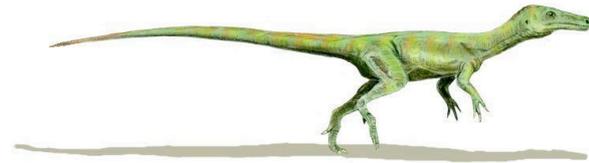


# EVOLUTION DES ORGANISMES VIVANTS ET HISTOIRE DE LA PLANÈTE TERRE



*"Rien n'a de sens, en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution."*

T.G. Dobzhansky, biologiste



## Les espèces se succèdent et se renouvellent au cours du temps.

Il est rare que l'on puisse dater précisément une révolution scientifique: les idées et les contributions respectives se diluent dans l'histoire et compliquent le tableau, rendant délicat l'attribution d'une découverte à un seul scientifique. Pourtant, nous connaissons précisément la date de la plus grande révolution de la biologie depuis la découverte de la cellule: le jeudi 24 novembre 1859 paraissait un livre qui allait changer le monde : ce jour là, le naturaliste Charles Darwin, déjà célèbre pour d'autres travaux et ses voyages, faisait paraître son ouvrage "[L'origine des espèces par le moyen de la sélection naturelle, ou la préservation des meilleurs groupes dans la lutte pour la vie](#)". Il n'était ni le premier ni le plus célèbre à s'intéresser à ce problème, mais son livre présentait une somme d'observations et de réflexions montrant que les différentes espèces d'être vivant (donc l'homme aussi) dérivait les unes des autres par divers mécanismes permettant de reconstruire une histoire de la vie gouvernée par un changement permanent, une évolution des formes de vie. Nous allons examiner comment cette brillante idée est devenue, de nos jours, une certitude.

## Les roches sédimentaires racontent l'histoire de la Terre

Avant l'époque de la renaissance, il n'existait pas de réponse scientifique à la question de l'origine des espèces et de la planète: toutes les réponses étaient fournies par les religions, et il semblait évident qu'une intervention divine avait créé toutes les espèces existant actuellement (seuls avaient disparu des "monstres" qui n'avaient pas résisté au déluge...) Des théologiens (1) avaient calculé que la Terre avait été créée il y a 7000 ans environ. Quiconque contestait ces idées risquait de finir transformé en méchoui sur un bûcher...

En 1666, des pêcheurs italiens capturèrent un requin géant près de la ville de Livourne. Un noble local envoya le corps de l'animal à un spécialiste de l'anatomie danois, Niels Stensen, qui travaillait à Florence. Stensen dissèque l'animal (ci contre, gravure tirée de son ouvrage, montrant la tête et les dents de l'animal) et découvre que les dents du requin ressemblent beaucoup, étrangement, à des pierres, les glossopetrae, que l'on peut trouver dans certaines couches de roches. Alors que des auteurs anciens pensaient que ces pierres étaient tombées du ciel ou devaient leur forme au hasard, Stensen ose une hypothèse révolutionnaire: puisque les pierres ressemblent trop aux dents de requins, c'est que ce sont sans doute d'anciennes vraies dents de requins qui se sont transformés en pierre, minéralisées, au cours du temps. Il confirme ainsi une idée émise par le botaniste Fabio Colonna en 1616, mais il va plus loin en cherchant comment ces dents sont arrivées dans les roches et en supposant que tous les fossiles sont des restes d'anciens animaux ou végétaux (2). En observant les falaises, Stensen propose que des



roches se forment par dépôt de couches successives qui emprisonnent les restes d'êtres vivants qui seront convertis en pierre avec le temps. Il semble alors évident que les dépôts successifs forment des couches dont la plus ancienne est située vers le bas (3). L'étude des fossiles et des roches qui les contiennent va pouvoir commencer.

1 - L'anglais J. Husher avait par exemple calculé dès 1654 la durée de toutes les générations dans la bible (sa démarche était scientifique, mais pas sa référence!), aboutissant à une date de "création" de la Terre en 4004 av. J.C. D'autres religieux "précisèrent" ensuite ce décompte jusqu'à l'absurde (aboutissant à l'acte de naissance de la Terre le 26 octobre 4004 av. JC à 10h du matin...). De nos jours, certains intégristes religieux croient toujours que la Terre est âgée de 6000 ans à peine.

2 - Cette origine des fossiles doit vous sembler évidente, mais en 1616 il en était tout autrement. Seuls des génies du calibre de Leonard de Vinci (cf encadré ci contre) vers 1500 ou des penseurs excentriques comme Bernard Palissy vers 1550 pouvaient penser que de vrais animaux pouvaient s'être transformés en pierre et donner des indications sur le passé...

3 - Bien entendu, vous avez étudié en cinquième les roches sédimentaires comme le calcaire, leur formation et la sédimentation. Comment ? C'est loin la cinquième ? Vous avez tout oublié ? Votre prof a commencé à vous parler des paysages en juin et vous n'avez pas eu le temps de tout voir ? Je vous rassure, c'est assez fréquent ! Une petite révision page 3 ne sera pas de trop ...

## Le contexte

### Une idée nouvelle contre l'évidence immédiate.

L'idée que les espèces possèdent une longue histoire au cours de laquelle elles ont pu se transformer et changer s'oppose, à première vue, aux observations immédiates: on ne voit jamais un chien donner naissance à un chat, où un chêne produire un cerisier! Pourtant, plusieurs observations ont permis d'établir l'existence des modifications des espèces dans le temps. Elles ont résulté de l'accumulation de plusieurs découvertes réalisées en Europe à partir du 16<sup>e</sup> siècle (dans d'autres régions, des scientifiques, dont le chinois Shen Kuo, avaient réalisé dès l'an 1000 des observations pertinentes, mais qui sont restées sans lendemain).

A cette époque, il est apparu que l'on pouvait découvrir des faits inconnus des auteurs de l'antiquité, corriger leurs erreurs et améliorer la connaissance du monde. Ce nouvel état d'esprit sera utilisé pour découvrir et expliquer la surprenante histoire des espèces.

### Les remarques pertinentes d'un génie "universel".

Léonard de Vinci s'oppose à l'opinion qui fait des coquillages fossiles des reliques du déluge:

*" On ne peut qu'admirer la sottise ou la simplicité de ceux qui veulent que ces coquilles aient été transportées par le Déluge ... Si cela était elles seraient jetées au hasard , confondues avec d'autres objets , tous à une même hauteur . Or les coquillages sont déposés par étages successifs ; on les trouve au pied de la montagne comme à son sommet ; quelques-uns sont encore attachés au rocher qui les portait. Ceux qui vivent en sociétés , huîtres , moules , sont par groupes ; les solitaires se trouvent de distance en distance , tels que nous les voyons aujourd'hui sur le rivage de la mer ... Les montagnes où sont les coquillages étaient jadis des rivages battus par les flots , et depuis elles se sont élevées à la hauteur où nous les voyons aujourd'hui ... ".*

Vers 1800, l'ingénieur [William Smith](#) supervise le tracé d'un canal au sud-ouest de l'Angleterre. Il en profite pour confirmer ses observations, faites dans des mines de charbon, sur l'ordre des couches de roches du sous-sol. Il constate qu'il retrouve dans les roches creusées à cette occasion des couches identiques, contenant les mêmes fossiles, à des endroits très différents de l'Angleterre. Il constate aussi que la succession de fossiles, d'une couche à l'autre, est toujours la même. Cela lui permet de repérer la succession des roches sédimentaires et d'en faire une carte, montrant dans quel ordre ces roches se sont déposées (cette carte, ainsi que d'autres, issues de son travail, est [visible ici](#)).

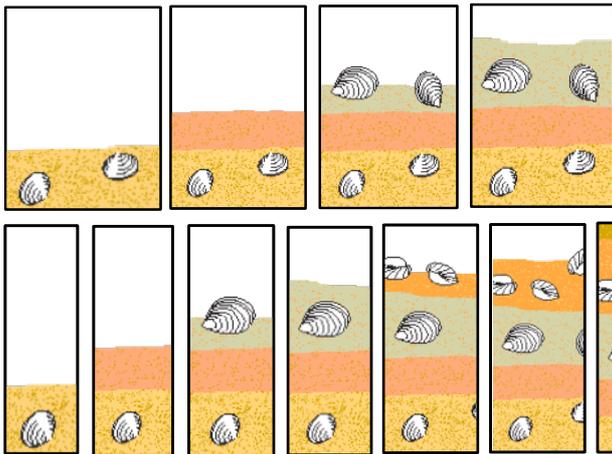
Il devient alors possible de considérer les roches sédimentaires comme étant les pages successives d'un livre racontant l'histoire des diverses formes de vie à différentes époques: **les roches sédimentaires constituent des archives géologiques, car elles contiennent des fossiles variés** dont on peut, par diverses méthodes, dater l'époque de formation.



Les dépôts successifs de sédiments, transformés par la suite en roches, permettent de suivre le déroulement du temps sur de très longues périodes.

L'épaisseur maximale de sédiments visibles à un endroit donné est de 2,5 km (au Hells Canyon, dans le N.E. de l'Oregon, USA) mais s'il était possible de voir leur épaisseur totale, dans l'histoire de la Terre, celle-ci représenterait une hauteur de 120 km !

Ci-contre : le Grand Canyon du Colorado (USA) a été creusé par le fleuve du même nom il y a 7 millions d'années dans des roches âgées de 270 millions d'années. Le fleuve a entaillé ces roches sur une profondeur de 1300 m, dégageant des couches successives dont la plus vieille, au fond, date de plus de 1840 millions d'années. Lorsque l'on s'élève depuis le fond, il est possible de rencontrer dans certaines couches des fossiles contribuant à décrire l'histoire de la vie pendant cette période. Photo USGS.

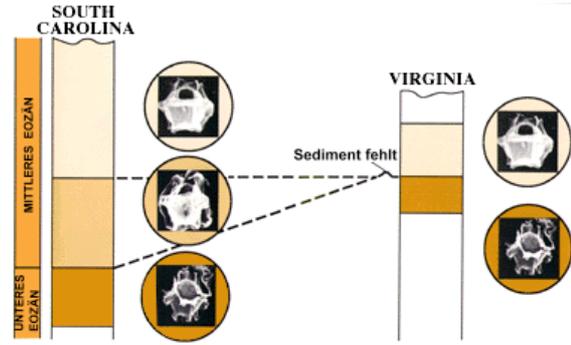


Dans un premier site, la sédimentation crée deux couches contenant des fossiles séparées par une couche de roche sans fossiles (sable ou coulée de lave, par exemple)

Suite de dessins d'après une animation de l'université de Berkeley.

Dans un second site, éloigné du premier, on retrouve la même succession de couches et de fossiles. On en déduit que leur dépôt s'est effectué en même temps, et que ces couches ont le même âge.

Par contre, ici, la sédimentation s'est poursuivie et deux autres couches de roches, dont une contenant des fossiles, se sont formées.



La Caroline du Sud et la Virginie sont deux états de la côte Est des USA séparés de plusieurs centaines de km. Pourtant, une succession de couches géologiques de Caroline, contenant des fossiles microscopiques, peut être retrouvée en Virginie. Toutefois, la couche centrale de sédiments manque en Virginie: on en déduit que les sédiments correspondants n'ont pu se déposer, parce qu'à l'époque le site de Virginie se trouvait hors de l'eau alors que la Caroline du Sud était recouverte par un lac où la mer, ce qui a permis un épisode de sédimentation (et donc une couche géologique) supplémentaire.

## Les précurseurs de l'évolution

[Shen Kuo](#) découvre que les roches et le climat ont varié dans l'histoire.

Entre 1070 et 1080, ce scientifique chinois utilise ses observations de l'érosion, des roches et des fossiles pour affirmer que les continents sont formés par de très lents dépôts de sédiments et que l'emplacement des mers et des océans a changé avec le temps.

Vésale montre les ressemblances entre le corps humain et celui des animaux.

En 1543, le professeur d'anatomie Vésale publie le premier livre décrivant en détail des dissections de corps humains. Vésale est intrigué par les différences, mais aussi les ressemblances, entre l'organisation du corps humain et celui des animaux, surtout utilisés jusqu'à son époque pour étudier l'anatomie.

Linnée regroupe différentes espèces dans une classification

À la suite de J. Ray en 1682, le naturaliste Linnée publie en 1735 un livre, *systema naturae*, qui propose une classification des êtres vivants basée sur leurs ressemblances. Il souligne ainsi que de nombreux êtres vivants partagent beaucoup de caractères communs, et il place les humains, avec les singes, dans le groupe des primates.

Buffon s'élève contre les préjugés religieux

Vers 1750, George Louis Leclerc, comte de Buffon, tente de rédiger une encyclopédie décrivant toute la biologie et la géologie de son époque. Il est un des premiers à proposer que la Terre soit bien plus âgée que les 7000 ans que l'on lui donnait à l'époque (Buffon propose un âge de...70000 ans, déjà inimaginable à son époque, alors qu'il pense que la Terre est âgée d'un demi-million d'années...) et propose que les éléphants d'Afrique et d'Asie soient les descendants des mammouths dont des fossiles viennent d'être découverts, à son époque, en Sibérie.

### Sur le web



Karen Kaar est une artiste spécialisée dans les reconstitutions de paysages préhistoriques. [Son site](#) présente de magnifiques vues des anciennes formes de vie.

Les musées virtuel du Canada vous invitent à une [chasse aux fossiles](#) de dinosaures.

L'[annuaire dinoweb](#) regroupe des sites de paléontologie très divers.

Les reconstitutions d'animaux préhistoriques [d'A. Weasley](#)

## Retour en 5<sup>ème</sup>: érosion, sédimentation et fossilisation

Souvenez-vous, c'était il y a deux ans, vous étiez en cinquième, et à la fin de l'année vous aviez commencé l'étude des paysages... Comme votre mémoire n'est pas extensible, que vous avez malheureusement égaré vos cours de cinquième et que, peut-être, votre prof, pris par le manque de temps, n'avait pas eu l'occasion de terminer le programme, autant rafraîchir un peu quelques connaissances...

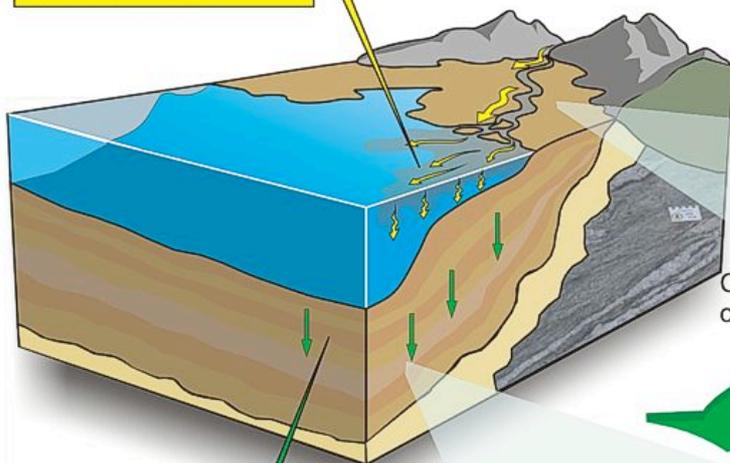
Tout commence avec l'action de l'eau sur les roches. L'eau, sous ses différentes formes (glace, pluie, cours d'eau...) détruit les roches, les pulvérise, puis transporte les morceaux en les déposant au cours de son voyage, au fil des crues et selon la forme des terrains qu'elle traverse.

Parallèlement à cette casse et ce transport, les roches subissent des transformations chimiques causées par l'eau et l'air, qui aboutissent à la formation de nouveaux minéraux, comme l'argile par exemple. D'autres constituants des roches, les sels minéraux, sont simplement dissous.

## La fossilisation: une exception

On connaît 300000 espèces de fossiles seulement pour toute l'histoire de la vie, alors que ce chiffre ne représente que 10% environ des espèces vivantes actuellement. La fossilisation est un événement exceptionnel ([une animation vous en montre le processus](#)) qui ne se produit qu'en de rares circonstances. Plusieurs études montrent que moins de 5% des ossements de gros animaux morts sont enfouis dans le sol et que la quantité de matière vivante fossilisée est, dans les meilleures conditions, inférieure à 1%. Les sites où l'on trouve de nombreux fossiles sont donc, eux aussi, très rares et protégés.

Les interactions entre les conditions météorologiques, l'eau et la gravité engendrent l'érosion, le transport et le dépôt des sédiments.



Le poids des sédiments sus-jacents compacte et cimente les dépôts pour former les roches sédimentaires.

Le schéma ci-contre représente la formation de roches à partir de sédiments d'origine montagneuse. Les sédiments abandonnés par le fleuve en cours de route forment des terrains comme les dunes de sable ridées.

Lorsque ces sédiments atteignent la mer ou un lac, ils se déposent (flèches jaunes) et leur poids croissant écrase et compacte les sédiments déjà présents (flèches vertes). En s'enfonçant, les sédiments se réchauffent, se tassent, perdent leur eau, ce qui fait précipiter des sels minéraux: une **roche sédimentaire** (comme le grès, qui a gardé à sa surface les rides provenant de la lointaine époque où il n'était que du sable) se forme.

À chaque époque de dépôt correspond une couche de roche sédimentaire, que l'on appelle une strate.

Compaction et cimentation



Érosion, transport et dépôt

Rides dans du grès près d'Uranium City



Des couches de Grès rouge de 1700 millions d'années surmontent un ensemble de galets cimentés (conglomérat, au premier plan) vieux de 1800 millions d'années sur la rive N. du lac Athabasca, au Canada.

Si des restes d'êtres vivants sont prisonniers des sédiments, rapidement abrités du di-oxygène et des prédateurs, ils peuvent être conservés et, lentement, leurs parties dures pourront être remplacées par des sels minéraux: cette minéralisation est à l'origine des fossiles (encore plus rarement, l'empreinte d'un être vivant dans les sédiments, avec tous ses détails, pourra être conservée).

La formation des roches sédimentaires est très lente et nécessite plusieurs millions d'années.

Il existe des roches sédimentaires depuis que de l'eau coule sur Terre, il y a presque 4 milliards d'années. Toutefois, des roches si vieilles (3,8 milliards d'années pour le record, au Groenland) ont subi de nombreuses transformations qui en ont altéré les éventuels fossiles.

Comme la sédimentation se produit dans les mers, les lacs et autour des cours d'eau, la plupart des milieux où l'on trouve des fossiles sont d'anciennes mers, lacs ou bords de fleuves, marais ou rivières. Comme la sédimentation n'est pas régulière (les mers changent de niveau et d'emplacement, les lacs s'assèchent, les fleuves modifient leurs cours...); on ne dispose pas de sédiments et donc de fossiles pour toutes les époques à un endroit donné: il manque de nombreuses pages dans le livre de la vie constitué par les dépôts successifs de sédiments !



Des strates, couches successives de roches sédimentaires, sont ici clairement visibles.

## Les fossiles montrent que les espèces disparaissent et changent au cours du temps

L'étude des dépôts sédimentaires allait réserver des surprises. En effet, les premiers fossiles étudiés ressemblaient beaucoup à des animaux connus, même si on ne les trouvait pas "au bon endroit" (des fossiles d'éléphants en Italie, par exemple). Toutefois, en 1766, les carrières de la ville de Maastricht livrèrent des morceaux d'un fossile géant. Quelques années plus tard, un deuxième crâne fossile, plus complet, fut découvert (1) puis, en 1795, alors que l'armée française assiégeait Maastricht, le fossile fut envoyé à Paris. Là, le naturaliste George Cuvier, en 1800, était un des plus grands spécialistes de l'anatomie des animaux et examina ce fossile d'un animal nommé mosasaure, et ne put que constater que cet animal n'existait plus, nulle part dans le monde. Pire encore: en étudiant précisément les fossiles des éléphants retrouvés en Europe, Cuvier parvint à la conclusion que ces éléphants étaient d'une espèce totalement différente des animaux modernes.

