

La Science et le Créationnisme

Un point de vue de l'Académie Nationale des Sciences des Etats-Unis

Préface à la seconde édition par Bruce Alberts, Président de l'Académie Nationale des Sciences des Etats-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 couverture 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 un carte du monde produite au cours du septième siècle par l'érudit 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'études que nous appelons la science ».

Depuis que ces mots furent 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. A partir du début des années 90, 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 encombrées des villes ou à observer la surface de la terre. Et 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 tirées de données susceptibles d'être bien corroborées. Les chercheurs scientifiques essaient de relier un phénomène à un autre et de reconnaître les causes et les effets entre phénomènes. 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 circonstances naturelles. Les chercheurs scientifiques ont employé ces mêmes moyens pour découvrir quelles substances sont dangereuses dans notre environnement et celles qui ne le sont pas, pour mettre au point des remèdes aux maladies, et pour 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. L'évolution de tous les organismes vivant sur terre aujourd'hui à partir de formes ancestrales qui vivaient dans le passé 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 le grand évolutionniste et généticien Theodosius Dobzhansky en 1973 « Rien n'a de sens en biologie si ce n'est à la lumière de l'évolution ».

Cependant l'enseignement de l'évolution dans nos écoles 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 deux 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 plus, les affirmations de la « science de la création » ne font pas références à des causes naturelles et ne peuvent donc être soumises à aucun test probant, de telle sorte qu'on ne peut pas les considérer comme des hypothèses scientifiques. En 1987 la Cour suprême des Etats-Unis a jugé que le créationnisme était de la religion, pas de la science, et ne pouvait donc pas être exposé dans les classes de l'école publique. Par ailleurs, la plupart des principales confessions religieuses 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, mettent en œuvre et supervisent les programmes de biologie dans les écoles. Il résume les données de fait écrasantes en faveur de l'évolution et explique en quoi la science diffère des autres entreprises humaines. Il propose aussi des moyens efficaces pour enseigner la question, et offre 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* a un but quelque peu différent. Lui aussi résume des aspects clés tirés de nombreux domaines parmi les plus importants offrant des données de fait en faveur de l'évolution. Il décrit en outre certaines des positions prises par les avocats de la « science de la création » et présente une analyse de leurs arguments. Tel quel, le présent document destiné à un plus large public, instruit les raisons de ne pas présenter des concepts religieux dans les classes de sciences. Ce document, comme son compagnon *Comment enseigner l'évolution et la nature de la science* sont librement disponibles en ligne sur le site de l'Académie (.).

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

Bruce Alberts

Président

Académie Nationale des Sciences des Etats-Unis

1 - INTRODUCTION

La science est une manière particulière d'acquérir des connaissances sur le monde. En science, les explications se limitent à celles qui sont basées sur des observations et des expériences qui peuvent être concrètement reproduites par d'autres scientifiques. Les explications qui ne peuvent pas être fondées 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 scientifiques communiquent leurs découvertes et leurs conclusions aux autres chercheurs par des publications, des communications orales au cours de conférences, des conversations de couloirs, et beaucoup d'autres moyens. 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 chercheurs 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 chercheurs scientifiques ne peuvent jamais être certains qu'une explication donnée soit complète et définitive. Certaines des hypothèses avancées par les scientifiques se révèlent finalement être 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, proposées 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 opuscule 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

A la fin de chacun de ces chapitres, les positions défendues par les avocats de la "science créationniste" sont présentées brièvement et analysées de même.

La théorie de l'évolution est devenue le concept unificateur central de la biologie, et elle est une composante décisive de beaucoup de 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 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 descriptive à propos de 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 pas comme un fait" confond l'usage commun de ces termes avec leur usage scientifique. En sciences, 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 travaux considérables 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.

Science and Creationism: A View from the National Academy of Sciences, Seconde édition.

2 - 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.

(Figure 3 : Une vue de l'Académie des Sciences des Etats-Unis d'Amérique.)

L'hypothèse du « Big Bang » a conduit à des prédictions plus faciles à vérifier. 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 prémisses 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.

Figure 4 : Un disque de poussières et de gaz apparaît ici comme une bande sombre coupant une nébuleuse rayonnante entourant une très jeune étoile de la constellation du Taureau (photographie du télescope spatial Hubble). On peut voir des disques semblables autour d'autres étoiles voisines, et on pense qu'ils fournissent le matériel de base pour la formation de planètes.

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.

L'origine de la vie ne peut être datée aussi précisément, mais il y a des indications que des organismes ressemblant à des bactéries auraient vécu sur Terre il y a 3,5 milliards d'années. Il se pourrait qu'ils existassent même 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 peut pas appeler « vivantes » mais qui sont 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 l'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 nombre d'autres fonctions nécessaires à la vie. Les protéines consistent en une chaîne de sous-unités qu'on appelle les 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.

