles, sans les détruire. De nouvelles et passionnantes découvertes de fossiles ne cessent d'être rapportées aussi bien dans les publications scientifiques que par les médias populaires.

Un autre aspect convainquant des collections paléontologiques est leur cohérence interne.

* CT (« computed axial tomography ») : populairement « CAT scan », ou tomographie axiale informatisée, une technique d'imagerie médicale qui produit une vue en trois dimensions des objets en combinant une succession d'images radiographiques en deux dimensions (ou tranches virtuelles) de cet objet.

Nulle part sur Terre on ne trouve de fossiles de dinosaures, qui s'éteignirent il y a 65 millions d'années, avec des fossiles humains qui n'évoluèrent qu'au cours des derniers millions d'années. Nulle part on ne trouve de fossiles de mammifères dans des sédiments âgés de plus de 220 millions d'années. Chaque fois que des créationnistes firent état de sédiments où ces relations étaient modifiées, voire inversées, les chercheurs scientifiques ont clairement démontré que ces situations résultaient des plissements des couches géologiques les unes au-dessus, ou en-dessous des autres. Les sédiments ne contenant que des fossiles d'organismes unicellulaires apparaissent plus tôt dans le matériel paléontologique que des sédiments contenant à la fois des organismes uni- et pluricellulaires. La séquence des fossiles à travers l'ensemble des sédiments terrestres souligne de façon non ambiguë la réalité de l'évolution.

Les créationnistes font valoir quelquefois que l'idée d'évolution doit demeurer hypothétique parce que « personne n'a jamais vu l'évolution se produire ». Ce genre de déclaration révèle aussi que certains créationnistes ne saisissent pas une caractéristique importante du raisonnement scientifique. Les conclusions scientifiques ne sont pas limitées à la simple observation directe, mais dépendent souvent d'inférences qui sont produites par application d'une interprétation rationnelle aux observations. Même en lançant des vaisseaux spatiaux en orbite autour de la Terre, les scientifiques ne peuvent observer directement que la Terre tourne autour du Soleil. Mais ils ont inféré d'une masse de mesures indépendantes que le Soleil est au centre du système solaire. Jusqu'au développement récent de microscopes extrêmement puissants, les chercheurs ne pouvaient pas observer directement les atomes, mais le comportement des objets physiques ne laissait aucun doute quant à la nature atomique de la matière. Les chercheurs scientifiques avaient fait l'hypothèse de l'existence des virus bien des années avant que les microscopes ne deviennent assez puissants pour pouvoir les observer.

Ainsi, dans de nombreux domaines scientifiques, les chercheurs n'ont pas observé directement les objets (qu'il s'agisse de gènes ou d'atomes) ou les phénomènes (tels que la rotation de la Terre autour du Soleil) qui constituent maintenant des faits bien établis. Ils les avaient confirmés indirectement à partir des données de l'observation et de l'expérience. L'évolution n'est en cela pas différente de ces domaines. En fait, pour les raisons décrites dans ce livret, les sciences de l'évolution nous fournissent l'un des meilleurs exemples d'une compréhension approfondie des choses, fondée sur le raisonnement scientifique.

Cette affirmation selon laquelle personne n'a vu l'évolution se produire ignore en outre les

preuves surabondantes que l'évolution a bien eu lieu et continue à se produire. Les changements annuels des virus de la grippe et l'apparition de bactéries résistantes aux antibiotiques sont des résultats des forces évolutives. Un autre exemple de l'évolution en train de se faire est l'apparition de moustiques résistants à des insecticides variés, ce qui a contribué à une résurgence de la malaria en Afrique et ailleurs. Les fossiles de transition découverts en abondance depuis l'époque de Darwin révèlent comment les espèces donnent continuellement naissance à des espèces nouvelles qui, au fil des temps, génèrent des formes et fonctions biologiques radicalement changées. Il est également possible d'observer directement dans la nature actuelle beaucoup des cheminements et processus particuliers par lesquels l'évolution se produit. Les chercheurs font régulièrement des expériences utilisant des microbes ou d'autres systèmes modèles qui testent directement des hypothèses évolutives.

Les créationnistes rejettent ces faits scientifiques notamment parce qu'ils n'acceptent pas les preuves tirées des processus naturels qu'ils considèrent comme étant en contradiction avec la Bible. Mais la science ne peut pas tester les possibilités surnaturelles. Vis-à-vis des « créationnistes de la Terre récente », aucune accumulation de données de fait démontrant que la Terre a des milliards d'années n'a de chance de réfuter leur affirmation que la Terre est vraiment récente mais que Dieu lui a simplement donné l'*apparence* d'être vieille... Comme de telles invocations au surnaturel ne sont pas testables en utilisant les règles et procédures de l'investigation scientifique, elles ne peuvent relever de la science.

Le créationnisme du « dessein intelligent » ne s'appuie pas sur les données scientifiques

Certains membres d'une nouvelle école de créationnistes ont temporairement laissé de côté la question de savoir si le système solaire, la Galaxie, ou l'univers ont quelques milliards ou seulement quelques milliers d'années. Ces créationnistes s'accordent pour affirmer que l'univers physique et les êtres vivants administrent la preuve d'un « dessein intelligent ».

Ils considèrent que certaines structures biologiques sont si complexes qu'elles n'auraient pas pu évoluer selon les processus de mutations non dirigées et de sélection naturelle, une organisation qu'ils qualifient de « complexité irréductible ». Faisant écho à des arguments théologiques antérieurs à la théorie de l'évolution, ils maintiennent que les organismes vivants ont dû être conçus de la même façon qu'un piège à souris ou une horloge c'est-à-dire afin que

l'objet fonctionne convenablement, que toutes ses parties soient simultanément disponibles et convenablement agencées. Si l'un des composants manque ou est changé, le système ne fonctionnera pas correctement. Comme une structure biologique « simple » - le flagelle d'une bactérie par exemple - est déjà très complexe, les partisans du « dessein intelligent » affirment qu'est infiniment petite la *probabilité* que tous ses constituants aient été produits et soient simultanément disponibles au terme d'un processus fortuit de mutations*. L'apparition de structures biologiques (comme l'œil des vertébrés) ou de fonctions (comme le système immunitaire) plus complexes est impossible par des processus naturels, selon leur point de vue, et devraient donc être attribués à un « ordonnateur » à l'intelligence transcendante.

Pourtant, les découvertes de la biologie moderne réfutent les affirmations des créationnistes du « dessein intelligent ». Les biologistes ont examiné chacun des systèmes moléculaires présentés comme devant être des produits de ce dessein et ont montré qu'ils ont pu résulter de processus naturels. Par exemple, dans le cas du flagelle bactérien, il n'y a pas une structure unique qui se retrouve dans tous les flagelles bactériens, mais beaucoup de types de flagelles, certains plus simples que d'autres, et beaucoup d'espèces de bactéries n'ont pas de flagelles pour participer à leur mouvement. Ainsi, d'autres composants de la paroi cellulaire bactérienne sont vraisemblablement les précurseurs des protéines observées dans différents flagelles. De plus, certaines bactéries injectent des toxines dans d'autres cellules à l'aide de protéines secrétées par la bactérie et qui sont très proches, par leurs structures moléculaires, des protéines faisant partie des flagelles. Cette similitude indique une origine évolutive commune, où de petits changements dans la structure et l'organisation des protéines sécrétoires pourraient servir de base aux protéines flagellaires. Ainsi, les protéines flagellaires ne sont pas irréductiblement complexes.