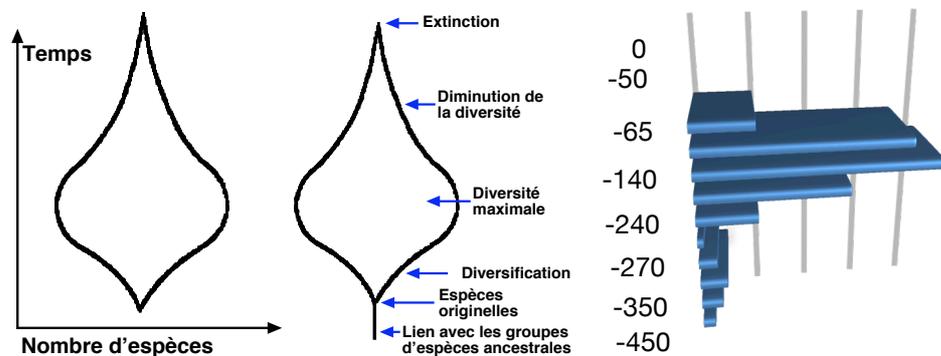
Les fossiles montraient donc sans aucun doute possible que **de nombreuses espèces animales, voire même des groupes entiers, pouvaient avoir complètement disparu** et avait été remplacés par de nouvelles espèces.

Ainsi, la majorité des fossiles permet de décrire des êtres vivants dont l'espèce a manifestement disparu. On peut même remarquer que plus les roches dont on extrait les fossiles sont anciennes et plus ces derniers ont une apparence surprenante, ce qui rend parfois leur reconstitution et leur étude difficile (2). Quelques exemples:

- les trilobites, des animaux marins à pattes articulées et au corps divisé en trois parties, se retrouvent en abondance (on en connaît plus de 18000 espèces !) dans des roches d'un âge s'étalant de -525 à -250 millions d'années. Dans les couches suivantes de roches, on n'en trouve plus trace: ce groupe d'espèces a complètement disparu.

- Les ammonites étaient aussi des animaux marins ressemblant à des pieuvres modernes, mais vivant dans une coquille qui se fossilisait facilement. On en retrouve dans les mêmes roches que les trilobites, mais pas seulement, entre -400 et -65 millions d'années. La variété des formes des coquilles ainsi que leur taille a permis d'identifier de très nombreuses espèces différentes. On ne trouve plus de trace des ammonites en deçà de -65 MA.

Que ce soit pour les trilobites, les ammonites ou les autres fossiles, les paléontologues retrouvent toujours le même schéma: une espèce (ses fossiles) apparaît dans certaines roches, puis le nombre d'espèces qui lui ressemblent augmente plus ou moins régulièrement, formant un groupe d'espèces parfois très étendu. Ensuite, lentement ou brutalement, les espèces disparaissent des roches et le groupe entier peut lui aussi disparaître.



Si on représente le nombre d'espèces d'un groupe donné (les ammonites, par exemple) en fonction du temps, on obtient un graphique en forme de fuseau plus ou moins régulier. Ce graphique décrit comment les espèces se diversifient, puis déclinent pour parfois disparaître (ou donner naissance à de nouvelles espèces). Actuellement, certains groupes de mammifères sont très diversifiés (les chauves-souris) alors que d'autres ne sont plus représentés que par une seule espèce (nous, les humains...).

Le graphe bleu illustre le décompte du nombre d'espèces fossiles d'ammonites en fonction du temps (en millions d'années): on peut constater qu'alors que le groupe est encore bien représenté il y a 65 millions d'années, il semble s'éteindre "brusquement" (3).

Mais qu'est-ce qui peut faire disparaître des espèces et des groupes entiers ?

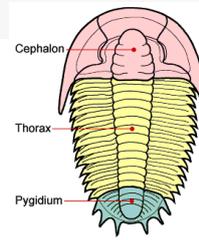
1 - En 1795, le propriétaire du fossile l'avait caché, mais un général français promit à ses hommes une récompense de 600 bouteilles de vin contre le fossile, qui fut alors retrouvé.

2 - De nombreux fossiles différents sont nécessaires pour corriger les erreurs: J. Cope reconstitua en 18 un animal marin en positionnant sa tête à l'envers, au bout de sa queue (C. Marsh le lui fit remarquer, ce qui lança une compétition entre ces deux scientifiques). Plus près de nous, le fossile Hallucigenia, découvert en 1909, fut d'abord représenté à l'envers, parfois considéré comme un morceau d'un fossile plus grand, puis remis "à l'endroit" en 1991...

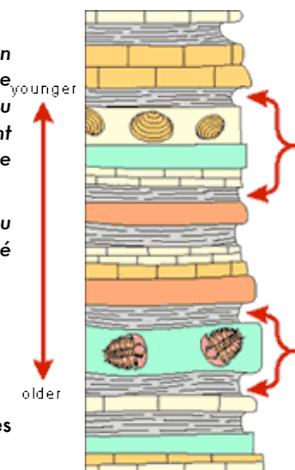
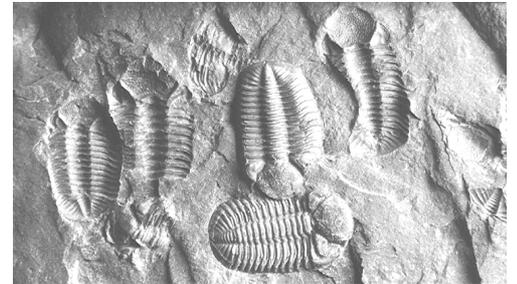
3 - Brusquement, pour un géologue, n'a pas tout à fait le même sens que pour vous: cela signifie simplement "en moins d'un million d'années..."



Une reconstitution du mosasaure découvert en 1766: aucun animal connu au 18e siècle ne pouvait être confondu avec lui...



Aspect d'un trilobite et d'une coquille d'ammonite (l'animal que l'habitait ressemblait un peu à un poulpe). Ces fossiles se trouvent fréquemment en groupes, comme le montrent les échantillons photographiés ci-dessous.



Si les sédiments n'ont pas subi de déformations notables, les plus anciens sont, logiquement, les plus profonds. On peut donc savoir quels sont les fossiles les plus vieux et les plus jeunes. Pour trouver l'âge réel des fossiles, il est possible d'utiliser la radioactivité pour dater certaines roches, d'origine volcanique (flèches rouges) qui "encadrent" les fossiles qui nous intéressent.

## Les espèces meurent aussi...

A la suite des travaux de Buffon et de Smiths, les géologues pensèrent tout d'abord que seules d'épouvantables catastrophes, brutales et heureusement impossibles à observer à notre époque, pouvaient expliquer la disparition de ces espèces. Ainsi, au début du 19e siècle, de nombreux géologues croyaient qu'une succession de catastrophes expliquait l'alternance des espèces révélée par les fossiles et s'accordait avec un âge limité de la Terre, attesté par leurs conceptions religieuses, mais aussi par des calculs de physiciens comme Joseph Fourier (1). Toutefois, dès 1790, un géologue écossais, J Hutton, avait proposé que les transformations de la Terre se soient produites très lentement, graduellement, avec les mêmes phénomènes d'érosion et de sédimentation toujours observables de nos jours. Cela impliquait, vu la lenteur de ces phénomènes à modifier les paysages, que l'histoire de la Terre ait été bien plus longue que ce qui était jusque-là envisagé. Ce n'est cependant qu'en 1830 que le géologue Charles Lyell exprima clairement cette idée, qui commençait à s'imposer confusément chez les géologues, et la soutint grâce à de nombreuses observations publiées dans sa série de livres "les principes de géologie : une tentative d'expliquer les changements de la surface de la Terre par des causes opérant actuellement". Lyell soutient que la Terre est extrêmement âgée, et mentionne même dans ses livres que l'examen patient des roches et des paysages qu'il a effectué ne montre "ni la moindre trace d'un commencement, ni la moindre perspective d'une fin".

Les géologues, tenant des catastrophes ou soutenant les idées de Lyell, s'accordèrent sur l'ancienneté de la Terre, et plusieurs tentatives pour dater notre planète furent effectuées, en se basant sur l'érosion des roches, la salinité des océans, sa vitesse de refroidissement (2)... Ces calculs donnaient à notre planète quelques millions d'années, quelques centaines au maximum, ce qui ne semblait pas suffisant pour la majorité des géologues et conduisait à une alternance trop rapide des espèces. Il fallu attendre 1896 pour qu'une nouvelle source d'énergie soit découverte, la radioactivité, permettant d'expliquer les erreurs des anciens physiciens. En 1902, E. Rutherford (3) et F. Soddy découvrent qu'un élément radio-actif se transforme en un autre à vitesse constante. Trois ans plus tard, Rutherford propose d'utiliser sa découverte pour dater les roches (4). Il réalise les premières mesures en 1906 et montre que notre planète est bien plus âgée que prévu: les millions d'années ne se comptent ni par dizaines ni par centaines, mais par milliers.

Ces techniques, constamment perfectionnées, montrent que la Terre est âgée de 4,3 milliards d'années, une durée inimaginable en 1830. Notre planète a donc eu de temps de vivre d'étonnants changements (5). Parmi ceux-ci, la suite des fossiles montre bien de rares et brutales disparitions d'un très grand nombre d'espèces différentes : **il a donc existé des événements exceptionnels à l'origine de crises qui diminuent la diversité des espèces** (la biodiversité).

Ces crises sont des extinctions en masse, et elles sont suivies de périodes de rapide formation, diversification et multiplication de nouvelles espèces

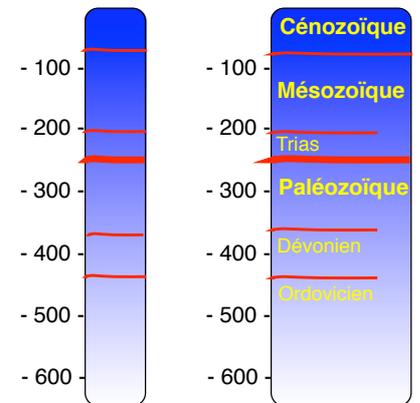
Extinction	Espèces touchées	Causes probables
- 445 MA (fin de l'Ordovicien)	1/3 des espèces d'animaux marins disparaissent, dont de nombreuses espèces de trilobites.	Refroidissement important du climat (glaciation) ?
- 360 MA (fin du Dévonien)	Les espèces de poissons marins et les coraux sont très fortement réduites. Une seule famille de trilobites échappe à l'extinction.	Impact d'une météorite ?
- 248 MA (fin du Permien)	La plus grande extinction que la Terre ait connue: 90% des espèces marines disparaissent ainsi que 75 % des espèces terrestres.	Volcanisme exceptionnel ? Modification du climat causé par la réunion de toutes les masses continentales ? Impact de météorite ?
- 206 MA (fin du Trias)	De nombreuses espèces marines disparaissent.	Impact d'une météorite ?
- 65 MA (fin du crétacé)	Extinction célèbre: les dinosaures disparaissent, mais aussi le plancton marin, les ammonites et presque toutes les espèces qui vivaient sur les fonds marins.	Volcanisme exceptionnel et impact d'une météorite de 10 km de diamètre

Les archives fossiles racontent donc un scénario invariable: **progressivement, depuis plus de 3,5 milliards d'années, des espèces apparaissent, se développent puis disparaissent.** Il se pose alors, fatalement, la question de **l'origine de ces espèces.**

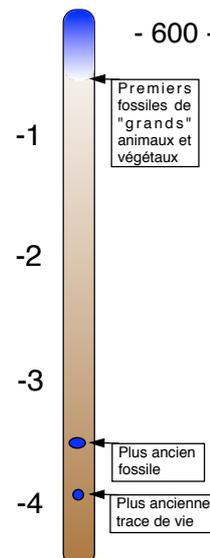
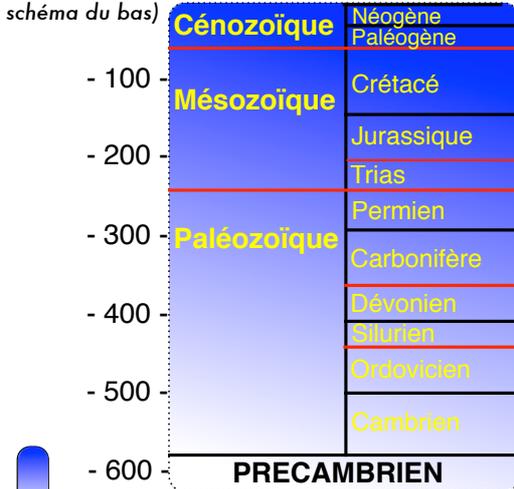
- Fourier avait calculé, selon les connaissances de son époque, combien de temps était nécessaire pour que la Terre, initialement en fusion, se soit refroidie à sa température actuelle.
- Toutes ces méthodes étaient ingénieuses, mais leurs résultats erronés, car de nombreux phénomènes (tectonique, radio-activité...) étaient alors inconnus. En 1864, Lord Kelvin donnait entre 20 et 400 MA à notre planète...
- Oui, c'est bien le même que vous avez rencontré en physique...
- Rutherford mesura la vitesse de production d'Hélium à partir de l'uranium des roches. L'Hélium n'étant pas par ailleurs présent sur Terre, plus une roche en contient et plus elle est vieille. CQFD.
- Vous connaissez l'une des causes de ces changements: la tectonique des plaques, que vous avez étudiée l'an dernier, vous a montré combien la géographie de notre planète avait pu évoluer depuis son origine...



Siccar Point, en Écosse, contribua aux idées de Hutton: on peut y voir une couche de roches aujourd'hui verticale (à droite et au centre, de l'eau s'y est déposée) recouverte par un ensemble de couches horizontales. Dans l'histoire de la Terre il a été nécessaire que la première couche se forme, puis se plie, puis que la deuxième se forme... ce qui réclame du temps!. Photo Dr. Ford.



Les extinctions massives contribuent à diviser les grandes périodes du "calendrier" géologique des derniers 600 millions d'années, durée toutefois peu étendue par rapport à l'âge de la Terre et de la vie (voir schéma du bas)



**Résumé :** Les roches sédimentaires contiennent des fossiles, restes d'anciens êtres vivants, dont l'étude montre que les espèces ont changé au cours de l'histoire de notre planète, qui est âgée de 4,3 milliards d'années. L'alternance des fossiles révèle aussi l'existence de périodes où de nombreuses espèces disparaissent: ces extinctions massives ont servi à délimiter différentes époques géologiques.

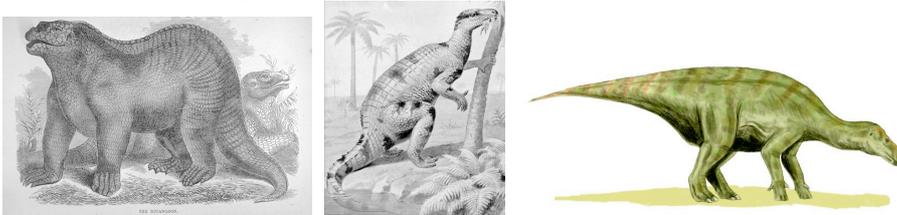
CENOZOIC ERA (Age of Recent Life)	Quaternary Period	<i>Pecten gibbus</i>	<i>Neptunea tabulata</i>
	Tertiary Period	<i>Calyptrophorus velatus</i>	<i>Venericardia planicosta</i>
MESOZOIC ERA (Age of Medieval Life)	Cretaceous Period	<i>Scaphites hippocrepis</i>	<i>Inoceramus labiatus</i>
	Jurassic Period	<i>Perisphinctes tiziani</i>	<i>Nerinea trinodosa</i>
	Triassic Period	<i>Trochites subbullatus</i>	<i>Monotis subcircularis</i>
PALEOZOIC ERA (Age of Ancient Life)	Permian Period	<i>Leptodus americanus</i>	<i>Parafusulina bosei</i>
	Pennsylvanian Period	<i>Dictyoclostus americanus</i>	<i>Lophophyllidium proliferum</i>
	Mississippian Period	<i>Cactocrinus multibrachiatus</i>	<i>Prolecanites gurleyi</i>
	Devonian Period	<i>Mucrospirifer mucronatus</i>	<i>Palmatolepus unicornis</i>
	Silurian Period	<i>Cystiphyllum niagarensis</i>	<i>Hexamoceras hertzeri</i>
	Ordovician Period	<i>Bathyrurus extans</i>	<i>Tetragraptus fructicosus</i>
	Cambrian Period	<i>Paradoxides pinus</i>	<i>Billingsella corrugata</i>
	PRECAMBRIAN		

Aspect et emplacement de quelques fossiles qui servent de nos jours à dater certaines couches géologiques

### La délicate reconstitution des fossiles.

Le cinéma a popularisé, avec Jurassic Park, de magnifiques reconstitutions des dinosaures. Elles paraîtront peut-être ridicules dans quelques années, car les connaissances progressent. Il faut bien se rendre compte que les fossiles sont des restes d'animaux ou de végétaux morts, le plus souvent fragmentaires, déformés et écrasés. Il n'est pas rare que, pour reconstruire un animal complet, il soit nécessaire de "mélanger" les matériaux provenant de plusieurs fossiles.

Ainsi, lorsque les premiers fossiles d'iguanodon ont été découverts en, ils étaient si incomplets que découvrir a dû imaginer l'aspect de l'animal en se basant sur un iguane moderne. Comme une espèce de corne fossile avait été retrouvée à part, il l'a placée sur le nez de l'animal. Quelques fossiles plus tard, il est apparu que cette corne était en fait une griffe, et que l'animal était bipède. Les reconstitutions actuelles, basées sur des fossiles plus nombreux et plus complets, tendent plutôt à donner l'image d'un animal quadrupède.

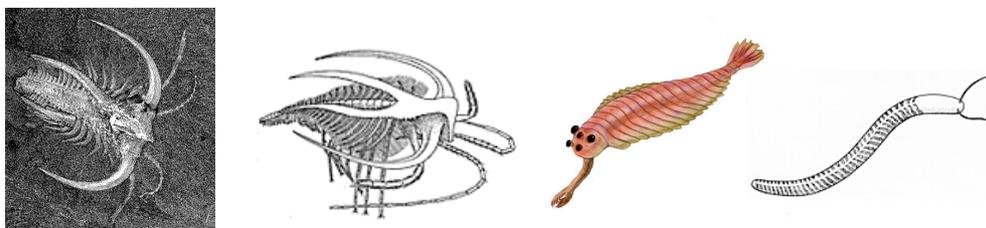


ci-dessus, trois reconstitutions successives d'un même animal, l'iguanodon (1850, 1890 et actuel)

### L'étrange monde cambrien

Reconstituer un vertébré est difficile, mais on dispose au moins d'une idée de l'organisation de l'animal. Il est beaucoup plus dur d'étudier des fossiles d'animaux anciens appartenant à des groupes disparus. Ainsi, le paléontologue C. Walcott découvrit en 1909, dans les roches de Burgess, dans les rocheuses Canadiennes, un ensemble de fossiles âgés de 500 millions d'années dont beaucoup ne ressemblaient à rien de connu. Walcott eu beaucoup de mal à classer ces fossiles dans des groupes connus, et ce n'est que 70 ans après ses premières études que des recherches minutieuses ont montré que ces organismes faisaient parti de groupes totalement disparus, dont les espèces possédaient une morphologie à nos yeux très surprenante.

Il y a 500 millions d'années, la diversité des formes des organismes était plus élevée qu'aujourd'hui, mais le nombre d'espèces, dans chaque groupe, était moins élevé. Ce monde étrange ne s'est révélé que lorsque les techniques d'étude, mais aussi l'état d'esprit des chercheurs, ont été assez avancés pour découvrir et imaginer des anatomies très différentes de celles que nous connaissons.



## La "découverte" des dinosaures

Des fossiles des animaux qui allaient devenir les dinosaures sont connus depuis des millénaires, mais ont été tout d'abord mal interprétés: les anciens Chinois les prenaient pour des os de dragons et les Européens pour des os de géants où d'animaux tués par le déluge décrit dans la Bible.

Ce n'est qu'en 1822 que G. Mantell, un géologue anglais, découvrit que les os d'un grand fossile récemment découvert et ceux des iguanes modernes se ressemblaient. Il appela l'animal découvert iguanodon. Par la suite, d'autres fossiles furent découverts, tout d'abord en Angleterre, puis aux États unis sous forme de traces attribuées à un oiseau géant en 1835.

En 1842, le biologiste Richard Owen compara les trois fossiles de "lézards géants" alors connus et découvrit qu'ils possédaient des caractères communs, comme par exemple un emplacement des membres et une posture semblable à celle des mammifères. Il inventa alors le terme de dinosaure (qui signifie "lézard terrible") regroupant les animaux fossiles possédant ces caractères, et fit réaliser par un sculpteur les premières reconstitutions, assez fantaisistes, des dinosaures. En effet, les fossiles alors connus ne comportaient que certaines parties des animaux, et il fallait pas mal d'imagination pour inventer les pièces manquantes...