Figure 5. (pas de légende)

Il y a 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 capable d'assurer leur propre répllication 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 la vie pourrait être apparue par des 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.

Figure 6. (pas de légende)

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, tout en faisant remarquer 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 tel que celui-ci ont trouvé plus tard une solution, du fait d'avancées théoriques, ou d'avancées sur le plan de l'instrumentation, ou encore à la suite de nouvelles découvertes.

3 Les points de vue créationnistes sur l'origine de l'univers, de la Terre et de la vie.

Pour beaucoup de personnes croyantes, y compris des scientifiques, c'est Dieu qui créa l'univers et tous les mécanismes contrôlant l'évolution physique et biologique et 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 « Théisme ou Déisme 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, peut-être seulement 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 puissent avoir existé depuis des millions d'années. Mais

ils soutiennent que les différents types d'organismes vivants, et tout particulièrement l'espèce humaine, parce qu'ils reflètent un « dessein intelligent » (*Intelligent design*), ne peuvent être advenus que par une intervention surnaturelle. Notons que le mot de l'ancien français « desseign », qui a donné « *design* » en anglais, a donné en français moderne à la fois « dessein » et « dessin ». Ainsi le mot anglais « *Design* » véhicule toujours à la fois le sens de « dessein » et de « dessin ».

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 ait été créée il y 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 corpus remarquable de connaissances sur les origines et le comportement du monde physique.

Figure 7. pas de légende.

Il n'y a, de plus, aucune indication que l'ensemble des archives géologiques, avec la succession ordonnée de ses fossiles, puisse être le produit d'un seul déluge universel qui se serait produit il y a quelques dizaines de milliers d'années, d'une durée d'un peu plus d'un an, et 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 a été entièrement recouverte 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 que les sédiments terrestres, avec leurs fossiles, aient pu être déposés en une séquence ordonnée au cours de l'espace d'une années 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 se basant sur l'idée que les roches sédimentaires sont dues à 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 prédire 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 prédictions plausibles, puis de soumettre ces prédictions 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.

4 - 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 ouvrage principal « De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle » (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, pour être 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 » - c'est-à-dire tout le contraire du hasard. Les scientifiques ont aussi acquis une compréhension des processus par lesquels de nouvelles espèces apparaissent. 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 telles que celles qui constituent des archipels comme 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 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 à cause 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, mais devient finalement complet. 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 de pinsons étudiées par Darwin sur les îles Galápagos, connues aujourd'hui sous le nom de pinsons de Darwin, 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 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, Etats-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 environ. 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.

5 - Les archives fossiles

Bien que Darwin ait incontestablement été 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. Etant 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 primitifs 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 avait déjà été 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 pas en tant que confirmation de l'évolution biologique, mais comme témoins pour reconstituer la séquence originelle 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'était 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.

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)	
510	Amphibiens	380	Reptiles
		310	Mammifères
		200	Primates non hominoïdes
		60	Premiers singes anthropoïdes
			25
Ancêtres et cousins			
australopithèques de l'homme		5	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 intervenue. 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

systematique intervenu au cours du temps, c'est-à-dire de la descendance avec modification. A 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 prédiction a été confirmée par les découvertes accumulées jusqu'à aujourd'hui : aucune réversion de l'évolution n'a été observée.

6 - 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 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 montrer 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 finalement sont devenus le marteau et l'enclume de l'oreille moyenne des mammifères.

7 - 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 étonnément 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 rendues 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'Evolution explique que la diversité biologique est le résultat de l'adaptation aux divers environnements locaux des descendants de prédécesseurs, soit locaux, soit émigrants. Cette explication peut être testée 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, il y aurait des présomptions pour suggérer que la présence d'une espèce actuelle à un endroit donné, alors qu'aucun fossile apparenté n'est connu à cet endroit, est le résultat d'une migration. A 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 isolés jusqu'à ce que les deux masses continentales soient reliées par l'isthme de Panama il y a environ 3 millions d'années. A 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 2000 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 ayant 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 ayant atteint par chance l'archipel hawaïen trouvèrent de nombreuses niches écologiques disponibles et, où ils le purent, se diversifièrent et évoluèrent 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 non rencontrées 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, à cause de leur isolement géographique. Ceux ayant réussi à atteindre ces îles s'y diversifièrent au fil du temps du fait de l'absence d'organismes du même type qui auraient pu entrer en compétition avec eux pour les ressources, alimentaires par exemple

8 - 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 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 divers 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.

légendes des figures

Jusqu'à il y a 3 millions d'années environ, l'Amérique du Nord et du Sud étaient encore séparées par un large bras de mer, de telle sorte que les mammifères des deux continents ont évolué séparément. Une fois l'isthme de Panama formé, les tatous et les opossums migrèrent vers le nord tandis que les pumas migrèrent vers le sud. Les preuves de ces déplacements sont attestées par les fossiles.