Les biologistes évolutionnistes ont aussi démontré comment des mécanismes biochimiques complexes, comme la coagulation du sang ou le système immunitaire des mammifères, ont pu évoluer à partir de systèmes précurseurs plus simples. En ce qui concerne la coagulation, certains composants du système mammalien étaient déjà présents chez des organismes bien plus anciens,

* À propos de l'usage des probabilités par les partisans du « dessein intelligent », il convient en outre de souligner qu'ils en font un usage fallacieux. En effet, ils confondent (volontairement) l'usage des probabilités indépendantes (cas d'un tirage aléatoire comme pile ou face, où le résultat du coup suivant ne dépend pas de celui du coup précédent) et celui des probabilités conditionnelles (où le résultat du coup suivant est plus ou moins fortement « contraint » par tous les coups précédents) ndt.

comme le démontre l'étude d'organismes actuels tels que les poissons, les reptiles et les oiseaux

Note critique : Termes du langage courants tirés d'une classification aujourd'hui obsolète, qui dérivent eux-mêmes de ces lointains ancêtres communs avec ceux des mammifères. Le système de coagulation mammalien a été *progressivement construit* sur ces constituants plus anciens.

Des systèmes existants peuvent aussi acquérir de nouvelles fonctions. Par exemple, un système particulier peut avoir un certain rôle dans une cellule puis s'adapter à des fonctions différentes au travers des processus évolutifs. Les gènes *hox* sont un exemple de choix où l'évolution « trouve » de nouvelles fonctions à des systèmes existants. Les biologistes moléculaires ont découvert qu'un mécanisme particulièrement important par lequel des systèmes biologiques acquièrent de nouvelles fonctions est la duplication de gènes. Des segments d'ADN sont souvent dupliqués lors des divisions cellulaires, de telle sorte qu'une cellule peut avoir des copies multiples d'un ou de plusieurs gènes. Si ces copies multiples sont transmises à la descendance, une copie du gène peut servir à sa fonction originelle dans une cellule, tandis que l'autre copie peut accumuler des changements qui pourront, en fin de compte, provoquer l'apparition de nouvelles fonctions. Les mécanismes biochimiques responsables de nombreux processus de la vie cellulaire sont d'indéniables illustrations de duplications historiquement intervenues dans des régions de l'ADN.

En plus de ces échecs scientifiques, ces arguments des créationnistes du « dessein », et d'autres, sont fallacieux en ce qu'ils se fondent sur une fausse dichotomie. Même si leurs arguments négatifs à l'encontre de l'évolution étaient recevables, cela n'établirait aucunement la validité de leurs propres affirmations. Il peut y avoir des explications alternatives. Par exemple, il serait incorrect de conclure qu'il doit « faire soleil » parce qu'il n'y a pas de preuves qu'il pleut dehors. D'autres explications pourraient être aussi possibles.

La science requiert des preuves testables en faveur d'une hypothèse ; elle ne se contente pas de défier les adversaires qu'elle peut rencontrer. Le « dessein intelligent » n'est pas un concept scientifique car il ne peut pas être testé à partir des données empiriques.

Les créationnistes affirment quelquefois que les scientifiques campent sur une position partisane en faveur de l'évolution biologique et se refusent à envisager d'autres possibilités. Mais cette affirmation, elle aussi, donne une image biaisée de la science. Les scientifiques confrontent continuellement leurs idées à l'aune des observations et soumettent leurs travaux à leurs pairs pour obtenir d'eux des revues critiques de leurs idées, de leurs données et de leurs conclusions.

Ils sont particulièrement friands d'observations inexplicables car elles peuvent être le signe de nouvelles et importantes découvertes scientifiques ou des problèmes nouveaux que rencontrent une hypothèse ou une théorie existante. L'histoire est pleine de chercheurs qui remettent en cause une telle théorie en apportant de nouvelles données ou des explications plus complètes pour rendre compte des phénomènes naturels. La science a en elle un élément de compétition en même temps que de coopération. Si un chercheur s'accroche à certaines positions, malgré des données qui les contredisent, un autre chercheur tentera de reproduire les expériences cruciales sur la question et n'hésitera pas à publier des données contradictoires s'il en obtient. S'il y avait des problèmes vraiment graves dans les sciences de l'évolution, bien des chercheurs scientifiques seraient trop contents d'acquiescer la notoriété en publiant les premiers une meilleure hypothèse. L'absence d'alternative viable à l'évolution dans la littérature scientifique ne tient pas à l'existence d'un esprit partisan ou de la censure, mais à ce que l'évolution a été et continue d'être solidement étayée par l'ensemble des données.

L'utilité potentielle de la science commande aussi de garder l'esprit ouvert aux idées nouvelles. Si les géologues pétroliers pouvaient trouver plus de pétrole et de gaz en interprétant les données de la géologie sédimentaire comme résultant d'un déluge unique (c'est dans les couches sédimentaires que l'on trouve les gisements de gaz et de pétrole), ils seraient certainement favorables à cette idée du déluge, mais ils ne le sont pas. Les géologues pétroliers sont d'accord avec les autres géologues pour considérer que les roches sédimentaires sont le produit de milliards d'années d'histoire de la Terre. En fait, ils ont été des pionniers dans la découverte de dépôts fossilifères formés au fil de millions d'années dans des environnements tels que les méandres des rivières, les deltas, les flèches sableuses littorales et les récifs coralliens.

L'argumentation des créationnistes inverse le processus scientifique. Ils commencent par une explication qu'ils ne veulent modifier en aucune manière – selon laquelle des forces surnaturelles ont donné forme aux systèmes biologiques et terrestres – en rejetant ce pré-requis fondamental de la science selon lequel les hypothèses doivent se limiter à des explications *naturelles* et *testables*. Leurs croyances ne peuvent être ni testées, ni modifiées ni rejetées par des moyens scientifiques et ne peuvent donc pas relever des procédures de la science.

La pression pour minimiser l'évolution ou pour mettre en avant des alternatives non scientifiques à l'école publique compromet l'éducation scientifique

En dépit de l'absence de bases scientifiques qui puissent plaider pour les positions créationnistes, certains de leurs partisans continuent de demander que diverses formes de créationnisme soient enseignées en parallèle ou remplacent l'enseignement de l'évolution dans les classes de sciences. De nombreux enseignants subissent des pressions considérables de la part de politiciens, d'administrateurs scolaires, de parents et d'élèves pour minimiser ou éliminer l'enseignement de l'évolution. Le résultat est qu'aux États-Unis, beaucoup d'élèves n'ont pas accès à des connaissances et à des idées qui sont à la fois parties intégrantes de la science moderne et essentielles pour aboutir à des décisions informées et fondées sur des faits concernant leur propre vie comme notre avenir collectif.