Le premier squelette complet de dinosaure fut découvert aux USA en 1858. On découvrit alors que les dinosaures n'étaient pas des quadrupèdes, mais des bipèdes. Le squelette complet reconstitué de l'animal, un hadrosaure, fit sensation. Deux riches paléontologues américains travaillant dans des universités rivales, Edward Cope et Charles Marsh, reçurent par la suite des échantillons d'autres fossiles de dinosaures découverts dans le Colorado, ce qui déclencha entre eux une compétition féroce: ces spécialistes financèrent des expéditions qui explorèrent l'ouest des états unis à la recherche de nouveaux fossiles. Cope mouru ruiné en 1879 et Marsh poursuivi ses recherches. Ils ont créé les plus grandes collections de dinosaures fossiles (toujours visibles au musée d'histoire naturelle de New York et de Yale). Par la suite de nombreux autres sites, sur tous les continents, allaient livrer de nouveaux fossiles: squelettes, traces, oeufs, nids permettent de mieux comprendre ces animaux.

Les compétitions et les disputes concernant certains fossiles perdurent. Ainsi, le 12 août 1990, la paléontologue amateur Susan Hendrickson a découvert dans le Dakota du Sud le fossile le mieux préservé du célèbre tyrannosaure, nommé Sue en son honneur. En 1997, le musée Field a acheté ce fossile aux enchères 7 millions d'euros, ce qui a déclenché une polémique pour savoir à qui appartenaient les fossiles et comment les scientifiques pourraient les étudier si leur valeur devenait si élevée...

Le cinéma a largement, bien ou mal, popularisé l'aspect et les modes de vie supposés de ces créatures passionnantes.

Ci-contre : quelques organismes de Burgess. De gauche à droite : fossile et reconstitution de Marella, Opabinia (5 yeux et une trompe "pince à sucre") et Pikaia, membre d'une espèce ressemblant à l'ancêtre de tous les vertébrés (dites bonjour à notre arrière arrière... grand-père - ou grand-mère...) - ORN Canada - Smithsonian.

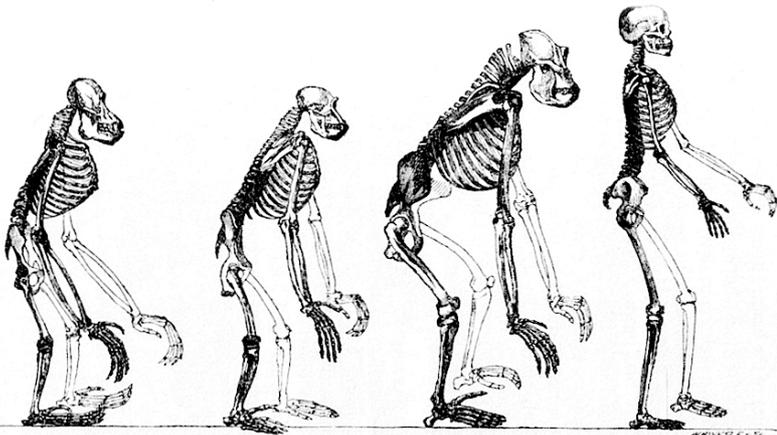
# De nombreuses observations prouvent que tous les êtres vivants ont une origine commune

## La comparaison des espèces montre leur parenté

Au 17e siècle, les navigateurs européens découvraient de nombreuses espèces d'animaux et de plantes en explorant les autres continents. Pour mettre un peu d'ordre dans ces découvertes, il devenait urgent de créer un système de classification permettant de ranger, de nommer, de retrouver les nouvelles espèces récemment découvertes. A cette époque, les systèmes de classification connus provenaient de quelques auteurs grecs (1) qui s'étaient basés sur l'utilité des différentes espèces (plantes médicinales, aromatiques...). Les humains étaient rangés à part. En 1735 un botaniste (2) suédois, Karl Linnée, imagina un système de classification basé sur un regroupement progressif des espèces en fonction de leurs ressemblances. Pour regrouper les êtres vivants, Linnée se basait sur des critères, des caractères facilement observables. Bien que les critères aient changé, ce type de classification, qui regroupe les êtres vivants dans des ensembles emboîtés, est celui qui est toujours utilisé et que vous avez appris en sixième. En établissant cette classification, il devint évident que des espèces différentes partageaient, dans un même groupe, des caractères communs. Bien que ces caractères identiques soient connus depuis longtemps, le travail de classification permet de montrer que c'était une caractéristique générale partagée par tous les êtres vivants. Il restait à expliquer ces ressemblances.

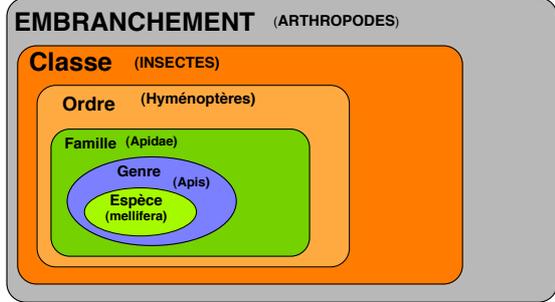
La première tentative (3) vint d'un naturaliste français, le chevalier de Lamarck, en 1801 (4). Cet expert de la classification des mollusques, des vers et des insectes (c'est lui, avec l'Allemand Treviranus, qui a inventé le mot "biologie" pour désigner la science traitant des êtres vivants) remarqua un ensemble de changements, d'évolutions entre des fossiles de mollusques et les mollusques vivants qu'il avait regroupés dans sa classification. Il proposa que de nouvelles espèces se formaient lorsque, leur milieu de vie changeant, les animaux et les plantes devaient s'adapter en modifiant, génération après génération, leurs organes et leur apparence. Il crut voir un sens dans cette évolution, qui se serait faite des formes les plus simples vers les plus complexes (cf. p. 17), mais il ne proposait pas d'explication quant au mécanisme qui permettait aux êtres vivants de s'adapter à leur milieu, sinon qu'en proposant qu'un organe très utilisé se développe alors qu'un autre, peu utilisé, régresse et disparaît (5). Lamarck fut très critiqué par ses contemporains, mais il fut le premier à publier clairement l'idée, appuyée par des observations des êtres vivants et des fossiles, que les espèces étaient sujettes à une **évolution** dans le temps.

Pour établir, étudier et prouver l'existence d'une évolution du vivant, il fallait s'appuyer sur tout un ensemble d'observations irréfutable et proposer un mécanisme expliquant comment se faisait cette évolution. Ce sont deux naturalistes anglais, grands voyageurs, Alfred Russel Wallace et Charles Darwin (6) qui accumulèrent des données pendant des dizaines d'années avant de démontrer l'existence d'une évolution du vivant et de proposer un moyen d'en expliquer les mécanismes. Leurs idées sont simples: les ressemblances entre espèces sont dues à l'existence d'un **ancêtre commun** à toutes ces espèces. Cela semble logique, car que veut dire faire partie de la même famille ? Cela signifie que l'on partage les mêmes ancêtres. Darwin, pour la première fois, intègre clairement l'espèce humaine dans le processus de l'évolution.

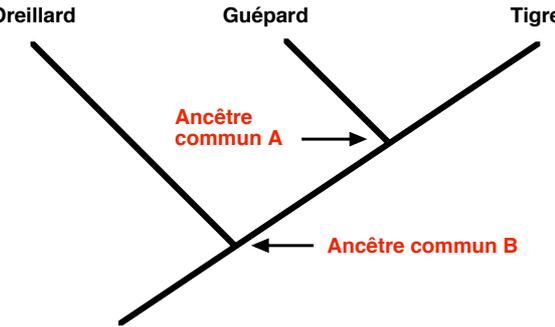
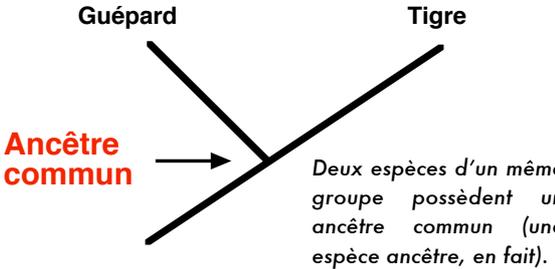


Ainsi, si l'on compare par exemple la structure du squelette de l'orang-outang, du chimpanzé, du gorille et des humains on constate que ces quatre espèces possèdent le même plan; on retrouve les mêmes os aux mêmes emplacements, seules les proportions diffèrent. **On peut donc supposer que ces quatre espèces partagent un ancêtre commun.**

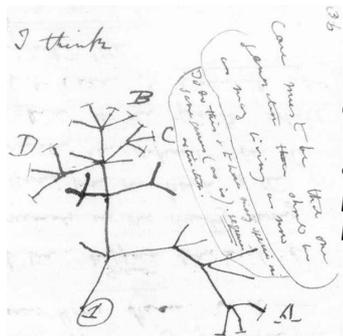
- 1 - Vous brûlez de connaître leurs noms, pas vrai ? C'était Théophraste, Dioscoride et Pline...
- 2 - Identifier sans erreur une espèce est indispensable pour les plantes utilisées comme médicament...
- 3 - Le philosophe Kant, le biologiste Buffon et le géologue Hutton avaient eux aussi eu l'idée d'une évolution des espèces, mais ils n'avaient pas cherché à la développer ou à la soutenir par une masse d'observations.
- 4 - Le développement de cette idée était favorisé par le rôle moins important de la religion après la Révolution française de 1789.
- 5 - Cette idée paraît logique (un muscle entraîné grossit) mais vous savez que ce type de caractères, acquis, ne se transmet pas à la descendance... Ce qui était inconnu à l'époque de Lamarck !
- 6 - Darwin fut le premier à publier ses idées, Wallace, qui était seul parvenu aux mêmes conclusions, défendit avec enthousiasme les travaux de Darwin, une attitude très rare en sciences.



Un être vivant (ici l'abeille) est classé dans des groupes de plus en plus petits, jusqu'à arriver à l'espèce.



Tous les mammifères (même l'oreillard et le Tigre) partagent donc un ancêtre commun (B), mais celui-ci est plus ancien que l'ancêtre A qui lui n'est commun qu'à deux espèces précises de mammifères.



Cette idée d'un arbre "généalogique" des espèces a été émise par Darwin (ici une page de son carnet).

Des comparaisons de l'anatomie d'espèces très différentes sont aussi instructives:

La disposition des os des membres chez les mammifères (terrestres, marins et volants), les oiseaux, les lézards et les grenouilles permet de découvrir **une même organisation d'ensemble**: tous les membres sont constitués des mêmes os aux mêmes emplacements.

Les fossiles permettant aussi de comparer des espèces disparues aux espèces actuelles : on retrouve là aussi des structures communes. Les fossiles permettent de remonter dans le temps vers l'ancêtre commun (1) à plusieurs espèces. On peut même comparer entre elles des espèces fossiles, pour peu qu'elles soient assez nombreuses, comme les ammonites par exemple.

Ces études confirment l'hypothèse de la parenté entre espèces et groupes: la répartition des ressemblances dans le temps permet d'établir la parenté des différentes espèces.

Ainsi, la comparaison des os fossilisés de plusieurs fossiles permet de repérer et d'étudier les ancêtres communs aux différents cétacés modernes, par exemple (voir page 11).

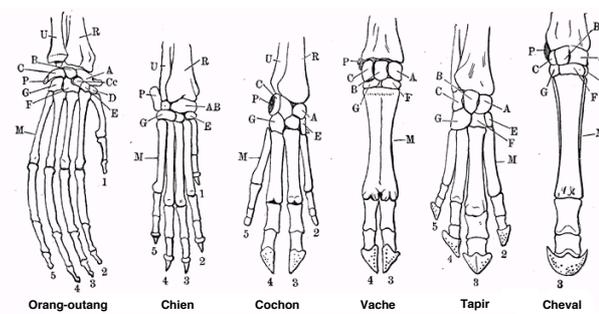
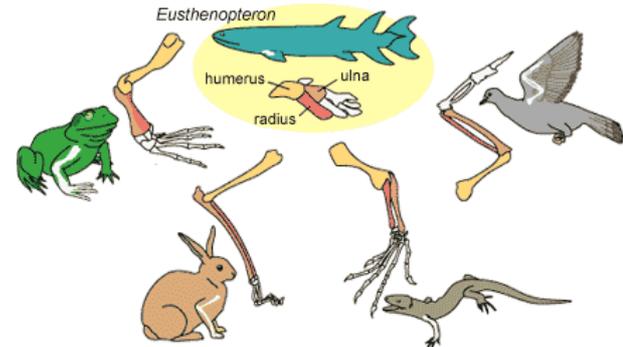
Il devient alors possible de reconstruire des "arbres généalogiques" montrant comment les espèces et les groupes se sont formés (2).

Toutefois, les ressemblances anatomiques ne sont pas les seules preuves du processus d'évolution.

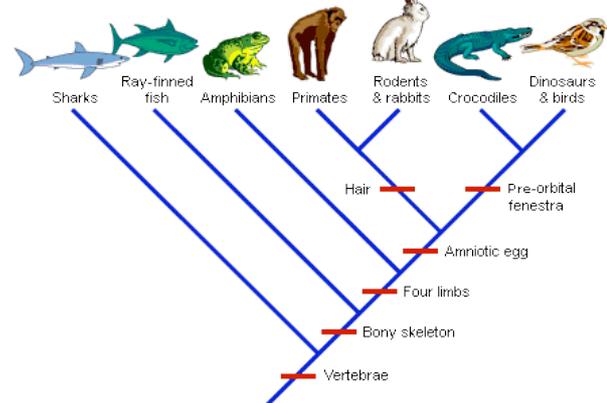
### Les cellules et les gènes confirment l'origine commune de tous les organismes vivants.

Vous avez déjà réalisé plusieurs observations :microscopiques qui vous ont montré les différentes cellules qui composent les organes. Mais pouvez-vous, simplement en regardant ces cellules, dire de quels animaux elles proviennent ? A moins de lire l'étiquette de la préparation, ce n'est pas possible: tous les animaux sont constitués de cellules qui se ressemblent étrangement. C'est là un point commun majeur, si l'on y réfléchit: **quel que soit l'animal que l'on examine au microscope, on trouve toujours des cellules qui se ressemblent, comportant noyau, membrane et cytoplasme**. Les cellules d'un muscle humain, d'un muscle de souris ou de vers de terre sont identiques... Et pour les végétaux ? Bien que leurs cellules possèdent quelques différences avec celles des animaux (3), on retrouve chez eux aussi la même constitution générale.

Comment expliquer cette observation surprenante: tous les êtres vivants sont constitués de cellules qui se ressemblent ? **La seule explication consiste à dire que tous les êtres vivants partagent une origine commune: tous les êtres vivants ont pour ancêtre commun des êtres vivants unicellulaires** dont on a pu identifier, difficilement, les formes fossiles dans roches âgées de plusieurs milliards d'années. Là, vous allez bondir sur votre chaise (4) et vous exclamer avec indignation et curiosité "et les bactéries alors ?" (5). L'étude de ces dernières montre qu'elles possèdent aussi de nombreux points communs avec les unicellulaires. Il a donc existé, au début de la vie sur notre planète, un ancêtre commun aux bactéries et aux cellules, ancêtre qui devait d'ailleurs davantage ressembler à une bactérie (6).



On retrouve chez tous les vertébrés actuels possédant des membres la même structure (3 os + les doigts) que chez le fossile Eusthenopteron. De même, les os de la "main" de mammifères actuels très différents montrent en fait des variations autour d'une même structure.



On peut ainsi reconstituer les ancêtres communs successifs de vertébrés actuels. Les traits rouges signalent les caractères partagés par tous les descendants de l'ancêtre (la "pre orbital fenestra" est un trou dans le crâne).

1 - Il ne faut pas voir l'ancêtre commun comme un individu, mais comme une espèce, voire un ensemble d'espèces, qui ont légué des caractères qu'ils ont été les premiers à développer à tous leurs descendants. Des fossiles qui présentent ces caractères peuvent être présentés comme "ancêtre commun", mais en fait ce sont simplement les fossiles qui présentent la combinaison de caractères la plus proche de celle attendue pour l'ancêtre commun: ils ressemblent à cet ancêtre, mais on ne peut jamais être sûr que c'est bien la "bonne" espèce ancestrale...

2 - Pour cela, on doit étudier la variation de caractères visibles clairement même sur des fossiles. C'est pour cela que certains caractères peuvent vous sembler assez "capillotractés", comme par exemple la forme d'un os de l'oreille ou la présence de certains trous dans le crâne.

**Une idée de famille...**

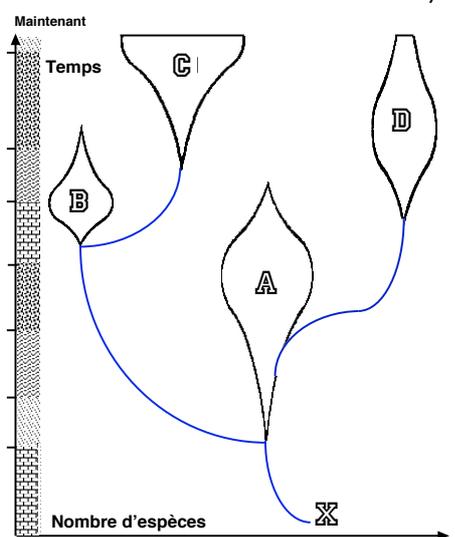
*Il y a plus qu'une simple relation de ressemblance dans notre classification. Je pense que ce plus est... la parenté de la descendance, seule cause connue de ressemblance des êtres organiques.*

*Charles Darwin*

La même idée avait été avancée 64 ans plus tôt par le grand-père de Charles Darwin, le médecin Erasmus Darwin...

3 - Vous étudiez cela l'an prochain (on peut le penser, car si vous avez lu ce manuel jusque-là, c'est que vous êtes largement assez bon pour aller en seconde...)

4 - C'est pour cela qu'il ne faut pas jouer à se pencher sur sa chaise, comme vous le disent vos profs (si vous utilisez un tabouret, un pouf ou que vous lisez cela sur un portable bien installé dans votre lit, passez votre chemin)



Au niveau des espèces, à partir de l'ancêtre X se développe le groupe d'espèces A, disparu, qui donne naissance directement au groupe D, dont certaines espèces sont toujours actuelles. Les espèces de C proviennent de l'origine du groupe B, disparu.

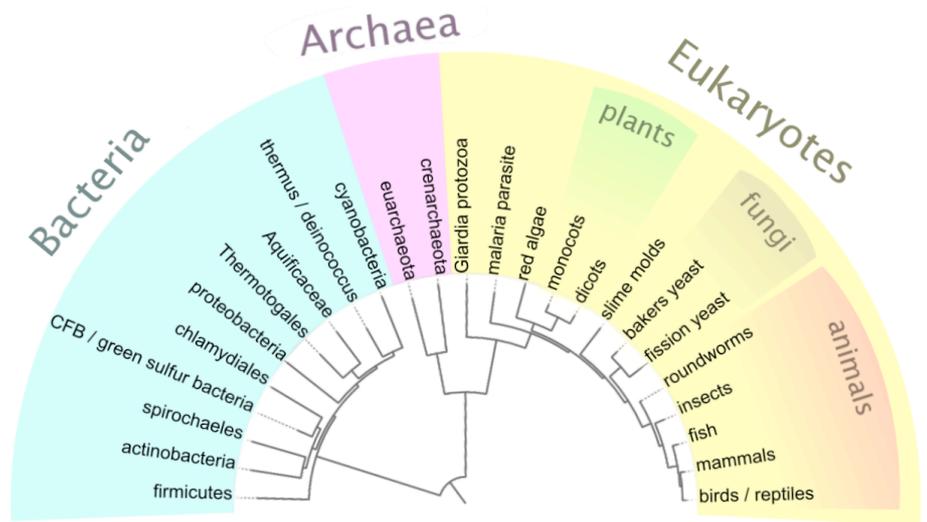
- 5 - Du moins, ceux qui ont lu attentivement ce manuel...
- 6 - Ce point sera éclairci en seconde, vivement l'an prochain !

Parmi les points communs entre unicellulaires et bactéries, il en est un qui doit vous rappeler quelque chose: les gènes. Leur étude a permis de découvrir de nouveaux points communs à tous les êtres vivants. Ainsi, tous les animaux, tous les végétaux, toutes les bactéries et même d'autres groupes d'êtres vivants plus ou moins microscopiques aux noms imprononçables (1) ont des gènes faits de la même molécule: l'ADN (2).