9 - 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 60 et 70, 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 standards : 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 utilisées 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 elles se trouvent. Ceci conforte, une fois encore, l'origine commune de tous ces animaux.

Des relations de parentés semblables ont été reconstitués 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 développèrent 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 donc, moins les séquences de leurs gènes sont différentes. 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 plus 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.

La figure ci-contre compare 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). A 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 convaincantes. 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 plus 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 suggèrent même que leurs plus proches parents actuels soient les hippopotames. Dans ce cas, la biologie moléculaire permet des rapprochements plus précis que la paléontologie.

Enfin, les gènes permettent de comparer des organismes pour lesquels on n'a 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.

19bis - Moi je rajouterais ici un arbre universel du vivant très, très simplifié et illustré pour souligner l'origine unique du vivant. Dois-je le tracer ? Re : Oui, merci !)

Fig 19 - Les espèces qui ont divergé le plus anciennement montrent le plus de

différences entre leurs protéines, ce qui reflète l'accumulation de changements dans la séquence des acides aminés au cours du temps. Les protéines évoluent à des rythmes différents qui dépendent des contraintes pesant sur leurs fonctions. Le cytochrome *c*, une protéine intervenant dans le métabolisme énergétique, est très contraint et change lentement. Les fibrines, impliqués dans la coagulation du sang, sont bien moins contraints et évoluent plus vite, tandis que l'hémoglobine a un rythme intermédiaire. Les estimations des temps de divergence indiquées ici sont basés sur des estimations de 1971 et ont été un peu revues depuis (*voir tableau page 13*).

Fig 18 - La myoglobine, qui stocke l'oxygène dans les muscles, consiste en une chaîne linéaire de 153 acides aminés enroulés autour d'une molécule liant l'oxygène. La séquence des acides aminés varie d'une espèce à l'autre et permet de révéler les relations évolutives entre organismes.

10 - Le Créationnisme et les données en faveur de l'Evolution

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 ; nulle part cette succession n'a été trouvée 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 de la documentation paléontologique est que les générations se sont succédées 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 pouvons constater 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.

A 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 impliquant plus de 300 millions de cas cliniques chaque année.

Les données d'évolution moléculaire contrecarrent une récente assertion appelée « la théorie de la création intelligente » (« *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 du clergyman William Paley qui, à la fin du 18ème siècle, 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 fonctionner que lorsque les composants sont tous fonctionnels dès le départ. Aussi, les partisans de la « création intelligente » disent que ces structures et processus ne peuvent pas avoir évolué par étapes successives dans le cadre 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 fonctionner que si tous leurs composants sont réunis et fonctionnent comme ils le font aujourd'hui. Des systèmes

biochimiques complexes peuvent se former à partir de systèmes plus simples au travers de 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 rétiniennes sensibles à la lumière (comme observé 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

systemes 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.

11 - L'Evolution 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 jalonnant certaines lignées et les reliant 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 tant en Afrique orientale (« Orrorin ») que centrale (« Toumaï ») pour cette période reculée permettront sans doute de mieux situer l'époque de la séparation de notre lignée de celles des autres anthropoïdes.

Mis à part ces nouvelles données, les premiers représentants incontestables de notre lignée apparaissent en Afrique vers quatre millions d'années 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'est guère augmentée. L'anatomie du bassin et des membres inférieurs suggère 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 les hommes actuels. Exactement comme les australopithèques avaient un ensemble de caractères qui rappellent soit ceux des

grands singes, soit ceux des Homme et d'autres caractères dans des états intermédiaires, les premiers représentants du genre *Homo* se montrent globalement intermédiaires entre *Australopithecus* et les Hommes modernes. 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'abondante documentation 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 depuis les formes les plus anciennes aux plus récentes. La documentation fossile est suffisamment complète pour décrire comment depuis des origines géographiques en Afrique le genre *Homo* se dispersa en Asie et en Europe depuis 2 millions d'années. A cela s'ajoute de nombreux sites archéologiques avec 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 les Hommes et les grands singes anthropoïdes actuels. L'étude comparée de nombreuses protéines et des séquences d'ADN montre que les Hommes sont plus proches 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 divers 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, qui se base sur un taux de mutation connu au cours du temps, donne une date d'environ 500.000 ans, ce qui correspond plutôt bien avec les 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, 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 dans les Amériques.