Quelle que soit la carrière qu'ils choisiront en fin de compte, tous les élèves ont désormais besoin d'une solide éducation scientifique pour réussir dans le monde actuel, technologiquement et scientifiquement sophistiqué. Parmi les professions qui sont à l'heure actuelle en plein développement et comptent parmi les mieux rétribuées, nombreuses sont celles qui exigent une familiarité avec les concepts de base, les applications et les implications de la science. Afin de prendre des décisions informées concernant les politiques publiques, l'on a besoin de savoir dans quelle mesure les données scientifiques justifient ces politiques, et si elles ont été recueillies de façon parfaitement rigoureuse. Faire étudier l'évolution, outre que cela donne aux élèves des outils conceptuels pour comprendre la contribution fondamentale qu'elle apporte au savoir scientifique, est une excellente façon de les aider à comprendre la nature, les méthodes et les limites de la science.

Compte tenu de l'importance de la science dans tous les aspects de la vie moderne, le programme scolaire scientifique ne doit pas être sapé par un matériau non scientifique. Enseigner les idées créationnistes dans les classes de sciences serait confondre ce qui est de la science et ce qui n'en est pas. Cela compromettrait les objectifs de l'enseignement public et le souci qui est le sien d'offrir une éducation scientifique de très bonne qualité.

EXTRAITS DE JUGEMENTS DES TRIBUNAUX

Depuis le procès de John Scope en 1925 (dit « Procès du singe ») qui analysait la légalité d'une loi du Tennessee proscrivant l'enseignement dans les écoles publiques de « toute théorie qui nie l'histoire de la Création Divine de l'homme telle qu'enseignée dans la Bible », un certain nombre de tribunaux ont eu à connaître de lois touchant l'enseignement d'idées créationnistes. Plusieurs décisions des tribunaux ont jugé que des formes variées de créationnisme, comprenant le créationnisme du « dessein intelligent », ressortissait à la religion, non à la science, et qu'il était par conséquent contraire à la Constitution de les inclure dans les classes de sciences de l'enseignement public. C'est le cas, en particulier, de l'arrêt de la Cour Suprême de 1987 dans l'affaire *Edwards vs. Aguillard* et, plus récemment, de la Cour fédérale de district (en Pennsylvanie) dans l'affaire *Kitzmiller vs. Dover Area School District* (2005). On trouvera ci-dessous des extraits de trois des affaires les plus importantes.

Cour Suprême des États-Unis, *Epperson vs Kansas*, 1968

« Dans notre démocratie, le gouvernement à l'échelle nationale ou fédérale, doit être neutre en matière de théorie, de doctrine et de pratique religieuse. Il ne doit pas être hostile à la religion, ou à l'expression de la non religion, ni aider, appuyer ou promouvoir une religion ou une théorie religieuse contre une autre ou même contre la doctrine opposée ».

Cour Suprême des États-Unis, *Edwards vs Aguillard*, 1987

« Le principal objectif (du « Creation Act » de Louisiane, qui requérait l'enseignement d'une « science de la création » parallèlement à celui de l'évolution à l'école publique) était de changer le programme de sciences de l'école publique afin de privilégier une doctrine religieuse particulière qui rejette les données de fait de l'évolution dans leur globalité. Ainsi, l'Acte est destiné soit à promouvoir la théorie d'une science de la création attachée à une opinion religieuse particulière, soit à empêcher l'enseignement d'une théorie scientifique déplaisant à certaines sectes religieuses. Dans un cas comme dans l'autre, l'Acte viole le Premier Amendement ».

Cour de district pour le District central de Pennsylvanie, *Kitzmiller vs Dover Area School District*, 2005

« Nous considérons que l'ID (« Intelligent Design ») n'est pas de la science et ne peut pas être considéré comme une théorie scientifique valide et acceptée, car les tenants de ce système de pensée ne sont pas parvenus à publier dans des revues à comités de lecture, à susciter des recherches ni à entraîner l'adhésion de la communauté scientifique. L'ID, comme on n'a noté, s'enracine dans la théologie, non dans la science... De plus, si les promoteurs de l'ID ont tenté de faire en sorte que leur théorie échappe à l'investigation scientifique, il ne s'en tireront pas pour

autant en exigeant que seule la controverse, et non l'ID lui-même, soit enseigné en classe. Il s'agit là d'une tactique au mieux peu ingénieuse, au pire, bancal. Le but de l'IDM (mouvement en faveur de l'ID) n'est pas d'encourager le jugement critique mais de fomenter une révolution aboutissant à supplanter la théorie de l'évolution par l'ID ».

La loi américaine n'interdit pas la mention ou l'étude de la religion comme discipline académique dans l'enseignement public, et le créationnisme pourrait être discuté, par exemple, dans une classe de religion comparée. Mais, en tant que fonctionnaires, les enseignants de l'école publique doivent être neutres par rapport à la religion, ce qui signifie qu'ils ne peuvent ni prescrire ni prohiber sa pratique. Si le créationnisme du « dessein intelligent » devait être discuté dans l'enseignement public, alors, les points de vue de créationnistes non chrétiens présents dans l'Indouisme, l'Islam, les religions des Indiens d'Amérique - tout comme les grandes confessions dont les positions sont compatibles avec la science - devraient être également discutés. Comme la constitution des États-Unis interdit aux états fédérés d'apporter leur appui à la religion, il serait mal venu d'utiliser des fonds publics pour enseigner à tous les élèves les conceptions d'une religion seulement, ou d'un seul sous-groupe religieux. De plus, même dans une telle classe, il serait inconvenant d'enseigner ces conceptions comme si elles étaient scientifiques.

CONCLUSIONS

La science et les technologies fondées sur la science ont transformé la vie moderne. Elles ont conduit à des améliorations majeures des niveaux de vie, du bien être public, de la santé et de la sécurité. Elles ont changé la manière dont nous voyons l'univers et dont nous nous considérons nous-mêmes dans notre relation au le monde qui nous entoure.

L'évolution biologique est l'une des idées les plus importantes de la science moderne. Elle est confirmée par d'abondantes données issues de nombreux domaines de la recherche scientifique. Elle sous-tend toutes les sciences biologiques modernes, y compris les sciences médicales, et a des applications dans de nombreuses autres disciplines de la science et de l'ingénierie.

En tant qu'individus et que sociétés, nous prenons en ce moment des décisions qui auront des conséquences profondes sur les générations futures. Comment trouverons-nous un équilibre entre le besoin de conserver les environnements, les plantes et les animaux de la nature face à d'autres pressantes préoccupations ? Devons-nous modifier notre utilisation des combustibles fossiles et autres ressources naturelles pour améliorer le bien-être de nos descendants ? Dans quelle mesure nous faut-il utiliser notre compréhension nouvelle de la biologie au niveau moléculaire pour modifier les caractéristiques du vivant ?

Aucune de ces décisions ne peut être prise raisonnablement sans considérer l'évolution biologique. Les gens ont besoin de comprendre l'évolution, son rôle dans le cadre plus général de l'entreprise scientifique et ses implications décisives concernant certaines des questions sociales, culturelles et politiques les plus pressantes de notre temps.

La science n'est pas la seule voie pour acquérir des connaissances sur nous-mêmes et sur le monde qui nous entoure. Nous pouvons le faire à travers nombre d'autres voies : la littérature, les arts, la réflexion philosophique, l'expérience religieuse... Si la connaissance scientifique permet d'enrichir la perception esthétique et morale, ces domaines s'étendent au-delà du champ scientifique dont le but est d'obtenir une meilleure connaissance de la nature.