Mais il y a plus extraordinaire encore. À partir des années 2000, de nouvelles techniques ont permis de "lire" les gènes sur l'ADN, et de les comparer entre espèces différentes. On a alors découvert que les êtres vivants possèdent en commun un très grand nombre de gènes, et que plus les êtres vivants se ressemblent et plus leurs gènes sont voisins.

Espèces	chimpanzé	souris	chien	poulet	mouche du vinaigre	vers de terre	Oursin
% de gènes communs avec les humains	99%	99%	75%	70%	66%	36%	28%

Les spécialistes de l'étude des gènes ont pu ainsi construire eux aussi des "arbres généalogiques" des espèces, basés sur les % de différence entre les gènes. Bien que leur travail ait permis de corriger certaines erreurs liées à l'adaptation à un même milieu (3), les arbres généalogiques qu'ils ont découverts sont similaires à ceux établis par la comparaison des autres caractères; **les gènes confirment la majorité des résultats obtenus par les méthodes plus anciennes**, les améliorant encore.



L'étude de plusieurs gènes a permis de construire cet arbre montrant les relations ancestrales entre l'ensemble des êtres vivants. Si les divers grands groupes de bactéries ou d'archées vous sont inconnus, ce n'est pas le cas des principaux groupes d'animaux (à droite). Cet arbre confirme l'essentiel des informations déduites d'autres moyens d'étude des organismes. Schéma de Madeleine P. Ball, étudiante à l'université d'Harvard.

Non seulement de nombreux gènes sont identiques entre espèces différentes, mais l'organisation et le fonctionnement des gènes sont souvent identiques: les gènes qui contrôlent le développement des embryons de souris sont les mêmes, organisés de la même façon que ceux qui fonctionnent chez les humains. Plus étonnant, on retrouve ces gènes chez... les mouches! (4). De plus, l'étude des gènes a permis de découvrir les traces des histoires évolutives des espèces et de la façon dont se produit l'évolution.

**L'ensemble des points communs (anatomie, fossiles, cellules, ADN, gènes, développement....) indique donc clairement une origine commune pour l'ensemble des êtres vivants.**

1 - Opisthochontes (dont nous sommes, avec les champignons entre autres), excavobiontes, discristés, alvéolates, Rhizariens et autres amoebozoaires... Voilà de quoi renouveler votre stock d'insultes!

2 - Où Acide DésoxyriboNucléique, que partout ailleurs dans le monde vous entendrez appeler DNA. Vous étudierez cette molécule fondamentale en seconde.

3 - Dans un même milieu, des espèces très différentes peuvent développer, chacun de leur côté, les mêmes caractères. Par exemple, les requins, les baleines, les maquereaux et les pingouins possèdent la même forme "en fuseau" liée à leur déplacement dans l'eau, mais qui ne signifie pas qu'ils sont tous étroitement apparentés. Cet exemple est simple, mais il en existe d'autres (chez les fleurs en particulier) que personne ne soupçonnait avant l'étude et la comparaison des gènes.

4 - Des détails en seconde (oui, encore, je sais, mais la seconde est une classe très importante...)

## Pendant le cours

### Questions d'élèves

Les élèves du premier rang: "comment on connaît l'âge des roches?"

L'âge réel des roches est connu par l'étude de leur radio-activité. Comme on connaît la vitesse avec laquelle un atome radioactif A se transforme en un autre atome B, la mesure des proportions entre A et B nous donne l'âge de la roche.

Guinness fan: "c'est qui le plus vieux fossile?"

Les fossiles les plus anciens ne sont pas spectaculaires: ce sont de simples traces microscopiques dans des roches très anciennes. Les plus anciens fossiles connus sont des restes d'activité bactérienne datés de 3,8 milliards d'années.

L'artiste: "Les dinosaures, comment on connaît leur couleur?"

Et bien justement, on le la connaît pas ! Les artistes se basent sur les couleurs des animaux actuels les plus ressemblants (par leur milieu et leur mode de vie) pour réaliser leurs reconstitutions, mais ce sont de simples suppositions, souvent logiques, mais qui n'ont rien de définitif (ainsi, des découvertes récentes montrent que de nombreux dinosaures portaient des sortes de plumes, ce qui conduit à en réaliser des reconstitutions plus colorées que par le passé...)

Le témoin de Jéhova: "J'ai lu un livre où y disent que les fossiles c'est des bobards, qu'en fait il y a eu Adam et Eve et c'est tout."

Il ne s'agit certainement pas d'un livre de science, mais de croyance. Les gens sont libres de croire ce qu'ils veulent, même qu'un monstre en spaghetti volant a créé le monde hier matin. La Science se préoccupe des faits, et les faits et la raison imposent l'existence de l'évolution des espèces s'étant déroulée pendant la longue histoire de notre planète. Lorsque les découvertes scientifiques semblent s'opposer aux croyances, cette opposition ne concerne pas (ou ne devrait pas concerner) les scientifiques, mais ceux qui ont du mal à comprendre que les croyances (qui évoluent, elles aussi) ne sont pas des absolus...

### Des films pour réfléchir

La série documentaire:  
 - sur [la terre des géants](#) (paléozoïque)  
 - sur [la terre des dinosaures](#) (mésozoïque)  
 - sur [la terre des monstres disparus](#) (cénozoïque)  
 Le film [Procès de singe](#), 1960, de S. Kramer.

Pour rire: [Evolution](#), de I. Reitman, 2001

## La guerre contre "Darwin".

L'enseignement de l'évolution souvent remis en question.

Dès que vous ferez des recherches sur internet en cherchant des informations sur l'évolution, vous allez tomber sur de nombreux sites intitulés "mensonges de l'évolution" ou "vérité de la création" qui affirment que l'évolution n'a jamais existé. Pourquoi de telles réactions ?

Lorsque Darwin a publié son livre, l'idée d'évolution existait déjà, sous plusieurs formes. Il a rassemblé les différents indices de l'évolution, proposé un mécanisme (ce qui manquait auparavant) et décrit en détail les conséquences de l'existence de ce mécanisme, la sélection naturelle. Cette idée d'évolution généralisée des êtres vivants, l'homme y compris, s'opposait à une création spéciale de la vie et des humains par un dieu. Dès lors, ceux qui croient chaque ligne de leurs livres sacrés se sont sentis attaqués par la réalité de l'évolution, qu'ils ont symbolisée par son fondateur le plus célèbre, Darwin. Au fil du temps, une véritable guerre s'est engagée contre l'idée d'évolution.

En France, les idées de Darwin ont été plutôt mal accueillies, car le hasard qui gouvernait l'évolution était vu comme un obstacle aux conceptions religieuses (et, en plus, Darwin avait le mauvais goût d'être Anglais). Cette opposition continue de nos jours, mais elle est peu intense, alors qu'elle peut être plus vive dans le reste de l'Europe et dans des pays dont le gouvernement est basé sur la religion (on peut toutefois remarquer que l'enseignement de l'évolution au collège, en France, date de moins de dix ans...)

L'opposition la plus vive se situe aux états unis (ainsi que dans d'autres pays comme l'Australie), où [un célèbre procès a eu lieu en 1925](#) contre un professeur enseignant l'évolution (il y eut en fait 37 projets de loi entre 1921 et 1937 pour interdire l'enseignement de l'évolution aux USA, le dernier procès en date ayant eu lieu à Dover en 2005).

Plus récemment, des religieux se faisant passer pour des scientifiques (leur doctrine s'appelle "intelligent design", que l'on peut traduire par "intention divine") ont essayé de rendre obligatoire l'enseignement des légendes religieuses à l'école en parallèle à l'enseignement de la biologie de l'évolution. Les juges leur ont toujours, jusqu'à présent (le dernier jugement ne date que de juillet 2008 pour l'état de Louisiane) donné tort, mais ces religieux essaient encore, et répandent leurs idées dans d'autres pays.

En fait, la plupart des opposants religieux à l'idée d'évolution ont du mal à accepter l'animalité des êtres humains, le fait que nous soyons des singes, cousins des chimpanzés avec qui nous partageons des ancêtres. L'opposition entre ces religieux et les scientifiques repose en fait sur la vraie place de l'homme dans le monde réel (voir exercice truc madeleine): alors que les religieux voient les humains comme un sommet possédant en lui un morceau de divinité (version "je suis le roi du monde"), l'évolution nous enseigne plutôt que nous ne sommes qu'un incident de l'histoire évolutive des primates...



## Hors programme

# D'autres points communs entre organismes confirment la réalité de l'évolution.

## Le développement des embryons

L'étude de la formation et du développement des embryons de vertébrés montre que les premières étapes de ces processus sont très semblables chez les différentes espèces. Par exemple, tous les vertébrés ont des vaisseaux sanguins qui forment plusieurs arcs de part et d'autre de la tête. Ces arcs sont toujours présents chez les animaux à branchies adultes alors qu'ils sont ensuite profondément modifiés chez les autres vertébrés.



Les ressemblances entre embryons sont des indices fiables: plusieurs spécialistes des embryons avaient remarqué dès 1850 que des animaux marins qui vivent fixés et ressemblent à des sacs, les tuniciers (ci-contre, une colonie de Botrylloides, tuniciers de couleur orangée), ont des "embryons" (des larves) qui possèdent un axe qui ressemble beaucoup à celui observé au début de la formation de la colonne vertébrale chez les vertébrés. Ce caractère commun

embryologique laissait penser que les vertébrés et les tuniciers possédaient un lointain ancêtre commun. Cette idée a été plus récemment confirmée par la comparaison des gènes des tuniciers et des vertébrés.

On peut également remarquer que les embryons des cétacés commencent par développer des bourgeons de membres postérieurs et possèdent des narines situées au bout du museau, comme des mammifères terrestres. Au cours de leur développement, les narines se déplacent vers le sommet du crâne et les ébauches de pattes arrière disparaissent (sauf accident - voir exercice 13).

## Les restes inutiles des ancêtres

De nombreuses espèces animales (et végétales aussi, mais vous êtes plus familiers des animaux, aussi je les cite davantage) conservent des structures ou des organes qui leur sont complètement inutiles, qui ont été réduites, ou déformées, et dont la présence ne peut s'expliquer que par leur existence chez les ancêtres de ces espèces, où ces organes possédaient alors une fonction précise. Ainsi, des animaux à la vie souterraine, comme les rats-taupes ou les taupes, possèdent des yeux réduits, ou recouverts d'un repli de peau, qui sont les traces d'une espèce-ancêtre possédant des yeux "normaux". On peut citer de nombreux exemples de ces structures, dites vestigiales:

- certains pythons possèdent des os correspondant à un bassin, bien qu'ils n'aient, évidemment, pas de pattes

- la "main" et le "pied" des chevaux possèdent des restes de doigts apparemment inutiles, puisque ces animaux ne s'appuient que sur un seul doigt pour se déplacer.

- Les baleines possèdent des restes de bassin et de membres postérieurs (cet indice est traité en détail ici)

- les kiwis, oiseaux marcheurs d'Australie, ne volent pas mais possèdent des ailes rudimentaires qui restent pliées en permanence sous leurs plumes.

- Une espèce d'insectes (*Apterocyclus honoluluensis*), ressemblant à un scarabée, possède des ailes parfaitement formées, mais qui sont recouvertes par deux parties dures et soudées: ils ne peuvent donc pas voler.

- le pissenlit se reproduit le plus souvent sans qu'une fécondation soit nécessaire (de façon asexuée, donc). Il produit pourtant encore des fleurs, et du pollen, comme ses ancêtres.

Les humains possèdent eux aussi des traces de leurs ancêtres, qui peuvent parfois se révéler douloureuses: les dents de sagesse et l'appendice sont des vestiges de nos lointains ancêtres phytophages, les vertèbres soudées de notre coccyx nous relient à des ancêtres simiesques porteurs d'une queue alors que nos ongles sont les reliques des griffes de lointaines espèces ancestrales...

L'existence de ces indices anatomiques est un indice de plus en faveur du processus d'évolution des espèces.

L'évolution est un fait dont les mécanismes sont observables, bien que le plus souvent très lents.

L'évolution, s'étant déroulée sur de très longues périodes de temps (presque 4 milliards d'années), n'est pas facilement perceptible à l'échelle humaine, mais ses différents mécanismes et conséquences peuvent être observés et testés expérimentalement.

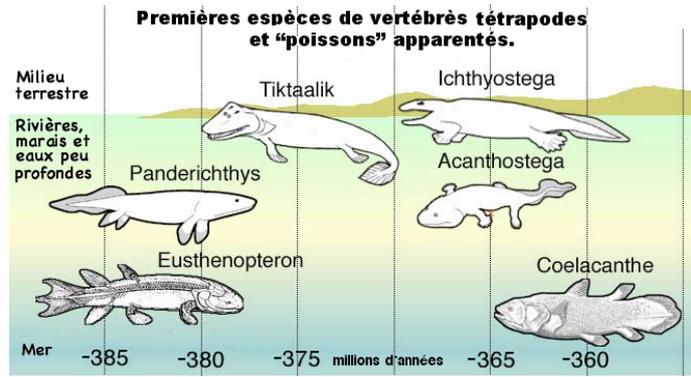
Une espèce nouvelle ne naît pas de rien, mais d'espèces précédentes (1) avec lesquelles elle partage de nombreux points communs. Toutefois, pour constituer une espèce nouvelle, il faut qu'elle possède aussi des caractères nouveaux.

Quelques exemples permettent d'illustrer cette lente modification et la formation de nouvelles espèces.

En octobre 1835, Charles Darwin, qui effectuait un voyage autour du monde, fit capturer plusieurs oiseaux, des pinsons, dans les îles Galápagos. Darwin n'étant pas un spécialiste des oiseaux, il observa les animaux et pensa qu'il s'agissait de variétés différentes d'une même espèce (un peu comme les différentes "races" de chiens). De retour en Angleterre quelques années plus tard, l'ornithologue (2) Gould annonça à Darwin que chacun de ces oiseaux appartenait en fait à une espèce distincte. Comme les pinsons ne pouvaient provenir à l'origine que de l'Amérique du Sud voisine et que les différentes espèces ne se rencontrent que dans les différentes îles des Galápagos, on doit en conclure qu'à partir de l'espèce américaine (qui se nourrissait d'insectes) se sont formées 14 espèces différentes. Les caractères nouveaux se concentraient principalement sur la forme du bec des animaux, en liaison avec leur régime alimentaire (certains se nourrissant d'insectes, d'autres de différentes graines).

En 1861, un étrange petit fossile est découvert dans une carrière de calcaire âgé de 150MA en Bavière. Tout d'abord pris pour un petit ptérosaure, un examen plus approfondi révèle la présence d'empreintes de plumes associées à un animal qui ressemble fort à un petit dinosaure. Les spécialistes se disputent pour en faire soit un dinosaure, soit un oiseau jusqu'à ce que le naturaliste Huxley, en 1863, le décrive comme un intermédiaire entre dinosaures et oiseaux. Progressivement, d'autres fossiles de cet animal, nommé *archaeopteryx*, sont découverts et de nombreux spécialistes en font l'ancêtre des oiseaux actuels, car l'animal présente des caractères dinosauriens et d'autres propres aux oiseaux. Toutefois, la découverte de nombreuses espèces fossiles de dinosaures à plumes dans les années 1990 en Chine a permis de préciser l'apparition des caractères que l'on croyait réservés aux oiseaux dans une famille de dinosaures. Il apparaît donc que certains dinosaures ont commencé à développer des plumes, un caractère nouveau, tout en conservant de nombreux caractères de dinosaures, puis certains ont ensuite développé une aptitude au vol plané puis au vol que nous connaissons à présent chez les oiseaux. Parmi les animaux proches des ancêtres des oiseaux, c'est un fossile découvert en 2001 et nommé *microraptor* qui montre le mieux une transition entre certains dinosaures et les oiseaux (3). Les paléontologues ont ainsi mis au jour de nombreux fossiles montrant que **les caractères actuellement présents chez les oiseaux sont apparus progressivement** dans plusieurs familles de dinosaures.

En 1929, un fossile découvert au Groenland et âgé de 370 MA montre à la fois des caractères de tétrapodes "terrestres" (avec 4 membres développés possédant des doigts) et de "poisson" (avec une nageoire dorsale).



D'abord pris pour un amphibien vivant principalement sur terre, la découverte de nouveaux fossiles montre qu'en fait il s'agit d'un animal à quatre pattes. Ultérieurement, d'autres espèces fossiles découvertes (cf. schéma ci-contre, d'après D. Souza),

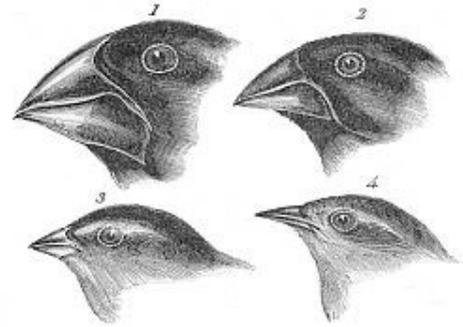
datant de la même période, montrent l'existence d'un ensemble d'espèces aquatiques vivant en eau peu profonde, encombrée de racines et pauvre en dioxygène, dont les pattes servent en premier lieu à se mouvoir dans ce milieu encombré (4) et qui vont, par la suite donner naissance aux espèces de vertébrés terrestres dont nous sommes les descendants...

1 - Sauf bien entendu pour l'apparition de la vie elle-même à partir de molécules inanimées. Mais il ne s'agit plus vraiment là d'évolution, car cette dernière commence juste après la première forme de vie. De nombreux scientifiques travaillent sur ce problème fascinant, et ils ont obtenu des résultats surprenants (voir [ici](#), et, si vous êtes courageux, [là](#))

2 - Spécialiste des oiseaux. Rien à voir avec un autre Gould, spécialiste contemporain de l'évolution, récemment disparu, et auteur de livres remarquables.

3 - Les paléontologues considèrent aujourd'hui que le célèbre *archaeopteryx* n'a pas eu de descendants. Toutefois, il existe une espèce d'oiseau actuel, l'*hoazin*, dont le poussin montre des caractères "dinosauriens": cet animal présente, quand il est jeune, deux griffes au bout de ses ailes...

4 - Les pattes étaient donc une solution au problème du déplacement dans les marécages bien avant de servir à se déplacer sur terre: l'évolution "bricole", utilisant des organes présents pour de nouveaux usages...



1. *Geospiza magnirostris*  
2. *Geospiza fortis*  
3. *Geospiza parvula*  
4. *Certhidea olivacea*

Exemples de pinsons d'espèces différentes qui ne sont présents que sur certaines îles des Galápagos. Leurs différences, en particulier au niveau du bec, sont liées à leur alimentation. Tous proviennent d'une seule espèce arrivée sur ces îles depuis l'Amérique du Sud. Des études génétiques ont montré que les différences de formes du bec sont liées à un seul gène qui fonctionne plus ou moins tôt et plus ou moins longtemps chez les différentes espèces.

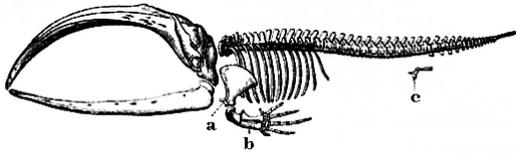


Fossile et un exemple de reconstitution du *microraptor*, probablement une des espèces ancêtres des oiseaux modernes.

**Hors programme**

**Un mécanisme de l'évolution: la sélection naturelle**

Il naît bien plus d'individus d'une espèce que le milieu ne peut en nourrir. Dès lors, les individus se livrent une "lutte" pour accéder aux ressources du milieu et arriver à se reproduire. Si un nouveau caractère, apparu lors de la reproduction ou par mutation, favorise la reproduction de l'individu qui le porte, alors ce caractère va être progressivement sélectionné par le milieu de vie et devenir, au bout de quelques générations, majoritaire. L'accumulation de ces différences aboutit à la formation de nouvelles espèces, produits de la variation des gènes et de la sélection par l'environnement.