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 paléanthropologie moléculaire. Ce nouveau domaine de recherche produit sans cesse de nouvelles connaissances qui consolident les relations d'étroite parenté entre les Hommes et les grands singes africains.

Divers sondages d'opinion révèlent que beaucoup de personnes croient qu'une intervention divine a activement guidé l'évolution des être humains. La science n'a pas les moyens de discuter de l'influence que des forces surnaturelles pourraient jouer dans les affaires humaines. Par contre 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.

Les plus anciens représentants de la lignée humaine, les Hominidés, comme ceux de l'espèce *Australopithecus afarensis* vivaient il y a environ 3 millions d'années. Ils avaient des cerveaux plus petits et des faces plus développées que les premiers membres du genre *Homo* qui apparaissent vers 2,4 millions d'années. Les parties reconstituées du squelette sont en blanc ; les crânes ne sont pas représentés à la même échelle. *A. afarensis*, *A. africanus*, premiers *Homo*, *H. erectus*, *H. sapiens*.

12 - CONCLUSIONS

La science n'est pas la seule voie pour l'acquisition de connaissances sur nous mêmes et sur le monde qui nous entoure. Les hommes peuvent acquérir des connaissances par beaucoup d'autres voies comme la littérature, les arts, la réflexion philosophique et l'expérience religieuse. La connaissance scientifique permet d'enrichir la perception esthétique et morale. Cependant ces matières s'étendent au delà du domaine 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 science reflète une méconnaissance de ce qu'est le domaine scientifique et des 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 des 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 font pas partie du domaine scientifique car ils ne peuvent pas être testés par les méthodes de la science. Ces revendications subordonnent les données observées à des bases préétablies de façon autoritaire, par des révélations ou des croyances religieuses. Les « documents » en faveur de ces revendications sont habituellement limités à des publications particulières de leurs défenseurs. Ces publications 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 bien réussi à expliquer des processus naturels, ce qui a conduit non seulement à une plus grande compréhension de l'univers mais aussi à des perfectionnements 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 science.

13 - QUESTIONS SOUVENT POSÉES

Qu'est ce que l'évolution ?

L'évolution dans son sens le plus large pose 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 anciens. 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 beaucoup 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 est vrai également pour le passé. Pour des sciences comme l'astronomie, la géologie, l'évolution en biologie et l'archéologie, des inférences logiques sont faites et elles sont ensuite confrontées aux données.

Quelques fois, le test ne peut être effectué 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 ont 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 une 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 s'étant produits dans le passé ne sont donc pas «hors des limites» d'une étude scientifique. Des hypothèses peuvent être établies concernant ces phénomènes et ces hypothèses peuvent être testées et aboutir à des conclusions solides. De plus, beaucoup de mécanisme- clés de l'évolution se produisent sur des périodes relativement courtes et peuvent être observés 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 constitué par le monde vivant. Les scientifiques utilisent le plus souvent le mot "fait" pour désigner une observation particulière bien établie. Mais ils peuvent être amenés à utiliser aussi le mot « fait » pour désigner une théorie testée si souvent qu'il n'y a aucune raison obligeant à 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 robustesse de cette idée.

De nombreux scientifiques de renom ne rejettent-ils pas l'évolution ?

Non. Un consensus scientifique en faveur de l'évolution domine 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 des scientifiques contestent la notion d'évolution. Cependant, l'examen de ces citations montre qu'en réalité ces scientifiques discutent à propos de "comment" fonctionnent certains aspects des mécanismes de l'évolution mais pas "si" l'évolution existe. Par exemple, le biologiste Stephan Jay Gould 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 enseignant éloquent 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 en omettant les données explicatives suivantes montrant mon véritable but – qui est de discuter du taux de changement évolutif, mais pas de réfuter l'existence de l'évolution". Gould définit l'équilibre ponctué comme suit :

« 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 un court moment comparé aux plusieurs 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 imparti semble long et les transformations très lentes comparées 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 hommes 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 de branchements ou de ramifications au cours duquel des populations se séparent les unes des autres et deviennent peu à peu différentes. 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. A 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.

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 Etats-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 supporters de la « science de la création » ont témoigné en faveur de leur vue, 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 soit 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 peuvent pas prôner la science de la création 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 la science et la pédagogie de la « science de la création » et ont fortement déconseillé son exposé dans les écoles publiques. 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 écoles) doivent présenter uniquement des critiques véritablement scientifiques ou des preuves des explications de la vie sur terre mais pas des critiques religieuses (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 argumentent 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 pas les vues religieuses de groupes particuliers ou d'individus.