La revendication d'un enseignement à parts égales de la théorie de l'évolution et du créationnisme dans les classes de sciences reflète une méconnaissance de ce que sont le domaine scientifique et les méthodes qui lui sont propres. Les chercheurs scientifiques tentent de

comprendre les phénomènes naturels par l'observation et l'expérimentation. Les interprétations scientifiques des faits et les explications qui en rendent compte doivent pouvoir être testées par l'observation et l'expérimentation.

Le créationnisme, le « dessein intelligent » et d'autres « revendications » d'une intervention surnaturelle à l'origine de la vie ou des espèces ne relèvent pas du domaine scientifique car ils ne peuvent pas être mis à l'épreuve des méthodes de la science. Ces systèmes de pensée subordonnent les données observées à des bases préétablies de façon autoritaire par des révélations ou des croyances religieuses. Les textes qui plaident en faveur de ces revendications sont habituellement limités à des publications particulières de leurs défenseurs, qui ne présentent pas d'hypothèses susceptibles de changer en fonction de nouvelles données, de nouvelles interprétations ou de mises en évidence d'erreurs. Ceci contraste avec la science dont les hypothèses et les théories sont toujours susceptibles de modifications à la lumière des connaissances nouvelles.

Aucune croyance qui a pour origine une doctrine préétablie plutôt qu'une observation, une interprétation et une expérimentation scientifiques ne peut être acceptée en tant que science dans un enseignement scientifique. Introduire l'enseignement de ces doctrines dans un cursus scientifique compromettrait les objectifs de l'enseignement public. La science a réussi à expliquer des processus naturels, ce qui a conduit non seulement à une plus grande compréhension de l'univers, mais aussi à des progrès majeurs en technologie, en santé publique et pour le bien-être. Le rôle croissant de la science dans la vie moderne requiert que la science, et non la religion, soit enseignée dans les classes de sciences.

QUESTIONS SOUVENT POSÉES

Qu'est ce que l'évolution ?

L'évolution dans son sens le plus large établit que ce que nous voyons maintenant est différent de ce qui a existé dans le passé. Les galaxies, les étoiles, le système solaire et la Terre ont changé au cours du temps, de même la vie sur terre a changé.

En biologie, l'évolution concerne les modifications du monde vivant sur Terre au cours du temps. Elle explique que les espèces vivantes actuelles partagent des ancêtres communs. Au cours du temps, des processus comme la sélection naturelle sont à l'origine de nouvelles espèces. Darwin a appelé ce processus, «*descendance avec modification*», ce qui est encore maintenant une bonne définition de l'évolution biologique.

L'évolution n'est-elle pas qu'une inférence ?

Personne n'a pu observer l'évolution des chevaux à trois doigts vers des chevaux à un doigt, mais cela ne signifie pas que nous ne puissions pas être certains que les chevaux ont évolué. La recherche scientifique peut suivre toutes sortes de voies en dehors de l'observation directe et de l'expérimentation. Beaucoup de découvertes scientifiques ont été faites au moyen d'expérimentations et d'observations *indirectes* à partir desquelles des inférences (c'est-à-dire des conjectures argumentées) sont établies, et les hypothèses formulées à partir de ces inférences sont testées. Par exemple, les physiciens des particules ne peuvent pas observer directement des particules élémentaires car ces particules sont de trop petite taille. Ils font des inférences concernant la masse et la vitesse des particules à partir d'autres observations. Une hypothèse logique pourrait être la suivante : Si la masse de cette particule est Y, quand je la bombarde, X devrait se produire. Si X ne se produit pas, alors l'hypothèse est réfutée. Ainsi, il est possible d'appréhender des connaissances du monde, même s'il n'est pas possible d'observer directement le phénomène- et ceci vaut également pour le passé. Pour des sciences comme l'astronomie, la géologie, l'évolution en biologie et l'archéologie, des inférences logiques sont établies, qui sont ensuite confrontées aux données.

Parfois, cette confrontation ne peut être entreprise tant que de nouvelles données ne sont pas disponibles. Par exemple, les panorpes ou « mouche-scorpions » (mécoptères) et les vraies

mouches et moustiques (diptères) présentent suffisamment de similarités pour que les entomologistes les considèrent comme très proches. Les mouche-scorpions ont quatre ailes de taille à peu près égale, les vraies mouches une paire d'ailes antérieure de taille normale, mais la paire postérieure est représentée par des petites massues en forme d'haltère : les balanciers. Si les diptères ont évolué depuis la forme ancestrale comparable à la mouche-scorpion, comme le suggère l'anatomie comparée, alors une forme intermédiaire à quatre ailes a dû exister et, en 1976, de tels fossiles ont été découverts. De plus, des généticiens ont montré expérimentalement que le nombre d'ailes chez les mouches peut varier en fonction de mutations dans un seul gène.

Des faits survenus dans le passé ne sont donc pas «hors des limites» d'une étude scientifique. Des hypothèses peuvent être établies concernant ces phénomènes, qui peuvent être testées et aboutir à des conclusions solides. De plus, beaucoup de mécanismes-clés de l'évolution se produisent pendant des périodes relativement courtes et peuvent s'observer directement, comme l'évolution de la résistance des bactéries aux antibiotiques.

L'évolution est une théorie solide, établie à partir de données d'origines variées qui comprennent des observations de fossiles, des informations génétiques, la répartition des plantes et des animaux et les similarités anatomiques et de développement entre les espèces. Les scientifiques ont inféré que la descendance avec modification offre la meilleure explication de toutes ces observations.

L'évolution est-elle un fait ou une théorie ?

La théorie de l'évolution explique comment la vie a changé sur Terre. En termes scientifiques, « théorie » ne signifie pas « conjecture » ou « intuition », contrairement à l'usage habituel. Les théories scientifiques représentent des explications des phénomènes naturels établies logiquement à partir d'observations et d'hypothèses très nombreuses et qui peuvent être testées. L'évolution en biologie représente la meilleure explication scientifique dont nous disposons pour rendre compte et expliquer l'énorme domaine d'observations que constitue le monde vivant. Les scientifiques utilisent le plus souvent le mot « fait » pour désigner une observation particulière bien établie. Mais ils peuvent être conduits à utiliser aussi le mot « fait » pour désigner une théorie testée si souvent qu'il n'y a aucune raison de fournir des tests, ou des explications, ou des exemples supplémentaires pour l'admettre. En ce sens, on peut dire que l'existence de l'évolution est un fait. Les scientifiques ne se posent plus la question de l'existence

de la descendance avec modification en raison de la solidité de cette idée.

Comment des changements biologiques fortuits mènent-ils à des organismes plus adaptés ?