Dès le 19e siècle, au vu du squelette des nageoires des baleines (a et b sur le schéma ci-contre, c étant ce qui reste des membres inférieurs...) montrant la même structure qu'un membre antérieur d'animal terrestre, les spécialistes de l'évolution ont prédit

que ces animaux devaient avoir eu pour ancêtres des espèces terrestres, à quatre pattes. En l'absence de fossiles, on ignorait tout de ces ancêtres hypothétiques. En 1979, le paléontologue Gingerich découvre, dans l'Himalaya, un crâne fossile (dans des sédiments âgés de 52 millions d'années) qui présente des caractères (os de l'oreille, position des yeux) qui le rapprochent par ailleurs des cétacés modernes. Il nomme l'animal Pakicetus, en découvre différents autres fossiles, mais doit ensuite poursuivre ses recherches en Égypte, où il découvre un fossile étonnant ressemblant vraiment à une baleine: le Basilosaurus, grand (15 m!) mammifère marin (la forme de ses vertèbres, la présence d'une nageoire caudale, l'emplacement de ses narines le confirment) mais, ô surprise, ce grand animal possède deux pattes arrières très petites (50 cm) qui ne sont pas reliées à la colonne vertébrale. Cette espèce montre donc des caractères anciens (pattes arrière) et nouveaux (nageoires).

Il était donc possible d'imaginer les caractères qu'avaient dû posséder des espèces intermédiaires entre Pakicetus et Basilosaurus (1). Des fossiles d'une de ces espèces ont été découverts en 1994 par le paléontologue Thewissen (2). Il a nommé cet animal de 2 m, qui vécut il y a 48 MA, Ambulocetus (3). Il possédait 4 pattes fonctionnelles, mais sa colonne vertébrale montre une adaptation à la nage, ainsi que les articulations de ses pattes avant. C'était probablement un animal amphibie avec un mode de vie semblable à celui des morsers actuels.

Par la suite, la recherche de nouveaux fossiles a permis de découvrir un "nuage" d'espèces montrant comment les caractères propres aux cétacés modernes se sont développés. Ce dernier exemple montre bien qu'il existe des formes intermédiaires (4) entre des groupes d'espèces aujourd'hui très différents.

Exemples	Caractères ancestraux	Caractères nouveaux
Pinsons des Galápagos	régime insectivore taille, forme, couleur du corps	forme et taille du bec milieu de vie différent nourriture à partir de graines
Dinosaures à plumes	ponte des oeufs, présence de dents, déplacement rapide par course.	corps recouvert de plumes, différentes façons de voler ou de planer
Ancêtres des baleines (Pakicetus, Ambulocetus)	quatre membres, vie principalement terrestre, narines au bout du museau, oreilles	réduction des membres postérieurs, vie aquatique, oreilles modifiées, narines vers le sommet du crâne.
Premiers tétrapodes	nageoire dorsale, branchies	membres avec doigts, respiration dans l'air pour certains.



Ci-dessus : reconstitution du squelette de Dorudon. Remarquez les minuscules restes des membres postérieurs. Vous pouvez comparer ce dessin avec le squelette reconstitué photographié ci-contre et la reconstitution de l'animal sur le dessin d'A. Weasley.

1- La capacité à faire des prévisions vérifiables est une des caractéristiques de la démarche scientifique.

2- Au même endroit que Pakicetus, mais 120 m plus haut... P. Gingerich est passé bien près d'une double découverte!

3- Ce nom est tout un programme, car il signifie, traduit du latin, "baleine qui marche"...

4- Ces formes intermédiaires sont des espèces qui présentent des structures que l'on ne retrouve plus que séparées par la suite, et donc de nos jours. Ychthyostega, Rhodocetus, les dinosaures à plumes sont ainsi des intermédiaires montrant la juxtaposition de structures aujourd'hui séparées dans des groupes d'espèces très différents. De nombreux intermédiaires, fossiles ou non, ont été identifiés et confortent les idées sur le déroulement de l'évolution des espèces.



Reconstitution de l'Ichthyolestes, une des espèces terrestre ancêtre des baleines. Dessin A. Weasley.



D. Dorudon (Basilosauridae) from the middle to late Eocene of Egypt



C. Rodhocetus (Protocetidae) from the early middle Eocene of Pakistan



B. Pakicetus (Pakicetidae) from the earliest middle Eocene of Pakistan



A. Elomeryx (Anthracotheriidae) from the Oligocene of Europe, North America, Asia

Squelette fossilisé de quelques espèces ancêtres des baleines modernes. L'animal B n'étant connu que par son crâne, on ignorait s'il était terrestre ou aquatique. De nouveaux fossiles ont montré qu'il possédait des pattes. Schéma P. Gingerich.



Extraction des os fossiles et reconstitution du squelette du Dorudon. Photos P. Gingerich.



Reconstitution du Rhodocetus (animal C du schéma du haut). Avec l'autorisation de J. Klausmeyer.

## Les humains sont des animaux résultant eux aussi des mécanismes de l'évolution

Dans son ouvrage de 1859, Darwin évite délibérément, par prudence et à cause du manque de fossiles reconnus à son époque, de parler des origines des êtres humains. Il est cependant évident qu'il considère qu'eux aussi, comme les autres animaux, sont des produits de l'évolution des espèces. Pourtant, dès 1857, des mineurs travaillant dans la grotte Feldhofer, en Allemagne, avaient découvert un morceau d'un étrange crâne fossile qui ressemblait à un crâne humain épais, mais comportait de gros bourrelets osseux autour des yeux. Le naturaliste Herman Schaaffhausen, un des premiers à l'examiner, négligea les restes de mammouth et d'ours des cavernes trouvés avec le crâne et affirma qu'il s'agissait des restes d'un barbare datant de l'Empire romain. Après la publication de Darwin, son collègue et ami Thomas Huxley réexamina le crâne (1) et le considéra comme un exemple probable des ancêtres "primitifs" (2) des humains modernes. Darwin se décida alors à publier un livre spécialement consacré à l'évolution et aux origines des humains: "The descent of man and selection in relation to sex" dans lequel il propose un ancêtre commun africain aux singes et aux humains (3). Le manque de fossile pour soutenir ces idées est gênant et sera comblé progressivement: dès 1886, un crâne complet et des restes du squelette d'un individu sont découverts en Belgique dans des roches qui prouvent leur ancienneté. Un an après, le spécialiste de l'anatomie Eugène Dubois s'installera en Indonésie et, au bout de plusieurs années de recherches, découvrira des morceaux de crâne fossile d'une créature qui n'est ni un humain, ni un singe, et qu'il appellera "Pithecanthropus erectus" (4). En 1895, Dubois rentre en Europe et affronte de nombreuses critiques qui ne s'apaiseront qu'avec la découverte de nombreux autres fossiles du même animal.

Depuis cette époque, de nombreux fossiles ont été découverts, permettant de caractériser une vingtaine d'espèces d'homininés (5) différents, confirmant les apports de l'anatomie, de l'étude des gènes et des autres données qui conduisent à donner un ancêtre commun aux singes et aux humains (6). Cette espèce ancestrale vivait il y a environ 6 millions d'années (7) en Afrique et a donné lieu à la formation des autres espèces d'homininés.

Parmi les fossiles, on distingue deux groupes (des genres, selon la classification) les australopithèques et les homos (8), dont certaines espèces ont vécu à la même époque. C'est seulement depuis 30000 ans environ qu'il ne reste plus qu'une seule espèce d'humains (9) appartenant au genre homo: la nôtre!

1 - Les deux scientifiques ont examiné le même crâne fossile, mais leurs conclusions dépendaient aussi de leurs idées et des connaissances de l'époque: en sciences, l'observation ne suffit pas et il faut toujours faire attention au contexte dans lequel une observation est réalisée...

2 - Primitif par rapport à quoi ? Il faut se méfier de ce terme, car aucun organisme n'est, en fait, "primitif", tous font preuve d'une remarquable adaptation à leur environnement, sinon ils n'existeraient pas... (voir p. 17)

3 - Ainsi qu'un nouveau mécanisme de sélection, la sélection sexuelle, qui explique pourquoi certains caractères potentiellement gênants pour l'individu (la queue du Paon n'est pas très discrète) peuvent se développer dans une espèce, car ils donnent un avantage au niveau de la reproduction (les paonnes en raffolent!).

4 - Cet organisme a ensuite changé de nom pour devenir homo erectus, qui n'a pu échapper dans les documentaires sur les origines des humains...

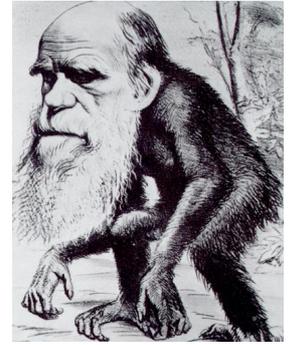
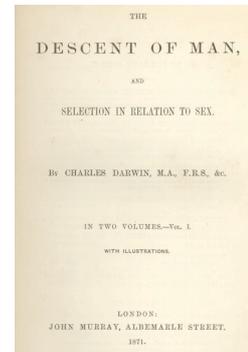
5 - Les homininés sont un groupe comprenant les deux espèces de chimpanzés et les humains (ainsi que tous leurs ancêtres communs). Ne pas confondre avec les hominidés qui contiennent, en plus, les gorilles.

6 - Répétons donc que l'homme ne descend pas "du" singe, mais qu'ils partagent simplement tous les deux une même espèce ancêtre...

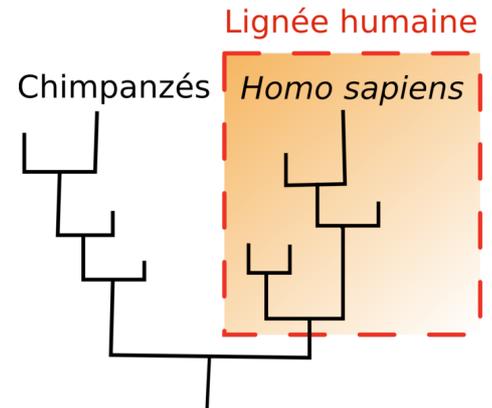
7 - Cette date ressort d'une étude récente des gènes présents sur le chromosome X. La génétique a de multiples usages...

8 - On est prié de ne pas faire de jeux de mots déplacés sur ce terme...

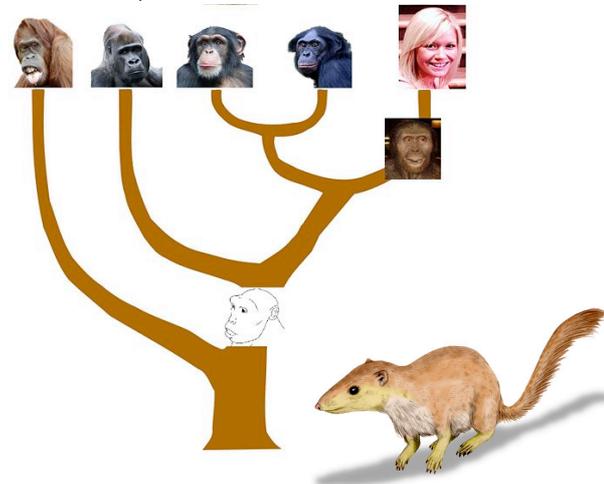
9 - Nous appartenons donc à un ensemble en forte régression. Certains biologistes proposent d'accueillir le chimpanzé Bonobo, dont les gènes nous sont très, très proche, dans notre genre "Homo". On se sentirait peut-être moins seul... Si vous cherchez des groupes de mammifères en pleine expansion (au point de vue nombre d'espèces différentes) vous les trouverez au rayon chauves-souris, antilopes et rongeurs. Hé oui, ce sont eux les "champions" des mammifères. On est peu de choses...



À la suite de la publication de "l'origine des espèces" et de "la descendance de l'Homme", Darwin fut souvent caricaturé sous forme de singe.



Depuis notre dernier ancêtre commun avec les chimpanzés, il y a 6 millions d'années, la lignée humaine a comporté de nombreuses espèces, dont une seule subsiste; la nôtre.



Cet arbre "généalogique", très simplifié (on ne représente pas les nombreuses branches éteintes) représente nos liens avec les autres espèces de singes et l'aspect supposé de quelques-uns de nos ancêtres communs, dont celui de tous les primates, une espèce de Purgatorius, datant de - 65 Ma (à cette époque, tous les mammifères ressemblaient à des musaraignes)

### Le "bon sens" est trompeur.

Lorsqu'on a dit pour la première fois que le soleil est fixe et que la Terre tourne autour de lui, le sens commun de l'humanité a déclaré que cette conception était erronée, mais comme tout philosophe le sait, le vieux dicton "vox populi, vox dei" ne peut être pris en compte en science" (Charles Darwin)

### À RETENIR

De nombreuses observations montrent que tous les êtres vivants partagent une origine commune. Au cours de la longue histoire de la Terre, les espèces se sont progressivement différenciées et diversifiées, leur multiplication étant de temps à autre fortement réduite par des extinctions massives permettant aux espèces survivantes de se multiplier et se différencier encore. Cette évolution a concerné également l'être humain, qui partage un ancêtre commun avec les autres singes.

## La méthode scientifique en action: les "faux-siles"...

La reconstitution et l'identification des fossiles sont difficiles, car on manque souvent de références, surtout s'ils sont très différents des organismes modernes. De plus, il existe des plaisantins, voire des escrocs, capables de "fabriquer" des "faux-siles" soit pour se moquer des scientifiques, soit pour gagner de l'argent. C'est là que la méthode scientifique prouve toute son efficacité: non seulement en trouvant de nouvelles données, mais en acceptant et en corrigeant aussi ses propres erreurs, comme les exemples suivants vont vous le montrer.

Eozoon canadiense, le fossile qui n'en était pas un

Au début des années 1860, un fossile appelé Eozoon canadense était considéré par Lyell (le géologue que nous avons déjà rencontré), comme «une des plus grandes découvertes géologiques de son époque». Darwin y faisait référence dans sa quatrième édition de son livre L'origine des espèces. Cet organisme présentait l'intérêt d'être très ancien, datant du précambrien, et JW Dawson, directeur d'université, le décrivait comme étant la coquille d'un animal marin. Toutefois, les fossiles mesuraient quelques dizaines de cm alors que les animaux "modernes" correspondants sont tous microscopiques. De plus, des géologues irlandais contestèrent l'interprétation de Dawson, car selon eux ce fossile n'était qu'une roche formée sous haute pression. En 1879, le zoologue Möbius montra qu'Eozoon ne pouvait pas être une coquille fossile, et la découverte, en 1894, d'autres Eozoon dans des roches éjectées par le vésuve acheva de montrer que ce fossile était bien une roche formée en profondeur à partir du marbre. Les débats (féroces!) entre scientifiques et les études complémentaires permirent donc de découvrir cette erreur (1)

L'homme de piltown (Eoanthropus Dawsoni), une étrange mosaïque.

En 1899, le paléontologue amateur C. Dawson (aucun rapport avec le précédent) découvrit par accident, près d'une ferme de Piltown, à 60 km au S de Londres, un gisement contenant plusieurs fossiles (dents d'éléphants, d'hippopotames) dont des morceaux de crâne humains. L'ensemble paraissait âgé d'un demi-million d'années, ce qui faisait de ces morceaux de crânes, à l'époque, les plus anciens fossiles "humains". Continuant ses recherches avec l'aide de paléontologues réputés (Woodward et De Chardin), Dawson découvrit en 1912 un morceau de crâne et, plus loin, un fragment de mâchoire. Si le crâne était humain, la mâchoire paraissait bien être celle d'un singe (voir schéma, les zones sombres sont les morceaux retrouvés). On se trouvait donc là en présence de "l'homme-singe", ancêtre de l'homme, activement recherché. Malgré quelques doutes en France et aux USA, l'annonce par Woodward de la découverte d'autres dents fossiles acheva de convaincre la majorité. Cependant, en 1920 le paléontologue Vanderech annonça que les fossiles de Piltown n'étaient qu'un mélange de crâne humain moderne et d'une mâchoire d'orang-outang. Des datations effectuées en 1953 achevèrent de démontrer que l'homme de Piltown n'était qu'un canular, un faux, ce qui semblait de plus en plus évident au fur et à mesure que les techniques d'étude des fossiles se modernisaient. Même les fossiles animaux trouvés sur le même site avaient été apportés, en fait, de Malte et de Tunisie!



Bien que l'amélioration des techniques ait permis de débusquer ce faux, l'identité du plaisantin reste inconnue. Il est probable que ce soit Dawson, ou De Chardin, mais une hypothèse étonnante implique un personnage célèbre, ami de Dawson et qui habitait à l'époque près de Piltown: Arthur Conan Doyle, le célèbre père de Sherlock Holmes (2) !

L'homme du Nebraska (3)

En février 1922, le paléontologue amateur H Cook envoya à HF Osborn, directeur du muséum américain d'histoire naturelle, une dent fossilisée qu'il avait découverte dans des roches du Nebraska. À cette époque, Osborn s'opposait à un politicien célèbre, WJ Bryan, au sujet de la réalité de l'évolution. Osborn identifia la dent, très abîmée, comme provenant d'un "grand singe", peut être même un des ancêtres de l'homme, le premier jamais identifié sur le continent américain. Cette trouvaille devint célèbre, et certains firent même des reconstitutions de cet ancêtre, mais Osborn, bien qu'étant extrêmement vaniteux (4), reconnu ne pas être sur de lui et demanda l'aide de plusieurs dizaines d'autres spécialistes. Il lança donc une campagne de fouille du site où Cook avait trouvé la dent, et dès 1925 et 1926, ce site livra d'autres dents et d'autres traces fossiles, mieux conservées, qui montrèrent que le fameux "grand singe" ancêtre de l'Homme (que l'on avait appelé Hesperopithecus) n'était en fait qu'une espèce de Pécari (5) fossile. L'Hesperopithecus rejoint dès 1927 la liste des erreurs corrigées qui montrent l'intérêt de la démarche scientifique.

- 1- Ces formations purement minérales qui ressemblent à des fossiles sont appelées, fort justement, pseudofossiles.
- 2 - Et du Pr. Challenger, héros moins célèbre, mais qui, entre autres, découvre dans le roman "le monde perdu" une vallée peuplée de dinosaures et d'hommes-singes étrangement piltownesques...
- 3 - Non, ce n'est pas le titre d'un western !
- 4 - Il avait même publié un livre contenant uniquement la liste de ses travaux, les photos de ses médailles et ses récompenses... (Genre "je suis le roi du monde"...)
- 5 - Comme vous le savez tous, le pécari est un animal ressemblant au sanglier...



Eozoon canadense. Un fossile ? Où ça ? Photo B. Chatterton, office des ressources naturelles du Canada

## Une arnaque: Archeoraptor (Microraptor I)

En novembre 1999, la revue National Geographic annonçait la découverte en Chine d'un fossile, Archaeoraptor liaoningensis, présenté comme possédant des caractères dinosauriens et aviaires: c'était sans doute une preuve de plus de l'origine dinosaurienne des oiseaux.

Ce fossile avait été découvert en plusieurs morceaux par un fermier, "exporté" illégalement de Chine par des trafiquants et vendu (un bon prix) à un musée américain de l'Utah.

Dès la parution de la revue, les paléontologues trouvent ce fossile un peu trop parfait. En particulier, le spécialiste Chinois Xu Xing, en étudiant ce fossile, découvrit qu'en fait il était composé de deux parties différentes juxtaposées, le milieu du corps de l'animal, non retrouvé, ayant permis cette "erreur". On se retrouvait avec la tête et le corps d'un "oiseau" fossile, inconnu à l'époque, avec la queue et les membres antérieurs d'un petit dinosaure tout aussi inconnu.

La partie "oiseau", dénommé microraptor, était un dinosaure au corps recouvert de plumes. En 2003 un second fossile différent, complet, a été dénommé lui aussi microraptor.

Ironie du sort: la province de Liaoning, d'où venait le faux, a depuis livré en abondance des fossiles qui éclairent la formation des espèces de dinosaures à plume et leur parenté éventuelle avec les premiers oiseaux.

## Qu'en conclure ?

Ces exemples d'erreurs sont souvent utilisés par les adversaires de l'évolution pour montrer que cette théorie n'est pas sérieuse. En faisant cela, ils montrent surtout qu'ils ne comprennent pas ce qu'est la science et l'approche scientifique. Bien au contraire, ces exemples nous montrent que l'activité scientifique permet de corriger les erreurs, démasquer les charlatans ou les escrocs et qu'elle est bien une recherche sincère de la vérité

Ce n'est pas le cas des pseudo-sciences qui se proclament à l'abri des erreurs, et ne peuvent donc ni se corriger, ni prétendre à décrire la vérité du monde. Comme le déclarait le Pr. Gould, de l'université d'Harvard: "les systèmes infalsifiables sont des dogmes, pas de la science".