Si l'évolution est enseignée dans les écoles, ne doit-on pas donner le même temps au créationnisme ?

Certains groupes religieux nient que les microorganismes provoquent des maladies, cependant, le programme scientifique ne doit pas être modifié pour autant afin de tenir compte de cette croyance. La plupart des gens sont d'accord pour que les étudiants reçoivent le meilleur enseignement possible dans toutes les disciplines. Cet enseignement est évalué par des professionnels et des

éducateurs dans ces disciplines. Les scientifiques aussi bien que les éducateurs ont conclu que l'évolution - et l'évolution seule - devrait être enseignée dans les classes de science parce que c'est la seule explication scientifique des causes conduisant à l'état actuel de l'univers.

Beaucoup de gens disent qu'ils veulent que le créationnisme soit enseigné à leurs enfants à l'école, mais il y a des milliers d'idées différentes concernant la création parmi les peuples du monde. L'étude comparée des religions mondiales pourrait constituer un domaine d'étude valable mais cette étude ne convient pas à une classe de science. En outre, la Constitution des Etats-Unis établit que l'école doit être religieusement neutre, donc légalement, un enseignant ne peut pas présenter un aspect créationniste particulier comme étant plus "vrai" que les autres.

14 - Orientations bibliographiques

Liste d'ouvrages grand public

Les dossiers de Pour la Science , Belin, Paris, en particulier:

Dossier Pour La Science « *L'évolution* », 1980,

Dossier Pour La Science « *L'évolution* », n°14, janvier 1997.

Dossier Pour La Science "*Les origines de l'Humanité*", n° 22, 1999

Dossier Pour La Science « *La valse des espèces* », n°28, juillet 2000.

H. le Guyader (Dir.) *L'Evolution*, Bibliothèque Pour la science, Belin, 1998.

Science et Vie « *L'évolution, la naissance des espèces* », HS n°279, décembre 1990 (épuisé, à trouver en bibliothèque).

Science et Vie " *Et si la vie devait tout au hasard...*" N°1079, Août 2007

La Recherche « *L'histoire de la vie, 3 milliards d'années d'évolution* », n°296, mars 1997.

La Recherche "*L'Evolution selon Gould*" n°356, septembre 2002

Les dossiers de *La Recherche, l'Histoire de la terre, 4,5 milliards d'années d'évolution*. n°25, novembre 2006.

Les dossiers de *La Recherche*, « *L'évolution – Comment les espèces s'adaptent* » n° 27, mai-juin 2007 .

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

Encyclopédie Larousse de la Nature : La planète de la vie ; Larousse, Paris, 1992, XXIII + 331 p. (abondamment illustrée).

Encyclopédie Larousse de la Nature : La flore et la faune ; Larousse, Paris, 1993, XXIV + 370 p. (*id.*).

J.-C. Fischer, 1989, *Fossiles de France et des régions limitrophes* ; Masson, 2e édition, Paris, 479 p. (illustré)

L. Gamlin & 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. (dir.), 1993, *Le livre de la vie* ; Editions du Seuil, Paris, 256 p. (illustré).

Hublin, J-J.1981, *L'évolution de la vie* ; Editions du Chat Perché - Flammarion, 318 p. (illustré).

Padian K. *De Darwin aux dinosaures -Essai sur l'idée d'Evolution.*(2004) O. Jacob.

Picq. P. *Lucy et l'obscurantisme.* (2007) O. Jacob.

Tassy P. *Peut-on faire revivre le mammouth?* (2004). 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.

Pour les professeurs des écoles :

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

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

Collectif *Notionnaire2-Idées.*, (2005) (articles créationnisme, évolutionnisme, fixisme, transformisme, etc.), Encyclopaedia Universalis.

Coppens Y (dir.), *Origine de l'homme - réalités, mythes, modes.*(2001), Artcom.

David P., Samadi S. *La théorie de l'évolution. Une logique pour la biologie* (2000); Champs U, Flammarion.

Lecointre G. & H. Le Guyader (2001). *La classification phylogénétique du vivant*, Belin. (3eme Edt. 2007).

Lecointre G. *Evolution et créationnismes*

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/chap1/lecointre>

Lecourt D. *L'Amérique entre la Bible et Darwin*, nov. ed. (2007) PUF.

Tassy P. *Le paléontologue et l'évolution* (2000) Le Pommier.

Wilgenbus D., J.-M. Bochart et P. Léna (2002). *Graines de Sciences 4*, pour enseignants et parents. Le Pommier.

(APPEL À LA VERSION ORIGINALE AMÉRICAINE)