Contrairement à une impression très largement répandue dans le public, l'évolution biologique ne se fait pas au hasard, même si les changements biologiques qui fournissent la « matière première » de l'évolution n'ont pas en eux-mêmes d'objectifs spécifiques et prédéterminés. Quand l'ADN est recopié, des erreurs dans le processus de copie produisent de nouvelles séquences d'ADN. Ces séquences nouvelles se comportent comme des « expériences » évolutives. La plupart de ces mutations ne changent pas les caractéristiques de l'organisme ou son adaptabilité (fitness, aptitude à la survie et à la reproduction). Mais certaines mutations donnent aux organismes des caractéristiques qui améliorent leurs aptitudes à survivre et à se reproduire, alors que d'autres mutations réduisent l'adaptabilité reproductive des organismes.

Le processus par lequel des organismes dotés de variations avantageuses se reproduisent davantage que d'autres organismes au sein d'une population est connu sous le nom de « sélection naturelle ». Sur une multitude de générations, des populations d'organismes soumis à la sélection naturelle peuvent changer de façon telle qu'ils soient plus aptes à survivre et à se reproduire dans un environnement donné. D'autres peuvent se révéler incapables de s'adapter à un environnement changeant et s'éteindront.

Note critique. Il serait sans doute plus exact de dire que la sélection naturelle élimine les variations désavantageuses et permet la survie des plus « chanceux » (voir la « théorie neutraliste de l'évolution » de Motoo Kimura). Des mécanismes de dérive génétique font que des organismes peu adaptés survivent quand même; le hasard joue un rôle important (phénomènes stochastiques). Or Darwin surpondérait la nécessité avec comme référence l'action des sélectionneurs artificiels. La sélection naturelle engendre une bien plus grande diversité avec des structures neutres (voir *infra* la « théorie des équilibres ponctués » de Stephen Jay Gould, qui combat l'idée de progrès dans l'évolution, tout au moins pour les périodes récentes, et prévoit que le rythme des changements évolutifs n'est pas du tout constant).

L'évolution ne suscite-t-elle pas encore nombre d'interrogations* et de nombreux scientifiques de renom ne la rejettent-ils pas ?

Comme dans *tous* les domaines actifs en science, il reste toujours de nouvelles questions à se poser, de nouvelles situations à considérer et de nouvelles manières d'étudier des phénomènes connus. Mais l'évolution elle-même a été si puissamment testée que les biologistes ne se demandent plus si elle a bien eu lieu et se continue. De même, les biologistes ne débattent plus à

propos des mécanismes responsables de l'évolution

Note critique. Ces mécanismes impliquent des innovations génétiques dues à de multiples facteurs générateurs de diversité: transferts de gènes par des virus, mutations lentes ou accélérées, duplications de gènes, etc.

Cependant, comme pour beaucoup d'autres domaines de la science, les chercheurs continuent à étudier les mécanismes par lesquels le processus évolutif opère.

Au fur et à mesure que des technologies nouvelles permettent des observations inimaginables auparavant et de nouveaux types d'expériences, les chercheurs continuent à examiner la validité des données concernant les mécanismes du changement évolutif. L'existence de ces questionnements ne met pas en doute le fait que l'évolution a eu lieu et se poursuit. Et ces questionnements ne réduisent nullement la solidité de la science de l'évolution. En fait, la puissance d'une théorie repose en partie sur sa capacité à doter les scientifiques des bases leur permettant d'observer de nouveaux phénomènes et de prévoir ce qu'ils trouveront vraisemblablement par de nouvelles explorations. De ce point de vue, l'évolution a été et continue d'être l'une des théories les plus productives de la science moderne.

Même des théories scientifiques bien établies continuent d'être testées et modifiées par les chercheurs, au fur et à mesure que de nouvelles connaissances et de nouvelles technologies sont disponibles. Par exemple, de nombreuses observations terrestres ont validé la théorie de la gravitation. Mais des physiciens théoriciens, en utilisant leur compréhension actuelle de l'univers physique, continuent à en tester les limites dans des situations extrêmes, par exemple à proximité d'une étoile à neutron ou d'un trou noir. Un jour ou l'autre, de nouveaux phénomènes pourraient être découverts qui nécessiteront d'étendre ou de réviser la théorie, tout comme le développement de la théorie de la relativité générale, au début du XX^e siècle, a étendu notre connaissance de la gravitation.

Pour ce qui concerne la théorie de l'évolution, nombre de nouveaux points de vue explicatifs émergeront des recherches en cours. Par exemple, on étudie intensivement aujourd'hui les liens entre les changements génétiques et des modifications dans les formes et les fonctions des organismes, maintenant que les outils et technologies nécessaires sont disponibles.

Concernant l'opinion des scientifiques, désormais, c'est le consensus en faveur de l'évolution qui domine donc massivement. Ceux qui s'opposent à l'enseignement de l'évolution

utilisent parfois des citations d'éminents scientifiques hors de leur contexte pour affirmer que ces derniers contestent la notion d'évolution. Cependant, l'examen de ces citations montre qu'en réalité, ces scientifiques discutent de comprendre « comment » fonctionnent certains aspects des mécanismes de l'évolution et non de savoir « si » l'évolution existe. Par exemple, le regretté biologiste Stephan Jay Gould (1941-2002) écrivait que « l'extrême rareté des formes de transition chez les fossiles, demeure un mystère propre à la paléontologie ». Or, Gould, un paléontologue accompli et un brillant enseignant de l'évolution, examinait un problème concernant les mécanismes de l'évolution. Il cherchait à savoir si le taux de transformations des espèces est lent et graduel ou s'il explose après de longues périodes pendant lesquelles peu de transformations ont eu lieu - une idée connue sous le nom d' « équilibres ponctués ». Comme l'écrit Gould dans sa réponse, « cette citation, bien qu'exacte en tant que citation partielle est malhonnête, car elle omet les explications que je donne ensuite et qui précisent mon objectif : discuter du taux de changement évolutif, et non réfuter l'existence de l'évolution ». Gould définit ainsi l'équilibre ponctué: « L'équilibre ponctué n'est ni une idée créationniste ni même une théorie de l'évolution non-darwinienne concernant des transformations subites qui seraient responsables de la formation d'une nouvelle espèce en une génération. L'équilibre ponctué admet l'idée conventionnelle selon laquelle de nouvelles espèces apparaissent sur des centaines ou des milliers de générations et avec une gamme étendue de stades intermédiaires. Cependant, les temps géologiques sont si longs que même quelques milliers d'années peuvent apparaître comme une durée courte comparée aux millions d'années d'existence de la plupart des espèces. Ainsi, les taux d'évolution présentent d'énormes variations et de nouvelles espèces peuvent apparaître « brusquement » à l'échelle du temps géologique, même si le temps considéré semble long et les transformations très lentes rapportées à la durée de la vie humaine ».

Si l'homme descend des grands singes, pourquoi y a-t-il encore des grands singes ?

Les hommes ne descendent pas des grands singes actuels mais les humains et les grands singes actuels partagent un ancêtre commun, une espèce qui n'existe plus aujourd'hui. Mais du fait que nous partageons cet ancêtre commun récent avec les chimpanzés et les gorilles, nous avons beaucoup de similitudes anatomiques, génétiques, biochimiques et même comportementales avec ces grands singes africains. Nous avons moins de similarités avec les grands singes asiatiques – orangs-outangs et gibbons – et encore moins avec les singes non

anthropoïdes, parce que nous ne partageons des ancêtres communs avec ces groupes que dans un passé bien plus lointain.