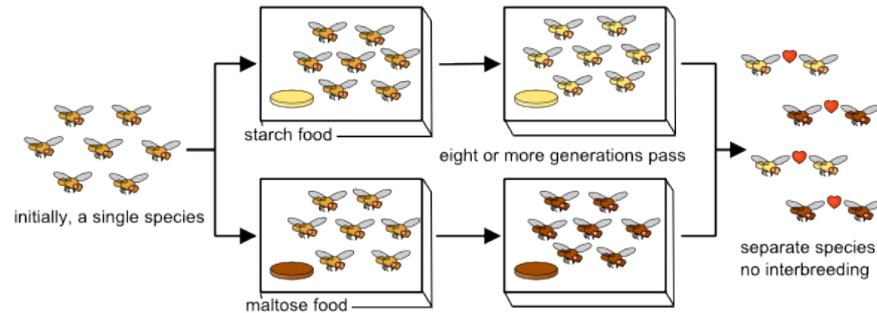
# L'apparition de caractères nouveaux montre que les gènes peuvent changer au cours du temps.

Lorsque Darwin a publié ses ouvrages sur l'évolution et l'origine des espèces, la façon dont les caractères héréditaires se transmettent était inconnue. Si vous avez oublié Mendel (souvenez-vous de Mendel...), vous n'êtes pas les seuls: en 1900, le professeur de botanique Hugo de Vries, à Amsterdam, croit avoir découvert la façon dont se transmettent les caractères. Malheureusement, il découvre rapidement que ce qu'il croyait avoir été le premier à trouver a été amplement décrit par Mendel 35 années auparavant...

Toutefois, et contrairement à Mendel, de Vries propose qu'un grand nombre de caractères héréditaires différents soient liés à une seule unité qu'il appelle un "pangène". De Vries veut tester son hypothèse de la façon suivante: si les pangènes existent, alors une variation héréditaire d'un ou de plusieurs pangènes doit conduire à des changements brusques dans la descendance (et même à l'apparition brutale d'une nouvelle espèce). De Vries pense que ces changements permettraient de compléter et d'expliquer les mécanismes de l'évolution présentés par Darwin. Pour cela, il cultive et observe un très grand nombre de plantes afin de découvrir si de nouveaux caractères apparaissent et de savoir si leur survenue est progressive ou brutale. L'idée de cette expérience provient d'une observation montrant que des fleurs importées d'Amérique, et redevenues sauvages, avaient spontanément développé des variétés nouvelles, naines. De Vries constate l'apparition de caractères nouveaux, qui n'ont jamais été présents chez les parents de ses plantes (1) mais qui apparaissent brusquement dans leur descendance et sont transmissibles. **Ces changements brutaux, De Vries les appelle les mutations** et pense qu'ils sont le moteur des modifications observées au cours de l'évolution des espèces (2).

Les idées de de Vries sont très bien accueillies, en particulier parce que de nombreux scientifiques les croient opposées à celles de Darwin: la découverte que des gènes correspondent à des caractères implique qu'une variation dans un gène fait varier brutalement un caractère, sans intermédiaires possibles. Alors que Darwin proposait une formation de nouvelles espèces par accumulation de changements insensibles, les découvertes de Mendel et de Vries tendent vers une production de changements brutaux (3) conduisant à de nouvelles espèces (4).

Toutefois, il apparaît rapidement que, dans la réalité, un caractère correspond le plus souvent à de nombreux gènes, et qu'une modification sur un seul gène aboutit le plus souvent seulement à une légère modification d'un caractère.



Un peu d'Anglais appliqué. La biologiste Diane Dodd a réalisé cette expérience en 1989: une population de mouches est divisée en deux lots qui ne reçoivent pas la même nourriture (soit de l'amidon - starch, soit du maltose, un sucre). Au bout de 8 générations, ou plus, les deux groupes se reproduisent préférentiellement entre eux: on a obtenu un début de séparation reproductive pouvant conduire à la formation de deux espèces différentes.

Dans les années 1920, trois biologistes (R. Fisher, JBS Haldane et S. Wright) vont vérifier expérimentalement la façon dont les mutations combinées à la transmission des caractères héréditaires influencent l'évolution des espèces. Ils vont créer des modèles mathématiques (5) décrivant comment reproduction et mutations collaborent pour créer de nouvelles espèces.

L'information génétique, transmise et recombinaée au cours de la reproduction sexuée, peut donc subir aussi, au hasard (6), des modifications (les mutations) qui, si elles sont favorables à la reproduction des individus, pourront se transmettre et se cumuler jusqu'à aboutir à la formation de nouvelles espèces. Des recherches ultérieures montreront qu'il existe en fait, à partir des mutations et des sélections, plusieurs mécanismes conduisant à la formation de nouvelles espèces.

1 - Vous vous demandez bien entendu de quelles plantes il s'agissait? C'était des onagres (vous êtes bien avancés, hein?). C'est une plante à fleurs jaunes, dont les graines fournissent une huile utilisée en médecine.

2 - D'autres recherches montreront que les caractères "nouveaux" repérés par De Vries ne permettaient pas de constituer d'un seul coup une nouvelle espèce d'Onagre. Toutefois, l'idée que l'évolution, un phénomène lent, puisse résulter de la somme de petits paliers, les mutations, sera confirmée par la suite.

3 - Des changements qui, en fait, touchent l'ADN des cellules reproductrices.

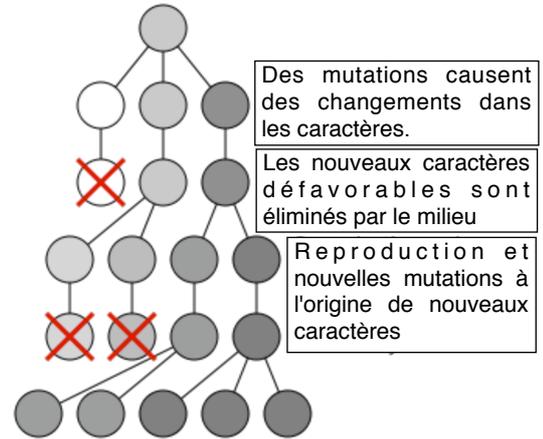
4 - Le second livre de de Vries, en 1906, était d'ailleurs intitulé "Espèces et variétés, leur naissance par mutation".

5 - Il fallait bien qu'on parle un peu de math! Ces modèles sont un ensemble d'équations qui décrivent comment des mutations se répandent dans des populations. Ils permettent de tester les théories en comparant les prévisions faites avec les observations réalisées.

6 - les modifications des gènes se font au hasard, mais pas la sélection du résultat qui elle dépend des conditions de l'environnement. Il est donc faux de croire que l'évolution se fait "au hasard": elle est fortement liée aux conditions de l'environnement et à ses modifications.



Une mutation est responsable de l'apparition du caractère "3 bandes sombres" sur le pelage de ce Guépard. Photo S. Juvetson



Les nouveaux caractères favorables à la reproduction se répandent dans la population. Les autres disparaissent.

Les mutations sont à l'origine de nouveaux caractères qui sont "triés" par les conditions de vie et le milieu.

**Résumé :** Les caractères des individus (donc des espèces) sont liés aux gènes. Les variations des caractères, qui sont le matériel de base de l'évolution, sont liées aux variations des gènes. Ces variations peuvent être obtenues par les recombinaisons liées à la reproduction, mais aussi par de brusques changements survenant sur un ou plusieurs gènes: les mutations. Les mutations qui donnent un avantage reproductif se transmettent et se répandent, les autres disparaissent. C'est un des mécanismes de l'évolution des espèces.

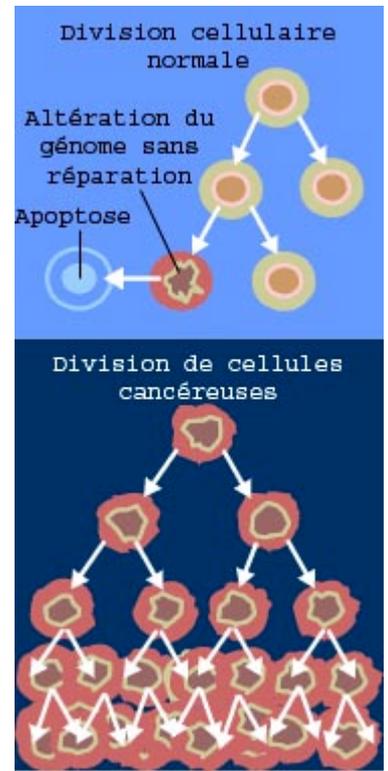
## Un peu de vocabulaire

- Naturaliste: scientifique qui, au 18<sup>e</sup> siècle, s'occupait à la fois des êtres vivants et des roches.
- Botaniste: spécialiste des végétaux
- Géologue: spécialiste des roches
- Zoologiste: spécialiste des animaux
- Paléontologue: scientifique étudiant les fossiles.

# Une conséquence néfaste des mutations : les cancers

Dès l'antiquité, des médecins égyptiens, puis grecs et romains (1) décrivent une maladie, le plus souvent fatale, se caractérisant par l'apparition et la croissance de masses dures sous la peau, au niveau de plusieurs organes. Ces gonflements (tumor en grec) furent étudiés vers l'an 0 par le médecin Celsus qui leur donna leur nom actuel, les cancers. Au cours de l'histoire, les médecins identifièrent différents cancers, touchant des organes variés. Le seul traitement connu était alors d'enlever, si possible, la tumeur et un large morceau des organes voisins. Il fallut attendre les travaux du médecin R. Virchow, en 1858, pour faire le lien entre cancer et comportement des cellules.

Les cancers sont causés par une perturbation de la division cellulaire. Plusieurs gènes contrôlent fortement le rythme de la division des cellules, de façon à ce qu'elles effectuent leurs fonctions sans se multiplier inutilement. De temps à autre, une cellule subit une mutation au niveau de ces gènes, mutation qui a pour effet soit de favoriser la multiplication cellulaire, soit de moins la freiner. Alors que, normalement, une cellule ainsi mutée s'autodétruit (2), certaines cellules échappent à cette "sécurité" et se mettent à se diviser intensément, formant une masse qui comprime et gêne le fonctionnement des autres organes. De plus, des cellules cancéreuses sont capables de se détacher de la tumeur, de voyager dans le sang et d'en sortir pour envahir de nouveaux organes, où elles vont proliférer et former des tumeurs "filles" (voir ci-dessous, d'après [une vidéo du HHMI](#)).



Les cellules cancéreuses ont subi des mutations de certains gènes sans s'autodétruire. Elles peuvent donc se multiplier indéfiniment, créant des problèmes variés dans l'organisme.

## L'INVASION DES CELLULES MUTANTES

**Mutant Cell**

DANS L'ORGANISME, UNE CELLULE SUBIT UNE MUTATION... ET SE DIVISE...

LES CELLULES "TRANSFORMÉES" ÉCHAPPENT À TOUT CONTRÔLE

NI SUICIDE, NI LYMPHOCYTES T POUR LES STOPPER.

ELLES FORMENT UNE MASSE, LA TUMEUR.

UNE CELLULE S'ÉVADE EN UTILISANT LES VAISSEAUX SANGUINS.

ELLE VOYAGE DANS L'ORGANISME...

Malignant Cancer

Malignant Cancer

PUIS, COMME UN MACROPHAGE, TRAVERSE LE VAISSEAU SANGUIN...

ET FORME UNE NOUVELLE TUMEUR, UNE MÉTASTASE... DANGER !

Le développement des cancers est donc lié à des altérations au niveau de certains gènes qui se contrôlent les uns les autres de façon très complexe. Ces mutations peuvent être simplement dues au hasard, lors des divisions cellulaires (un chromosome étant mal récopié, par exemple) ou favorisées par des facteurs en provenance de l'environnement, comme un excès de rayonnement (solaire, radio-actif...), certaines molécules, naturelles (fumée de tabac, amiante) ou de synthèse (benzène), et des infections virales (le virus perturbant, au cours de sa reproduction, le fonctionnement des gènes de la cellule).

Actuellement, l'allongement de la durée de la vie, ainsi que certains comportements (tabac, bronzage intense, alcoolisme...) expliquent que les cancers soient la première cause de mortalité dans de nombreux pays industrialisés, car plus les cellules vieillissent et plus elles ont d'occasions d'échapper accidentellement au contrôle exercé par leurs gènes "anticancer". Toutefois, la plupart des cellules cancéreuses sont détruites par le système immunitaire, en particulier par les lymphocytes T, car elles possèdent des antigènes anormaux (3). La lutte contre les cancers essaie principalement de mettre au point des moyens de détruire les cellules cancéreuses sans détruire les cellules saines, ce qui est difficile.

1 L'Égyptien Himouthes, il y a 49 siècles (!) puis, parmi les Grecs [Hippocrate](#), ainsi que, chez les Romains, les excellents (pour leur époque) médecins [Celsus](#) et [Galien](#).

2 Ce dispositif de suicide en cas de problème est nommé apoptose. La cellule qui s'autodétruit est rapidement remplacée par une cellule normale, sa disparition ne se remarque même pas (il y a dix fois plus de cellules dans votre corps que d'étoiles dans la galaxie...)

3 Et oui, pour comprendre tout cela, il faut avoir bien intégré les deux chapitres précédents !

## gènes et cancers

3 familles de gènes sont impliquées dans les cancers.

### 1 les oncogènes

Ces gènes accélèrent la division cellulaire. Une seule modification d'un des allèles de ces gènes suffit à stimuler la division de la cellule. On connaît plus d'une centaine de ces gènes (qui portent des noms de code comme myc, P53, Ha-ras et autre abl que vous pouvez continuer d'ignorer)

### 2 les gènes suppresseurs de tumeurs

Ce sont des gènes qui freinent la division cellulaire. S'ils sont altérés, le rythme des divisions cellulaires accélère.

### 3 les gènes de réparation de l'ADN

Normalement, ces gènes permettent de détecter et de corriger toute modification, de l'ADN. Ce sont des gènes qui protègent les gènes. Dans les cellules cancéreuses, ils fonctionnent peu ou mal.

Comme les mutations de ces gènes se produisent principalement dans des cellules somatiques, la grande majorité des cancers (90 %) ne sont pas héréditaires.

# La Terre et la vie ont une histoire, souvent liée

## Les extinctions massives taillent le buisson de l'évolution

Depuis Cuvier et ses études, nous avons vu que si les disparitions d'espèces différentes se produisent à des époques variées, il arrive aussi que, "brusquement", de très nombreuses espèces disparaissent ensemble, ces périodes d'extinctions massives étant utilisées comme repères pour diviser l'histoire de notre planète en ères de durée variable. Ces événements ont considérablement modifié la répartition, la sélection ou la disparition d'espèces et de groupes entiers

Ces périodes d'extinction expliquent l'aspect particulier des arbres "généalogiques" des différentes espèces où l'on voit alterner des périodes de développement de nombreuses espèces avec des arrêts apparemment brusques et le développement de nouvelles espèces. Le "parcours" de l'évolution n'est pas un arbre, mais une succession d'arbres, un buisson périodiquement taillé lors des extinctions massives. Après une extinction, la vie redémarre et se diversifie très vite, car de nombreux milieux sont désormais "libres" et peuvent être facilement occupés par de nouvelles espèces (1)

L'évolution des espèces n'est donc pas linéaire: de nombreux groupes ont disparu, certains survivent, se diversifient puis disparaissent en masse, et le schéma se reproduit un grand nombre de fois... Il aurait probablement suffi de quelques événements différents pour que l'évolution de la vie prenne un tout autre chemin sur notre planète (2).

## Notre monde est celui des bactéries

Les divers travaux des spécialistes de l'évolution s'appuyant sur de nombreux indices (3) aboutissent à une origine commune à la vie terrestre âgée de 3,8 milliards d'années. C'est à cette époque que sont apparues (4) des formes de vies dont l'évolution allait tout d'abord conduire à des sortes de bactéries que les spécialistes ont nommées LUCA (Last Universal Common Ancestor), qui sont donc les derniers ancêtres communs de toutes les formes de vies de notre planète. Depuis l'origine de la vie, ce sont donc les bactéries qui règnent sur notre planète. Elles y ont été les seules formes de vies pendant 85% de l'histoire de la vie. Ce sont toujours les formes de vie les plus répandues et les plus résistantes.

Si l'histoire de notre planète, au travers de la tectonique des plaques et ses conséquences (5), des chutes de météorites ou des mouvements du système solaire, a modifié l'histoire de la vie en anéantissant périodiquement de très nombreuses espèces, il ne faut pas oublier que le développement de la vie a aussi fortement influencé les caractéristiques de notre planète.

Ainsi, ce sont les êtres vivants unicellulaires aquatiques, dont certaines espèces existent toujours depuis 3500 millions d'années (6) qui ont produit le dioxygène de l'atmosphère terrestre, modifiant considérablement le climat de la planète et permettant ensuite l'utilisation de O<sub>2</sub> pour participer à la fourniture d'énergie par la respiration (7). À la suite de cette accumulation de dioxygène, des formes de vies extrêmement variées (bien plus que ce que nous observons actuellement) mais composées de peu d'espèces ont pu se développer il y a 600 millions d'années et commencer à laisser des traces fossiles (8).

Actuellement, ces signes de vie décelables à l'échelle d'une planète sont très étudiés, car les progrès de l'astronomie permettant déjà de détecter de nombreuses (9) planètes autour d'autres étoiles, et la connaissance des modifications produites par la présence de vie devrait permettre de détecter celle-ci à grande distance sur des mondes situés à plusieurs années lumières de la Terre (10).

L'aventure humaine ne fait que commencer, et vous en êtes les acteurs présents et futurs.

1- Cette libération des milieux a permis aux mammifères, par exemple, de se diversifier fortement lorsque les dinosaures ont disparu.

2 - Une météorite aurait croisé l'orbite terrestre 5 min plus tôt ou plus tard, et nous serions tous des dinosaures intelligents, sortis d'un oeuf, à nous demander ce que le monde serait devenu si ces ridicules mammifères avaient pu se développer tranquillement (ou bien notre planète ne serait peuplée que de bactéries, où d'insectes géants, où...)

3 - fossiles, structure et comparaison des gènes, traces chimiques d'activité biologique...

4 - La vie étant apparue assez "rapidement", à partir de molécules se formant naturellement dans certains milieux et douée de la capacité de se reproduire.

5 - Volcanisme, mais aussi modification des courants marins et des climats à cause de la disposition variable des continents.

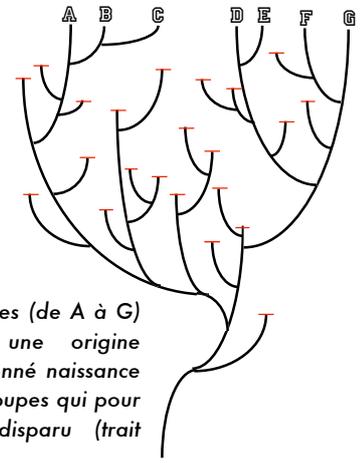
6 - Des espèces de stromatolites, bactéries vivant en colonies prenant l'aspect de boules rocheuses et produisant de l'O<sub>2</sub>, existent encore de nos jours, bien que rares.

7 - Comme vous l'avez étudié en 5ème. Je sais, c'est loin. Rassurez-vous, une révision musclée de cette indispensable chimie du vivant est prévue en seconde..

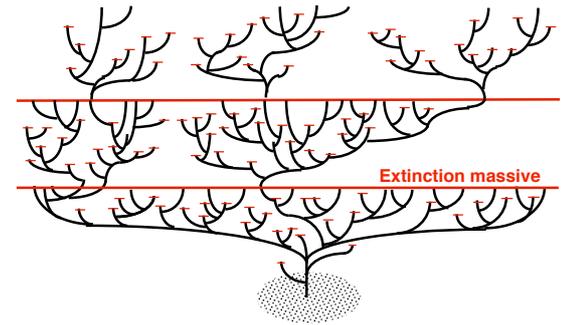
8 - Cette apparition de formes de vie de grande taille a paru si brusque qu'elle a été appelée "explosion cambrienne".

9 - 307 planètes ont été détectées au 11 juillet 2008. Plus les techniques progressent, plus les planètes détectées autour d'autres étoiles sont nombreuses...

10 - Sans parler de détecter, dans notre système solaire, des formes de vies bactériennes qui sont peut être profondément enfouies à l'intérieur de planètes comme Mars ou de satellites comme Europe...



Les espèces actuelles (de A à G) sont reliées à une origine commune qui a donné naissance à de nombreux groupes qui pour la plupart ont disparu (trait rouge)

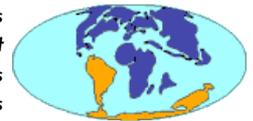


À plus grande échelle, à partir de l'origine commune des différentes formes de vies (en bas), on constate une grande diversification des espèces qui est périodiquement fortement réduite par les extinctions massives. L'arbre de l'évolution est en fait un buisson aux branches élaguées par les extinctions..

La tectonique des plaques a modifié le visage de notre planète au cours de son histoire, modifiant le climat, les conditions de vie, isolant ou regroupant des populations... Ces changements ont eu des conséquences sur l'évolution des organismes.



Jurassic Period — 160 mya



Cretaceous Period — 70 mya



Paleocene epoch — 60 mya



## chronologie à retenir

(en milliards d'années)

- 4,3 formation de la Terre
- 3,9 apparition de la vie
- 0,6 premières formes de vies macroscopiques
- 0,06 disparition des dinosaures
- 0,006 ancêtre commun aux humains et aux chimpanzés

Résumé : L'étude des structures anatomiques des êtres vivants actuels et fossiles (ainsi que la détermination de l'âge des fossiles) ainsi que de leurs gènes a permis d'établir l'existence du processus d'évolution relie toutes les formes de vie terrestre à un ancêtre commun.

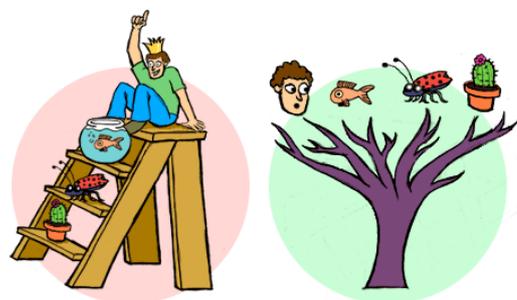
## Quelques idées fausses que l'on peut trop souvent entendre encore...

### Les méduses sont des animaux primitifs

Primitifs par rapport à quoi ? À nous ? Difficile, car tous les êtres vivants actuels sont le résultat des processus de l'évolution. Bien qu'ils soient très différents, ils font partie d'espèces qui ont réussi à se maintenir dans leur milieu, et à ce niveau les méduses sont des championnes: elles constituent un groupe dont des représentants sont déjà présents dans des fossiles âgés de plus de 600 millions d'années. Leurs espèces ont donc traversé sans disparaître toutes les grandes périodes d'extinctions. Pas mal pour des organismes "primitifs"...

### L'homme est l'animal le plus évolué

Et la femme ? Plaisanterie à part, l'Homme n'est pas plus évolué que les autres mammifères. Cette idée fausse vient d'une époque où l'on considérait qu'il existait une "échelle" de la vie, avec au sommet devenez qui ?



Nous avons vous que, bien au contraire, l'évolution suit des chemins multiples, dessinant dans le temps un "buisson" touffu d'espèces dont nous occupons, à cet instant, et

avec toutes les espèces de la planète, les derniers rameaux...

Dessins Université de Berkeley, Californie

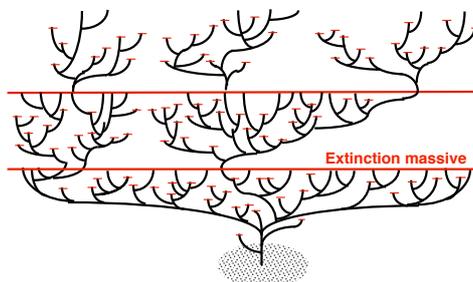
PS: si vous persistez à croire que les humains sont très évolués, jetez un oeil autour de vous pendant la récré, vous devriez perdre facilement cette illusion...

### Il y a des animaux qui n'ont pas évolué depuis des centaines de millions d'années.

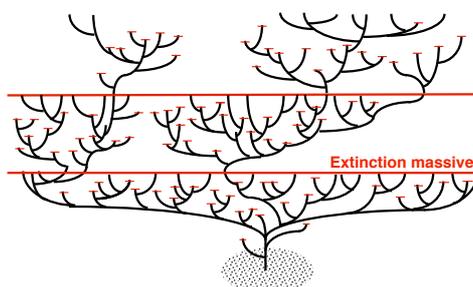
Il existe en effet des animaux qui ressemblent beaucoup à des formes fossiles très âgées. Cela ne signifie pas qu'ils n'ont pas évolué (car l'évolution peut toucher des éléments qui ne sont visibles sur les fossiles) mais que leur environnement est resté stable, n'opérant pas de sélection particulière sur la forme de leur corps ou leur anatomie. De tels animaux sont toutefois rares, et constituent des exceptions.

### D'abord on était des poissons, puis des amphibiens, des reptiles, des mammifères puis des singes et enfin des hommes

C'est une ancienne idée de l'évolution, vue comme une espèce d'escalier qui monte vers les humains. Le générique d'une ancienne série d'animation montrait bien cette progression. Mais les fossiles (entre autres) racontent une tout autre histoire: l'évolution des espèces se déroule dans le temps suivant des parcours variés, donnant aux arbres "généalogiques" des espèces l'allure de buissons périodiquement taillés par des extinctions auxquelles survivent, pas



hasard parfois, des espèces qui vont de nouveau se diversifier. Il aurait suffi de quelques changements lors de ces extinctions pour que notre planète présente aujourd'hui tout autre visage...



Ces deux schémas montrent que si les espèces survivantes à une extinction massive (trait rouge du haut) ne sont pas les mêmes, l'aspect "final" (en haut) du monde vivant n'est pas du tout le même.

### L'évolution n'est qu'une théorie (sous-entendu : on n'est pas sûr que ça existe)

En sciences, le mot théorie n'a pas le même sens que dans la vie courante. Une théorie est une explication cohérente d'un certain nombre de fait. Ce n'est pas une supposition. Par exemple, en physique, on parle de la théorie atomique, mais les atomes ne sont pas des possibilités; ce sont des objets réels. Si la théorie atomique n'était pas fondamentalement correcte; l'ordinateur sur lequel je tape ce texte ne pourrait tout simplement pas fonctionner.

### Beaucoup de scientifiques critiquent l'évolution

Il faut distinguer les critiques de scientifiques qui ne sont pas des biologistes, et qui en parlent comme tout un chacun, et celles des spécialistes de l'évolution.

Les premiers critiquent le plus souvent sans connaître, et leur opposition est peu constructive.

Par contre, comme l'évolution est une branche des sciences, il existe, ce qui est normal et sain, des discussions (animées) entre spécialistes. Ces discussions ne portent pas sur la réalité de l'évolution, acceptée par tous, mais sur les différents mécanismes qui permettent l'évolution, son rythme, l'importance de la sélection naturelle et des mutations... Comme toute science, l'évolution évolue ! J'ose espérer que les connaissances de base exposées dans cette partie du manuel vous aideront à distinguer, dans cette vision de la vie, l'intérêt de son approche et ses progrès futurs.

### L'évolution, c'est Darwin.

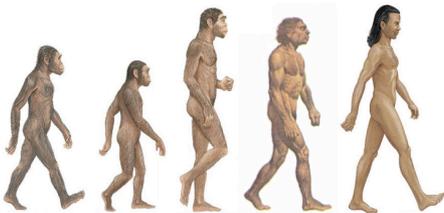
L'idée d'évolution existait bien avant Darwin, et les conceptions de l'évolution ont été profondément modifiées depuis son époque. Darwin a simplement été le premier à proposer un mécanisme naturel plausible pour expliquer le déroulement de l'évolution.

## Questions

- 1/Qu'est-ce qu'un fossile ?
- 2/Qu'est-ce qu'une roche sédimentaire ?
- 3/Comment définit-on une espèce ?
- 4/Qu'est-ce qu'une mutation ?
- 5/Quelle est l'âge de la Terre ?
- 6/Qu'est-ce qu'une extinction massive ?
- 7/ Lorsque deux espèces partagent un ancêtre commun, se ressemblent-elles obligatoirement (expliquer la réponse) ?
- 8/ A quoi servaient les premiers membres des vertébrés ?
- 9/A quelle époque a vécu le dernier ancêtre commun aux humains et aux chimpanzés ?
- 10/ De quelle façon le milieu intervient-il dans l'évolution des espèces ?

## Colles

- 1/Résumer dans un tableau les différents indices prouvant la réalité de l'évolution.
- 2/Si l'histoire de la Terre était présentée sur un DVD de 2h, quand verrait-on les premières traces de vie, les premières espèces ayant laissé des fossiles directement visibles, et le développement des espèces d'homininés ? (vous pouvez faire un schéma pour répondre)
- 3/Le schéma ci-dessous est très célèbre, on peut le retrouver un peu partout (même sous forme de blagues!).



Il est censé décrire une partie de l'évolution de notre espèce. Malheureusement, ce type de schéma est entièrement faux. Expliquez

pourquoi et corrigez-le.

## Exercices

« Avez-vous du courage, ô mes frères ? Êtes-vous résolu ? Non pas du courage devant des témoins, mais du courage de solitaires, le courage des aigles dont aucun dieu n'est plus spectateur ? »  
Si oui en avant pour ces exercices...

### 1 - Les objections de Cuvier (4 pts)

Dans les années 1810, le naturaliste Cuvier, excellent scientifique, critiquait l'idée d'évolution graduelle des espèces en se basant sur ses observations. Il avait remarqué les faits suivants:

- on ne trouve pas des changements continus chez les fossiles, mais des passages brusques d'un type de fossile à un autre.
- Aucune espèce vivante ne montre une évolution: les chats momifiés ramenés des tombeaux des pharaons égyptiens par Napoléon sont identiques aux chats du 17<sup>e</sup> siècle, 47 siècles plus tard. Pour Cuvier, le temps ne change donc rien, car "un effet évolutif nul sur un temps court sera tout aussi nul sur une longue période"

Que pourriez-vous répondre aux objections de Cuvier ?

### 2 - Une objection: la dilution des caractères. (4 pts)

En 1867, l'ingénieur F. Jenkin publia un article dans la North Bristish review où il analysait les idées de Darwin en mettant l'accent sur les problèmes soulevés par la transmission des caractères. Jenkin critiqua l'idée selon laquelle un caractère donnant un avantage à un individu pouvait être transmis à sa descendance, car "si un individu, suite à une variation, possédait un caractère lui apportant un avantage, ce caractère nouveau se diluerait au fur et à mesure que

lui et ses descendants se reproduiraient avec d'autres individus ne possédant pas ce caractère ... les variations individuelles favorables à la survie ne peuvent donc pas se maintenir sur un grand nombre de générations et aboutir à la formation de nouvelles espèces".

21 - Cette objection aux idées de Darwin vous paraît-elle logique ? (expliquer votre réponse - attention, on ne demande pas si l'objection est "vraie" ou "fautive"!)

22 - En vous basant sur vos connaissances actuelles (et en particulier sur le chapitre 1 de ce manuel, que vous connaissez par cœur, n'est-ce pas ?) expliquez quelle était l'erreur commise par Jenkin.

### 3 - Dans la famille Darwin... le grand-père (5 pts)

Entre 1794 et 1796, le grand-père de Charles Darwin, Erasmus (oui, c'était son prénom), qui était à la fois un poète et un médecin célèbre, fit paraître en Angleterre un livre, écrit en vers, au titre curieux: *Zoonomia, ou les lois de la vie organique*. Il y présentait ses idées sur l'évolution (comme de nombreux scientifiques de son époque) des êtres vivants, idées nourries par des observations du squelette des vertébrés, du développement des embryons et des résultats obtenus par les éleveurs sur des animaux domestiques. Erasmus pensait que l'évolution était orientée vers un progrès des formes de vies, et que ce progrès devait se continuer dans les sociétés humaines qui, elles aussi, devaient évoluer. Tout d'abord bien accueillis, l'ouvrage et les idées d'Erasmus furent très rapidement critiqués, mais pas uniquement pour des raisons scientifiques.

31 - les données qu'a examinées Erasmus vous semblent-elles de nature à donner des arguments valables à l'idée d'évolution des êtres vivants ? (expliquer votre réponse)

32 quel point commun partagent les arguments d'Erasmus ?

33 Trouvez donc la raison pour laquelle les idées d'Erasmus n'ont pas pu s'imposer dans l'Angleterre des années 1800 (pour vous aider: la raison principale vient de France, et la réponse de trouve dans votre cours d'histoire de l'an dernier...)

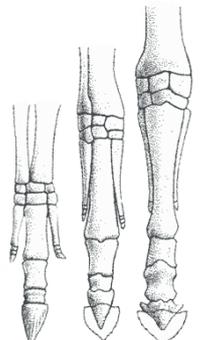
### 4 - Générique & évolution (5 pts)

Dans son livre "ancestor tales", paru en 2008, le spécialiste de l'évolution R. Dawkins écrit "Chaque gène mène sa propre guerre égoïste en coopérant avec les autres gènes dans l'ensemble génique, sexuellement agité, qu'est son environnement, afin de construire avec eux des corps." En utilisant vos connaissances de génétique, expliquez donc ce que veut dire Dawkins et le rapport de cette phrase avec l'évolution des espèces.

### 5 - Les chevaux mutants (6 pts)

Rarement, il naît des chevaux qui présentent des caractères très particuliers: ils ont les "mains" et les "pieds" malformés, en trois parties au lieu d'une. Or, lors du développement de l'embryon de cheval, ce stade à trois doigts existe (voir schéma ci-contre: l'embryon est à gauche, l'adulte à droite).

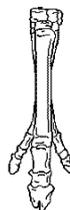
Un fossile d'un mammifère nommé Parahippus, qui vivait il y a 25 millions d'années, possède des "pieds" ayant l'allure indiquée ci-dessous.



51 - Quel nom donner à ce changement donnant un cheval à trois doigts ?

52 - Au vu des informations fournies, proposer une hypothèse logique expliquant l'origine de ces doigts supplémentaires.

53 - Quelles conclusions pouvez-vous tirer de la comparaison de la "main" fossile de Parahippus avec la formation de la "main" d'un cheval moderne ?



## 6 - Des renards aux chiens (7 pts)

Afin de vérifier et d'étudier l'effet de la sélection sur une espèce, des scientifiques russes dirigés par D.K. Belyaev ont sélectionné, pendant 40 ans, des renards. Leur but était d'étudier la domestication, aussi ont-ils sélectionné et favorisé la reproduction des animaux les plus familiers. Après 30 à 35 générations seulement, le caractère et le comportement des animaux se sont profondément modifiés et les renards se comportent comme des chiens ([vidéo ici - animaux témoins là](#)). Mais cette expérience montra également des effets inattendus: la teneur de certaines hormones dans le sang est très inférieure à celle des animaux sauvages, le développement des nouveaux nés est plus précoce, la forme du crâne est différente (plus rond), la couleur du pelage peut changer ainsi que, plus rarement, la forme de la queue et des oreilles qui peuvent être tombantes. La scientifique Lyudmila N. Trut, responsable de cette expérience, écrit " Sous nos yeux, "la Bête" est devenue "la Belle", lorsque le comportement agressif des ancêtres sauvages de nos animaux a totalement disparu. Nous avons vu de nouveaux traits morphologiques apparaître". Des études récentes ont trouvé 40 gènes différents entre les renards domestiques et leurs ancêtres.

6-1 Quel mécanisme actif dans l'évolution est reproduit au cours de l'expérience de Belyaev ?

6-21 Quelles indications donne cette expérience au sujet de la vitesse de l'évolution ?

6-22 Comment cette expérience peut-elle servir à expliquer pourquoi les fossiles montrant des transitions entre espèces sont rares ?

6-3 La sélection d'un caractère a amené des résultats portant sur d'autres caractères. Quelles conclusions pouvez-vous en tirer au sujet des gènes correspondant à ces différents caractères ?

## 7 - Les antibiotiques, c'est pas automatique (5 pts)

Depuis quelques années, certaines sous-espèces de bactéries (on parle de "souches") ne sont plus sensibles aux différents antibiotiques; pourtant, lors premières utilisations des antibiotiques en 1945, leur efficacité était telle que des médecins pensaient que les maladies bactériennes allaient disparaître.

7-1 Proposez une hypothèse plausible, mettant en jeu les notions de l'évolution, pour expliquer l'apparition de ces nouvelles souches.

7-2 Lorsque vous devez prendre un traitement antibiotique, votre médecin insiste sur le fait que vous devez prendre la totalité du traitement, même si vous vous sentez mieux avant la fin de celui-ci.

Pourquoi cette précaution peut-elle gêner l'apparition de souches de bactéries résistantes aux antibiotiques (pour vous aider, pensez à ce qui se passe lors d'une infection pour les bactéries, demandez-vous quelles sont celles qui meurent en premier...).

## 8 - Axolotl, l'inachevé (4 pts)



L'axolotl est un animal mexicain de la famille des salamandres, vivant dans des lacs d'eau froide, mais il ressemble plutôt à la larve de ces animaux: il possède des branchies et sa vie est exclusivement aquatique. Par contre, les espèces ancêtres de l'axolotl sont des salamandres à la vie terrestre lorsqu'elles sont adultes.

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, le physiologiste V. Lauffberger réalisa une expérience étonnante: il injecta à des Axolotls des hormones et observa alors qu'ils se métamorphosaient en quelques semaines en une espèce de salamandre (en perdant leurs branchies et en développant des poumons).

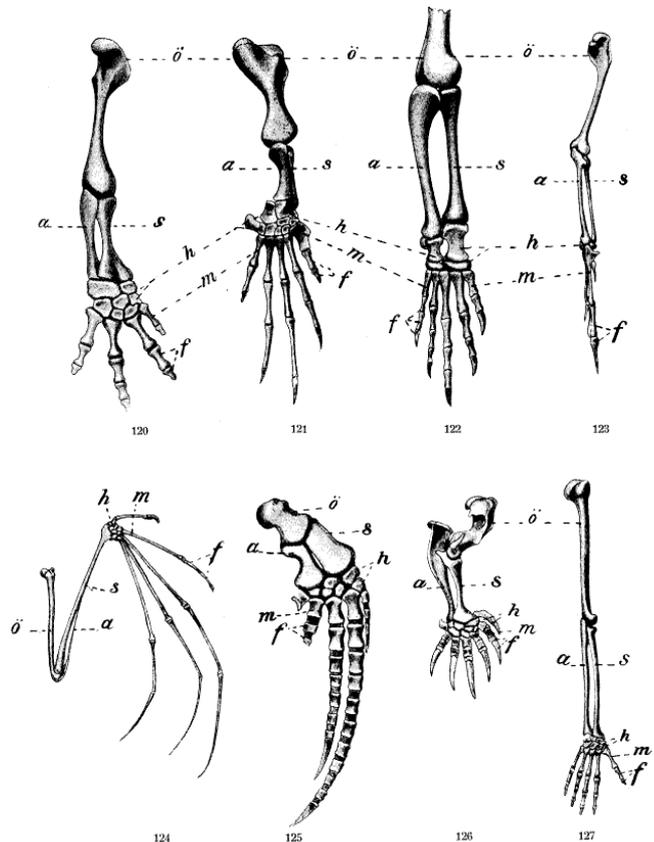
8-1 Proposez une hypothèse plausible expliquant par quels changements l'espèce ancêtre de l'Axolotl a pu donner l'animal moderne.

8-2 En 1864, le zoologiste Duméril pensait que l'axolotl était la larve géante d'une salamandre inconnue. Un jour, surprise: parmi les six larves qu'il possédait, certaines avaient perdu des oeufs. Parmi les jeunes provenant de ces oeufs, certains se métamorphosèrent en salamandre ressemblant beaucoup à une espèce connue, la salamandre tigre.

Proposez une hypothèse plausible expliquant pourquoi cette métamorphose a pu se produire. Votre hypothèse vous permet-elle de compléter vos idées sur l'origine évolutive de l'Axolotl dans son milieu ? (Expliquez votre réponse).

## 9 Ressemblances (6 pts)

La comparaison du squelette des membres des vertébrés apporte de précieuses informations. Dans le schéma ci-dessous, les différentes lettres signalent les noms des différents os. Huit espèces sont comparées.



9-1 Attribuez chaque numéro au bon organisme, à piocher dans la liste suivante (oui, je sais, il y en a en trop, et je sais aussi que cet exercice n'est pas limité à l'évolution, mais que voulez-vous, la biologie est un tout, et si vous n'êtes pas capable en troisième de faire la différence entre une aile de chauve-souris et un bras humain, c'est qu'il y a des révisions fondamentales qui s'imposent...): crocodile, humain, serpent, salamandre, chauve-souris, oiseau, taupe, baleine, éléphant et tortue.