L'évolution est un processus arborescent au cours duquel des populations se séparent les unes des autres et se différencient peu à peu. Au fur et à mesure que deux groupes s'isolent l'un de l'autre, ils cessent d'échanger des gènes et, en fin de compte, la différence génétique devient telle qu'il n'y a plus de croisements possibles entre les membres de ces deux groupes. À ce stade, ils sont devenus deux espèces distinctes. Au cours du temps, ces deux espèces pourront à leur tour donner naissance à de nouvelles espèces, et ainsi de suite au cours des millénaires.

Quelles preuves avons-nous que l'Univers est âgé de milliards d'années ?

C'est une question importante parce que l'évolution de la grande variété d'organismes existant actuellement sur Terre a exigé un temps considérable. Plusieurs techniques indépendantes de datation indiquent que la Terre est âgée de milliards d'années. La mesure des éléments radioactifs dans des roches terrestres, de la Lune et de météorites donnent un âge pour la Terre et le système solaire. Ces mesures sont en accord entre elles et avec les processus physiques de la radioactivité. Des données additionnelles pour les âges du système solaire et des galaxies incluent les faits de formation des cratères sur les planètes et leurs lunes, les âges des étoiles les plus anciennes de la voie lactée et le taux d'expansion de l'univers. Les mesures de la radiation de fond résiduelle laissée par le « Big Bang » confirment aussi le grand âge de l'univers.

Pourquoi la science de la création ne peut-elle être enseignée dans mon école ?

Les tribunaux ont statué que la « science de la création » est en fait une croyance religieuse.

Parce que les écoles publiques doivent être religieusement neutres selon la Constitution des États-Unis, les tribunaux considèrent qu'il est anticonstitutionnel de présenter la « science de la création » comme une discipline scolaire légitime.

En particulier, dans un procès au cours duquel les tenants du créationnisme se sont exprimés en faveur de leurs positions, un tribunal de district a déclaré que la « science de la création » ne satisfaisait pas aux exigences de la doctrine scientifique dans le sens où ce terme est utilisé par les scientifiques (Mc Lean v. Arkansas Board of Education). La Cour Suprême a établi qu'il était illégal de demander que l'enseignement de la « science de la création » coexiste avec

celui de l'évolution (Edwards v. Aguillard). De plus, les tribunaux de districts ont décidé qu'à titre individuel les enseignants ne pouvaient pas prôner le créationnisme de leur propre initiative (Peloza v. San Juan).

Des organisations d'enseignants tels que la « National Science Teachers Association », la « National Association of Biology Teachers », la « National Science Education Leadership Association » et beaucoup d'autres ont également rejeté le système et la pédagogie de la « science de la création » et ont fortement déconseillé son enseignement à l'école publique. De plus, un regroupement comprenant des croyants et d'autres organisations a noté dans « *A joint Statement of Current Law* » que « dans les classes de science, (les enseignants) doivent présenter uniquement des points de vue véritablement scientifiques ou des preuves et des explications de la vie sur Terre et non des points de vue religieux (croyances invérifiables par des méthodes scientifiques) ». Voir (Teaching About Evolution and the Nature of Science, Appendices B and C, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1998).

Certains avancent que l'« équité » requiert l'enseignement du créationnisme en même temps que celui de l'évolution. Mais un programme scientifique doit couvrir le domaine scientifique et non les conceptions religieuses de groupes particuliers ou d'individus.

Qu'y aurait-il de mal à enseigner une pensée critique ou des « controverses » concernant l'évolution ?

Il n'y a rien de mal à enseigner une pensée critique. Les élèves doivent apprendre comment réexaminer leurs idées à la lumière des observations et des concepts scientifiques avérés. Le savoir scientifique est lui-même le résultat d'une pensée critique appliquée par des générations de savants à des questions concernant le monde naturel. La connaissance scientifique doit être soumise à un réexamen continu et au scepticisme pour que le savoir humain continue à progresser.

Mais la pensée critique ne signifie pas que toutes les critiques sont également valides. Elle doit se fonder sur les règles de la raison et sur des preuves. La discussion critique et la controverse ne signifient pas qu'il faut donner un poids égal à des idées qui ne sont soutenues par aucune donnée de fait en leur faveur. Les idées présentées par les créationnistes du « dessein intelligent » ne sont pas les produits d'un raisonnement scientifique. Discuter de ces idées dans des classes de sciences ne serait pas approprié, compte tenu de leur absence de bases scientifiques.

Les plaidoyers récents pour introduire « l'analyse critique » dans les classes de sciences constituent un artifice qui poursuit des objectifs plus sournois et plus larges ; sous couvert d'« enseigner la controverse » ou de « présenter les arguments pour ou contre l'évolution ». Beaucoup de ces plaidoyers visent à attaquer directement l'enseignement de l'évolution et d'autres domaines que certains présentent comme discutables. Les « controverses » n'ont en fait d'autres buts que d'introduire des idées créationnistes dans les classes de sciences, même après que les scientifiques ont complètement réfuté ces idées.

Comme on l'a vu, il n'y a pas de controverse concernant les faits fondamentaux de l'évolution. En ce sens, l'appel à « enseigner la controverse » de la part des adeptes du « dessein intelligent » n'a pas de fondements. Bien sûr, il reste de nombreuses questions intéressantes sur l'évolution, telles que l'origine du sexe ou différents mécanismes de spéciation, et la discussion de ces questions a pleinement sa place dans les classes de sciences. En revanche, les raisonnements qui tentent de porter la confusion chez les élèves en suggérant qu'il y a des faiblesses fondamentales dans la science de l'évolution ne sont pas acceptables, compte tenu des arguments écrasants en faveur de cette théorie. Les idées créationnistes demeurent hors du domaine de la science et les introduire dans les cours de sciences a été jugé non constitutionnel par la Cour Suprême des États-Unis et d'autres cours fédérales.

Quelles sont les idées communes concernant le créationnisme ?

Le terme de « créationnisme » a un sens très large. Dans son sens le plus général, il se réfère à des points de vue qui rejettent les explications scientifiques concernant certains aspects du monde naturel (qu'il s'agisse de biologie, de géologie ou d'autres sciences) et leur substituent l'intervention directe (appelée parfois « création spéciale) de quelque être ou puissance transcendante. Certains créationnistes croient que l'univers et la Terre n'ont que quelques milliers d'années, une position dite « créationnisme de la Terre récente ». Le créationnisme inclut aussi l'idée que les caractéristiques complexes des organismes ne peuvent s'expliquer par des processus naturels mais nécessitent l'intervention d'un auteur surnaturel du « dessein intelligent ». La bibliographie présentée à la fin de ce livret mentionne divers ouvrages qui décrivent les différentes acceptions du terme « créationnisme ».

Si l'évolution est enseignée dans les écoles, ne serait-il pas honnête de donner le même temps au créationnisme ?

L'objectif de l'enseignement scientifique est de présenter aux élèves, dans chaque domaine des sciences, des données de la meilleure qualité possible. Les programmes scolaires de sciences sont donc le reflet de centaines d'années de recherches scientifiques. Les idées nouvelles doivent faire partie d'un corps de savoirs scientifiques attestés avant de pouvoir être valablement enseignées dans les écoles. Par exemple, la théorie de la « dérive des continents » pour expliquer les mouvements et la forme des continents a été considérée et débattue pendant de nombreuses années sans être intégrée aux programmes scolaires scientifiques. Au fur et à mesure de l'accumulation des données, il a été établi que la surface terrestre est constituée par une série de vastes plaques qui ne sont pas délimitées par les continents et qui bougent continuellement, les unes relativement aux autres. Le modèle des plaques tectoniques (proposé au milieu des années 1960) a pris forme à partir de ces données en offrant une explication plus complète du mouvement des continents. Ce nouveau modèle prévoyait aussi des phénomènes importants, tels que les volcans et les tremblements de terre, et les localisait plus précisément. Quand le nombre et la qualité des données en faveur de la tectonique des plaques l'ont fait accepter comme valide par la communauté scientifique, elle est devenue partie intégrante du programme de sciences.

Certains groupes religieux nient que les microorganismes provoquent des maladies ; les programmes scolaires ne doivent pas être modifiés pour autant afin de tenir compte de cette conviction. La plupart des gens souhaitent que les étudiants reçoivent le meilleur enseignement possible dans toutes les disciplines. Cet enseignement est évalué par des professionnels et des professeurs de ces disciplines. Les scientifiques aussi bien que les professeurs ont conclu que l'évolution – et l'évolution seule – devrait être enseignée dans les classes de science parce que c'est la seule théorie permettant d'expliquer scientifiquement l'état actuel de la vie sur Terre.

Beaucoup de gens disent vouloir que le créationnisme soit enseigné à leurs enfants à l'école, mais il y a des milliers d'idées différentes de la création parmi les peuples du monde. L'étude comparée des religions du monde pourrait constituer un domaine d'étude valable, mais cette étude ne convient pas à une classe de science. En outre, la Constitution des États-Unis établit que l'école doit être religieusement neutre ; légalement, un enseignant ne peut donc pas présenter une position créationniste particulière comme étant plus « vraie » que les autres.

L'évolution et la religion ne sont-elles pas des idées qui s'opposent ?

La presse ou la télévision peuvent donner parfois l'impression que l'évolution et la religion sont incompatibles, mais cela n'est pas vrai. Beaucoup de scientifiques et de théologiens ont écrit sur la manière d'accepter ensemble la foi religieuse et la validité de l'évolution biologique. Bien des scientifiques actuels et du passé, qui ont apporté des contributions majeures à notre compréhension du monde, ont été dévotement religieux. Symétriquement, un grand nombre de croyants acceptent la réalité de l'évolution et beaucoup de confessions religieuses ont publié des déclarations explicites témoignant de cette acceptation. (voir http://www.ncseweb.org/resources/articles/1028_statements_from_religious_org_12_19_2002.asp).

À vrai dire, il existe également des discordances. Certains rejettent toute science qui contient le mot « évolution », d'autres toute forme de religion. L'étendue des opinions et croyances concernant la science et la religion est très vaste. Malheureusement, ce sont souvent ceux qui occupent des positions extrémistes dans ce spectre d'opinions qui décident de la tonalité des discussions publiques. En fin de compte, l'évolution est de la science et seule la science doit être enseignée et apprise dans les classes de sciences.

Les références bibliographiques données en fin d'ouvrage indiquent un certain nombre de livres et d'articles explorant plus en détail les intersections entre la science et la foi.

La croyance dans l'évolution n'est-elle pas aussi une forme de foi ?

L'acceptation de l'évolution n'est pas la même chose qu'une foi religieuse. La confiance des chercheurs scientifiques dans la réalité de l'évolution est fondée sur une masse écrasante de données et de preuves réunies à partir d'aspects très divers du monde naturel. Pour être accepté, un savoir scientifique doit avoir résisté à l'examen par des tests, des contre-tests et des d'expériences. L'évolution est acceptée par la communauté scientifique parce que ce concept a tenu bon devant des tests intensifs menés par des milliers de savants pendant plus d'un siècle. Comme le précise la Déclaration sur l'enseignement de l'évolution publiée en 2006 par un réseau international d'Académies des Sciences (reproduite en tête de la présente traduction ndt. note de bas de page) : « Nous sommes d'accord pour affirmer que les faits suivants, fondés sur des preuves, concernant les origines et l'évolution de la Terre et de la vie sur cette planète, ont été établis par de nombreuses observations et résultats expérimentaux obtenus indépendamment par

une multitude de disciplines scientifiques ».

Nombre de croyances religieuses ne se fondent pas sur des données collectées à partir du monde naturel. Au contraire, une composante importante de la croyance religieuse est la foi, qui implique l'acceptation d'une proposition comme vérité, indépendamment de la présence de données ou de preuves plaidant pour ou contre cette vérité. Les scientifiques ne peuvent accepter comme scientifiques des conclusions fondées sur la foi seule, parce que toutes ces conclusions doivent être soumises à des tests fondés sur des observations. Ainsi les scientifiques ne « croient » pas à l'évolution de la même façon que quelqu'un croit en Dieu.

Orientation bibliographique pour la version française

NB. La bibliographie américaine originale et les références aux auteurs et « editors » sont accessibles dans la version originale via le lien en fin de volume.

Liste d'ouvrages grand public

Ameisen J-CI.(2009). *Dans la lumière et les ombres : Darwin et le bouleversement du monde.* Fayard/Seuil.

Arnould J. (1996) *Les créationnistes*, Serf. (nb. un point de vue catholique)

Arnould J. (2007) *Dieu versus Darwin, les créationnistes vont-ils triompher de la science ?* (nb.un point de vue catholique)

Baudouin C. et Brosseau O. 2008. *Les Créationnistes, une menace pour la société française ?* Syllepse (nb. un très utile « état des lieux » situant tous les « acteurs »)

Chanet B. et F. Lusignan (2007). *Classer les animaux au quotidien*, Cycles 2 et 3. Collection « Au Quotidien », SCEREN-CRDP de Bretagne. (nb. plus particulièrement pour les enseignants)

Chaumeton H.& D. Magnan D., (1985,) *Les fossiles* ; France Loisirs, Paris (illustré).

Cohen Cl. (1994). *Le destin du mammouth.* Seuil..

Collectif, *Darwin, l'Evolution, quelle histoire !* Le Monde, Hors série, Avril-Mai 2009.

Collectif, *Darwin et l'Evolution* Telerama, Hors série, Février 2009.

Collectif : Les dossiers de Pour la Science, Belin, Paris, en particulier: « *L'évolution* », 1980 ; « *L'évolution* », n°14, janvier 1997 ; « *Les origines de l'Humanité* », n° 22, 1999 ; « *La valse des espèces* », n°28, juillet 2000.

Collectif, Science et Vie « *L'évolution, la naissance des espèces* », HS n°279, décembre 1990 (épuisé, à trouver en bibliothèque) ; « *Et si la vie devait tout au hasard...* » N°1079, Août 2007.

Collectif, La Recherche « *L'histoire de la vie, 3 milliards d'années d'évolution* », n°296, mars 1997 ; « *L'Evolution selon Gould* » n°356, septembre 2002 ; *l'Histoire de la terre, 4,5 milliards d'années d'évolution.* n°25, novembre 2006 ; « *L'évolution – Comment les espèces s'adaptent* » n° 27, mai-juin 2007. *La nouvelle histoire de l'homme* n°32, aout 2008 ; *L'Héritage Darwin* n°33, Novembre 2008 ; *L'explosion de la vie* in n° 429, Mars 2009.

Collectif, *Encyclopédie Larousse de la Nature : La planète de la vie* ; Larousse, Paris, 1992,

- XXIII + 331 p. (abondamment illustrée). ; *La flore et la faune* ; Larousse, Paris, 1993, XXIV + 370 p. (*id.*).
- Collectif : *Notionnaire2 - Idées.*, (2005). (articles : créationnisme, darwinisme, déluge, évolutionnisme, fixisme, lamarckisme, récapitulation, transformisme, etc.), Encyclopaedia Universalis.
- Coppens Y. (dir.), (2001). *Origine de l'homme - réalités, mythes, modes.* Artcom.
- David P., Samadi S. (2000). *La théorie de l'évolution. Une logique pour la biologie*; Champs U, Flammarion (nb. plus particulièrement pour les enseignants).
- Delsol M. (2007). *Darwin, le hasard et Dieu.* Vrin. (Nb. point de vue d'une biologiste évolutionniste catholique).
- Dubessy J. et Lecointre G. (dir.), (2001). *Intrusions spiritualistes et impostures intellectuelles en sciences.* Syllepse.
- Euvé Fr. *Darwin et le christianisme, vrais et faux débats.* Buchet-Chastel, 2009. (nb. un point de vue catholique).
- Fischer J.-C., (1989), *Fossiles de France et des régions limitrophes* ; Masson, 2e édition, Paris, 479 p. (illustré)
- Gamlin L. & G. Vines (dir.), (1986,) *L'évolution de la vie* ; Armand Colin, Paris, 248 + 8 p. (illustré).
- Nombreux ouvrages de Stephen J. Gould traduits en français dont:
- Gould S.J. (1979). *Darwin et les grandes énigmes de la vie*, Seuil.
- Gould S.J. (1982). *Le pouce du panda, les grandes énigmes de l'évolution*, Seuil.
- Gould S.J. (1983). *Quand les poules auront des dents, réflexions sur l'histoire naturelle*, Seuil.
- Gould S.J. (1988). *Le sourire du flamant rose, réflexions sur l'histoire naturelle*, Seuil.
- Gould S.J. (1991). *La vie est belle, les surprises de l'évolution*, Seuil.
- Gould S.J. (1993). *La Foire aux dinosaures*, Seuil.
- Gould S.J. (1996). *Comme les huit doigts de la main, réflexions sur l'histoire naturelle*, Seuil.
- Gould S.J. (1997). *L'éventail du vivant*, Seuil.
- Gould S.J. (2000) *Et Dieu dit : que Darwin soit !* Seuil.
- Gould S.J. (dir.), (1993) *Le livre de la vie* ; Seuil, Paris, 256 p. (illustré).
- Hoquet Th. (2009). *Darwin contre Darwin, comment lire l'Origine des espèces ?* Seuil.
- Hublin, J.-J. (1981), *L'évolution de la vie* ; Editions du Chat Perché – Flammarion, 318 p.
- Lecointre G. *Evolution et créationnismes*
<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/chap1/lecointre>
- Lecointre G, Le Guyader H. 2007), *Classification phylogénétique du vivant*, (2ème edt. 2001, 3ème edt.2007). Belin. (nb. plus particulièrement pour les enseignants).
- Lecourt D. (2007). *L'Amérique entre la Bible et Darwin*, nov. ed. PUF.
- Le Guyader H. (Dir.) (1998). *L'Evolution*, Bibliothèque Pour la science, Belin.
- Padian K. (2004), *De Darwin aux dinosaures -Essai sur l'idée d'Evolution.* O. Jacob.
- Picq. P. (2007). *Lucy et l'obscurantisme.* O. Jacob.
- Ricqlès A. de (2008). L'évolution, nouveau récit de création ou synthèse de toute la Biologie ? *In Actes de Savoirs* (Revue de l'Institut Universitaire de France), 4 : le Récit (W. Marx, direct.)
- Tassy P. (2000). *Le paléontologue et l'évolution* Le Pommier.
- Tassy P.(2004). *Peut-on faire revivre le mammoth?* Le Pommier.
- Tort, P. (1997). *Darwin et le darwinisme*, Quadrige/Presses Universitaires de France.
- Tort, P. (2000). *Darwin et la science de l'évolution*, Découvertes Gallimard, 397.
- Tort P. (2008). *L'effet Darwin, sélection naturelle et naissance de la civilisation.* Seuil.
- Wilgenbus D., J.-M. Bochart et P. Léna (2002). *Graines de Sciences 4*, (nb. pour enseignants et

parents.) Le Pommier.

Il serait utile d'ajouter à la bibliographie :

Kimura, M. (1983). *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge. [ISBN 0-521-23109-4](#) (Traduit de l'anglais par Claudine Montgelard, *Théorie neutraliste de l'évolution*, Flammarion, 1990. [ISBN 2-08-211153-9](#)).

Lamarck, J.-B., (1809). *Philosophie zoologique*, (GF-Flammarion, Paris, 1994).

Scientific insights into the Evolution of the Universe and of Life (Arber, W., Cabibbo, N., Sanchez Sorondo, M., Eds.). Acta 20, Académie pontificale des sciences, Proceedings of the Plenary Session 2008, Cité du Vatican, 2009.

Remerciements

L'idée de la présente traduction découle d'une réunion sur l'enseignement de l'évolution, organisée dans ses locaux par la Direction du Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris), et tenue en mars 2007 en présence de scientifiques évolutionnistes de divers établissements (universités, CNRS, MNHN, Collège de France) et de représentants du ministère de l'Éducation nationale. Nous remercions Ann G. Merchant, Director of Outreach and Marketing, National Academy Press et Joseph Henry Press, Washington, d'avoir favorablement accueilli notre projet de traduction et d'en avoir facilité la réalisation pratique. Le Professeur Yves Quéré (Académie des sciences, Paris) nous a donné toutes facilités pour traduire la version officielle (en anglais) de la déclaration de 68 académies des Sciences sur l'enseignement de l'évolution élaborée dans le cadre de l'IAP (*Interacademy Panel on international issues*, Trieste). Nous adressons nos remerciements amicaux à Madame Annie Mamecier, Doyenne de l'Inspection Générale, du groupe des Sciences de la vie et de la Terre, qui n'a pas ménagé ses efforts en vue de la diffusion de ce document. Enfin, le Professeur Pierre Léna, délégué à l'éducation et la formation de l'Académie des sciences, a rendu possible cette diffusion *via* le site de l'Académie des sciences, détentrice du Copyright pour la version française. Madame Béatrice Ajchenbaum-Boffety, adjointe à ce Délégué, ainsi que Béatrice Salviat, chargée de mission, ont bien voulu relire et corriger la version finale en français.

Nous remercions les sociétés savantes, les établissements et très nombreux collègues qui, *es* qualité ou à titre individuel, nous ont fait part de leur soutien.

A. de Ricqlès Chaire de Biologie historique et Évolutionnisme, Collège de France.