9-2 Quelles conclusions pouvez-vous tirer de l'examen comparatif de ces différents membres (inutile de se livrer à un examen détaillé, os par os, une vue d'ensemble suffit).

## 10 Lire et écrire, mais avec quoi ? (6 pts)

L'imagerie médicale a permis de montrer qu'il existe dans notre cerveau des zones spécialisées dans certaines opérations, qui sont toujours situées au même emplacement quel que soit l'individu. Parmi ces zones, il y en a une spécialisée dans la lecture et une autre spécialisée dans l'écriture. Pourtant, l'écriture n'a été inventée que depuis 5000 ans alors que notre espèce est âgée de plus de 200000 ans.

Comment se fait-il que le cerveau des premiers ancêtres de notre espèce ait pu posséder des zones spécialisées dans des tâches qui ne seront inventées que plusieurs dizaines de milliers d'années plus tard ?

10-1 Proposez une ou plusieurs hypothèses permettant de répondre à cette question.

10-2 Imaginer et décrire une ou des expériences permettant de vérifier votre hypothèse.

### 11 Des espèces circulaires (4 pts)

En Angleterre, il existe deux espèces de goélands différents, faciles à distinguer par la couleur de leur dos, le goéland argenté et le goéland brun. Cependant, si on étudie la répartition de ces espèces dans l'hémisphère nord, on découvre qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'Angleterre vers l'ouest, les goélands argentés ressemblent de plus en plus aux bruns: on passe progressivement d'une espèce à l'autre en faisant le tour du monde à partir de la grande Bretagne.

À propos de ces oiseaux, le spécialiste de l'évolution R. Dawkins déclare: "ils nous montrent dans l'espace comment se déroule un phénomène qui, au cours de l'histoire de la vie, s'est déroulé dans le temps".

De quel phénomène parle R. Dawkins ?

### 12 Les yeux du Protée (4 pts)

Le Protée est un amphibien, comme les tritons et les salamandres, d'une vingtaine de cm de long (ci-dessous ; un couple



de protéés). Durant toute sa vie, il conserve des branchies de chaque côté de la tête (il doit vous rappeler l'Axolotl de l'exercice 8). Le protéé vie uniquement dans des cavernes, en Europe centrale (Slovénie). Dans son milieu, il est donc plongé dans l'obscurité. Cet animal, à l'état adulte, ne possède pas d'yeux. Toutefois, chez les larves de protéé, les yeux se développent normalement puis "s'auto-détruisent" avant que l'animal soit adulte, ce qui explique que ces adultes soient toujours aveugles.

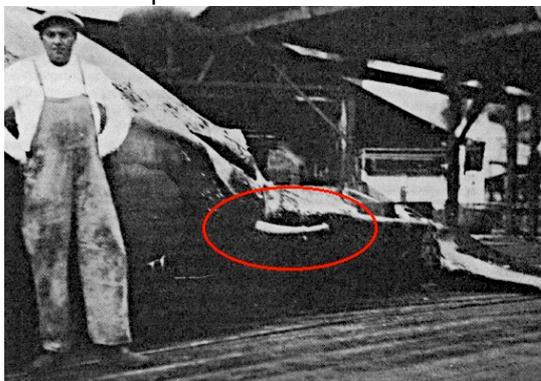
12-1 Mettez en relation les caractéristiques du protéé avec son milieu de vie

12-2 Quelles indications vous donne le développement du protéé sur les ancêtres de cette espèce ?

12-3 Proposez une hypothèse décrivant comment le protéé a pu apparaître en tant qu'espèce.

### 13 Une étrange baleine (4 pts)

Il semble clair que les baleines actuelles ne possèdent pas de pattes. Pourtant, en 1919, des chasseurs de baleine ont tué une baleine à bosses femelle présentant une étonnante particularité :



à la hauteur du bassin, de chaque côté des organes génitaux, elle possédait deux moignons d'un mètre de long, contenant des os et du cartilage. Le biologiste R.C. Andrews étudia ces membres, prélevés sur l'animal, et reconstitua leur squelette (photo ci contre : F= fémur, T= Tibia, Ta= tarse et M = métatarse - ces deux derniers étant des os du pied).

13-1 Quelle indication donne cette observation sur les ancêtres des baleines ? Les fossiles connus confirment-ils cette indication ?

13-2 Le fait que les embryons de baleines portent des poils, qui disparaissent ensuite, ainsi que des bourgeons de dents, qui disparaissent chez les animaux à fanons, confirme-t-il vos idées précédentes (expliquer votre réponse)

13-3 Proposez une hypothèse, mettant en jeu des gènes, expliquant l'origine des particularités de la baleine "à pattes" capturée en 1919.

### 14 Petit poisson deviendra... (5 pts)

Dans les années 60, des poissons de l'espèce *Cynotilapia afra* ont été libéré par erreur à Mitande Point, un site d'une île du lac Malawi, en Afrique de l'Est. Jusqu'en 1983, les poissons libérés sont restés (et se sont reproduits) au voisinage de leur site d'introduction, mais en 2001, une équipe de scientifiques du Georgia Institute of Technology a découvert à la place de la population initiale deux populations différentes, une au sud de l'île et l'autre au nord. Ces deux populations de *Cynotilapia* n'ont pas la même couleur, ont des gènes différents et sont incapables de se reproduire entre elles.

14-1 Comment appelle-t-on deux groupes d'animaux qui, même s'ils se ressemblent, ne peuvent plus se reproduire ensemble ?

14-2 Quelles indications peut-on tirer de ces observations au sujet de la vitesse de l'évolution ?

14-3 Comment peut-on relier les observations effectuées à la rareté des fossiles montrant une transition entre espèces différentes ?

### 15 Histoire d'Ours (6 pts)

Vous connaissez tous l'Ours polaire, (*Ursus maritimus*) et l'Ours brun (*Ursus arctos*). Ces deux espèces présentent de nettes différences (au-delà de la couleur) et ne vivent pas dans les mêmes milieux. Leur mise en contact accidentelle a été l'occasion d'une découverte : lorsque des ours blanc et brun s'accouplent, ils donnent naissance à des oursons hybrides. Ce qui est étonnant, c'est que ces oursons, à leur tour, peuvent, une fois adultes, se reproduire.

15-1 D'après ces observations, l'ours blanc et l'ours brun sont-ils deux espèces différentes ?

15-2 Quelle indication apporte ces observations sur l'origine évolutive des ours bruns et des ours blancs ?

15-3 Proposez une hypothèse plausible permettant d'expliquer les différences entre ces deux types d'ours.

### 16 Une objection philosophique aux sciences de l'évolution (6 pts) *attention, exercice difficile demandant de la réflexion -*

En 1837, dans son ouvrage "Philosophie des sciences inductives", William Whewell, un des plus célèbres scientifiques anglais de l'époque, émet une objection contre l'idée d'évolution des espèces (et de l'homme en particulier) basée non sur des faits, observations ou expériences, mais sur la conception de la science. Pour Whewell, l'activité scientifique consiste à rechercher et obtenir une connaissance certaine. Or, si l'esprit humain provient de l'évolution de l'esprit d'autres animaux, rien ne garantit qu'il puisse aboutir à une connaissance parfaite du monde puisqu'il sera nécessairement limité par ses conditions d'origine. Pour Whewell, le succès même de sciences comme l'astronomie, par exemple, ou la mécanique, plaide donc contre l'idée de l'évolution.

Plus de 170 ans plus tard, quelles réponses pouvez-vous apporter à l'objection de Whewell ?

### Rules, Britannia

Traduisez donc le paragraphe suivant (et devinez son auteur...)

*Thus, from the war of nature, from famine and death, the most exalted object which we are capable of conceiving, namely, the production of the higher animals, directly follows. There is grandeur in this view of life, with its several powers, having been originally breathed into a few forms or into one; and that, whilst this planet has gone cycling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being, evolved.*

## Questions

1/ Un fossile est une trace laissée dans les roches sédimentaires par un être vivant disparu. Ce peut être une partie du corps minéralisée (os, coquille, troncs, carapace...), un moulage (feuilles, empreintes de pas) ou une trace d'activité (terriers, excréments...)

2/ une roche sédimentaire est, comme son nom l'indique, une roche formée à partir de l'accumulation de sédiments.

3/ Une espèce d'être vivant est définie par rapport à son isolement reproductif: deux individus sont de la même espèce s'ils sont capables de se reproduire entre eux, et que leurs petits sont également capables de se reproduire. Le plus souvent, les membres d'une espèce se ressemblent, mais il peut aussi exister de grandes différences d'aspect entre mâles et femelles.

4/ Une mutation est une brusque modification d'un ou de plusieurs gènes, qui peut amener à l'apparition (et à la transmission) d'un nouveau caractère héréditaire.

5/ La planète Terre s'est formée il y a environ 4,3 milliards d'années.

6/ Une extinction massive est une période de l'histoire de la Terre où l'on constate une très forte diminution du nombre des espèces vivantes, cette diminution s'appliquant à des espèces différentes sur toute l'étendue de la planète et signalant un phénomène exceptionnel ayant détruit de nombreuses formes de vies.

7/ Partager un ancêtre commun ne signifie pas devoir se ressembler. Tout dépend, pour simplifier, du temps qui s'est écoulé depuis cet ancêtre commun. Ainsi, nous possédons un ancêtre commun avec les chimpanzés, qui nous ressemblent, mais nous partageons aussi un ancêtre commun avec les crapauds, qui diffèrent légèrement des humains (sauf dans les contes de fées). Simplement, notre ancêtre commun avec les crapauds est situé bien plus loin dans le temps que celui que nous partageons avec les chimpanzés

8/ Les premiers vertébrés à avoir eu de véritables membres étaient des poissons aux nageoires épaisses, qui leur servaient à se déplacer dans les marais encombrés de débris et de racines où ils vivaient.

9/ Le dernier ancêtre commun aux humains et aux chimpanzés a vécu il y a environ 6 millions d'années.

10/ Le milieu intervient dans l'évolution des espèces en sélectionnant les individus qui vont se reproduire (ou plus exactement en favorisant la reproduction de certains individus porteurs de certains caractères par rapport à d'autres individus ne possédant pas ces caractères). Par exemple, dans un milieu enneigé, un lièvre blanc aura plus de chances d'arriver à se reproduire qu'un lièvre marron, qui risque fort de se faire dévorer avant d'avoir pu trouver une femelle...

## Colles

1/ Votre tableau résumant les différents indices prouvant la réalité de l'évolution doit ressembler à celui-ci :

Indices	observations	pièce à conviction pour:
Fossiles	nombreuses espèces disparues	changement des espèces dans le temps
squelette des vertébrés	organisation commune	un même ancêtre pour tous les vertébrés
cellules identiques	tous les êtres vivants sont formés de cellules	une origine commune pour tous les êtres vivants

Indices	observations	pièce à conviction pour:
gènes	on retrouve les mêmes gènes dans des espèces très différentes	reproduction et répartition des gènes à partir d'ancêtres communs
agriculture, élevage	une sélection artificielle modifie les espèces	la sélection naturelle peut conduire à de nouvelles espèces.

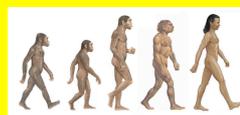
2/Si l'histoire de la Terre était présentée sur un DVD de 2h, le film obtenu ne serait pas très passionnant, du moins au début. Bravement l'ennui, faisons provision de pop corn, de sodas (light) et de chips\* et appuyons sur "play": 6 minutes après le début du générique, les premières formes de vies apparaissent. On se dit qu'il va y avoir de l'action. Hélas, ces espèces de bactéries vont rester à grouiller et à évoluer à leur façon pendant une heure avant que nous ne voyions apparaître des cellules à noyau qui vont rester à s'agiter bêtement dans l'eau. Espérons qu'on ne se soit pas endormi avant la fin du film, car c'est là que tout se passe: après 1h 40 de profond ennui, nous voyons apparaître les premières espèces ayant laissé des fossiles directement visibles. Toute l'histoire racontée par les fossiles se déroule pendant les 20 dernières min du film, et, pendant le générique de fin, 12s avant la fin du disque, l'ancêtre des hominidés fait son apparition et toute leur histoire se déroule. Vivement la suite !

Et le schéma, allez-vous me dire ? Vous pouvez le faire pour rédiger la réponse précédente:



Pour le réaliser, c'est simple: 2h = 120 min = 4 milliards d'années environ, donc 30 min représentent 1 milliard d'années. À partir de là, apparition de la vie à -3,8 milliards d'années (1) et premiers fossiles à -600 millions (3), hominidés à -6 millions (4) nous donnent les durées mentionnées. L'apparition des premières cellules à noyau (2) c'est du bonus, non demandé dans la question.

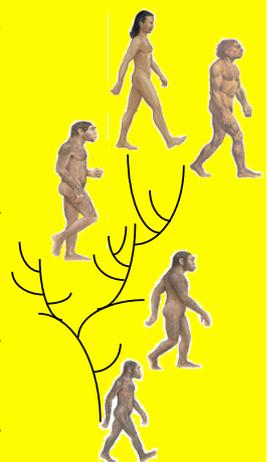
\* Vous remarquerez que j'en profite pour vous donner d'excellents conseils nutritionnels en faveur d'une alimentation saine et équilibrée.



3/Le schéma présenté (et tous ses dérivés plus ou moins humoristiques) est faux, car il présente l'évolution de notre espèce comme étant linéaire: il

donne l'illusion que nous sommes l'aboutissement d'un processus, comme si nous étions au "sommet" d'une ligne droite évolutive\* (cette erreur a été discutée page 16)

En fait, l'évolution suit des chemins bien plus tortueux, qui nous obligent à jouer des ciseaux et de la colle pour aboutir au schéma ci-contre, plus réaliste, qui représente une telle évolution "en buisson", avec des branches disparues et de multiples divergences.



\* Dans les années 1970, où ce point commençait à devenir évident, le biologiste et navigateur J.Y. Cousteau avait rédigé un poème à ce sujet: "Des sources de la vie n'y a t'il qu'un élan, un même vent soufflant sans faiblir jusqu'à l'homme ? Où bien le devenir joue t'il avec les êtres, comme une brise folle avec de fleurs fanées..." La deuxième solution s'est imposée.

## Exercices

### 1 - Les objections de Cuvier (4 pts)

*Pas de changements continu chez les fossiles, mais des passages brusques d'un type de fossile à un autre.*

La fossilisation est un phénomène exceptionnel, il n'est donc pas étonnant qu'il "manque" des fossiles intermédiaires. De plus, les transitions entre espèces peuvent être très "rapides" (quelques dizaines ou centaines de milliers d'années), ce qui laisse peu de traces dans les fossiles (par contre, les fossiles montrant des structures intermédiaires entre de grands groupes, comme les "poissons" et les amphibiens, ou les "reptiles" et les mammifères" sont nombreux et bien connus; ce qui n'est guère étonnant, car ces transitions ont été beaucoup plus lentes et on donc eu le temps de laisser de nombreuses traces dans les archives fossiles de la vie).

*Aucune espèce vivante ne montre une évolution: les chats momifiés des pharaons sont identiques aux chats du 17<sup>e</sup> siècle, 47 siècles plus tard. "Un effet évolutif nul sur un temps court sera tout aussi nul sur une longue période"*

A l'époque de Cuvier, aucun signe d'évolution n'avait été découvert sur des espèces vivantes, mais depuis de très nombreux exemples d'évolution, à tous les stades, ont été découverts (comme vous l'avez vu dans ce chapitre du manuel et dans les exercices). 47 siècles est une durée énorme pour un humain, mais elle n'est pas suffisante pour déceler une évolution chez le chat. Cuvier se trompe en pensant que l'effet évolutif est nul sur un temps court: soit cet effet peut-être imperceptible sur un temps court, évident sur un temps long (rappelez-vous, quand vous étiez petits, voyiez-vous bouger la petite aiguille de l'horloge?); soit les événements de l'évolution ne se produisent pas de façon continue, mais par paliers successifs, au fil des mutations qui s'accumulent et sont, ou pas, sélectionnées.

### 2 - Une objection: la dilution des caractères. (4 pts)

*Si un individu, suite à une variation, possédait un caractère lui apportant un avantage, ce caractère nouveau se diluerait au fur et à mesure que lui et ses descendants se reproduiraient avec d'autres individus ne possédant pas ce caractère ... les variations individuelles favorables à la survie ne peuvent donc pas se maintenir sur un grand nombre de générations et aboutir à la formation de nouvelles espèces".*

21 - L'objection de Jenkin est en effet logique, pour son époque. En effet, si les caractères nouveaux sont dilués dans les autres à chaque génération, ils ne peuvent que finir par disparaître: si vous mélangez un verre d'encre bleu et un verre d'eau, puis que vous mélangez ensuite un verre du mélange avec de l'eau, et ainsi de suite, vous n'obtiendrez rapidement que de l'eau claire, et le caractère "bleu aura disparu...

22 - Jenkin se trompe toutefois, car, justement, la transmission des caractères héréditaires n'a rien à voir (contrairement à ce qu'il pensait, et qui était l'opinion courante à son époque) avec le mélange de deux liquides: comme Mendel et ses collègues nous l'ont montré (vous vous souvenez du premier chapitre de ce manuel, non ? Sinon, révision!), les caractères se transmettent sous forme de gènes qui se superposent, mais ne se mélangent pas. Un caractère nouveau (auquel on dire que correspond, pour simplifier, un gène nouveau) pourra donc se transmettre et se voir sélectionner par les conditions du milieu s'il favorise la reproduction de celui qui le porte.

### 3 - Dans la famille Darwin...le grand-père (5 pts)

31 - Erasmus Darwin a examiné trois types de données, qui en effet fournissent des arguments valables à l'idée de l'évolution des espèces. En effet:

- l'observation du squelette des vertébrés montre que l'organisation d'ensemble de ces animaux est la même, ce qui s'explique si on suppose qu'ils partagent un ou plusieurs ancêtres communs

- le développement des embryons montre des points communs entre des groupes d'animaux très différents, qui là aussi peuvent s'expliquer par une origine commune.

- les éleveurs, en sélectionnant les animaux (où les plantes - pensez à toutes les variétés de roses, par exemple) qu'ils destinent à la reproduction montrent qu'il est possible de modifier fortement l'aspect et les caractéristiques des animaux, de façon même à ce qu'ils ne ressemblent plus du tout à leurs ancêtres sauvages. Si la sélection par les humains aboutit à de tels résultats en quelques dizaines de générations, quels changements étonnants doivent pouvoir s'obtenir naturellement en plusieurs milliers, voire millions, de générations !

32 Les arguments d'Erasmus ont un point commun: ils évitent toute référence aux fossiles, ce qui, en fait, revient à dire qu'Erasmus Darwin se base uniquement sur l'observation des animaux vivants, directement disponibles pour être étudiés en détail.

33 Erasmus pensait que l'évolution va dans le sens d'un progrès, et qu'elle devait se continuer chez les humains par un progrès social, c'est à dire, nécessairement, des changements dans la société. Or, quelques années après la sortie de son livre, quels sont, justement, les plus grands changements sociaux en Europe ? Comme vous connaissez votre chronologie sur le bout des doigts (c'est ça d'être un, ou une, bon élève!), l'année 1789 en France doit vous rappeler quelque chose, non ? Le déroulement de la Révolution française a terrifié l'Angleterre, et l'opinion publique a été beaucoup moins favorable aux idées de changements, sociaux ou évolutifs, ce qui a joué contre les idées d'Erasmus...



Ne pas oublier qu'en sciences, l'époque et le contexte d'une découverte sont extrêmement importants!

### 4 - Générique & évolution (5 pts)

*"Chaque gène mène sa propre guerre égoïste en coopérant avec les autres gènes dans l'ensemble génique, sexuellement agité, qu'est son environnement, afin de construire avec eux des corps."*

Nous avons vu, dans le premier chapitre, que pour chaque caractère nous avons un (ou plusieurs) gènes. Les gènes sont situés dans les chromosomes, qui sont "agités" au moment de la reproduction, où ils se répartissent différemment et se retrouvent avec de nouveaux gènes. En effet, on peut dire que les chromosomes sont l'"environnement" des gènes.

Comme les gènes sont liés aux caractères, on peut dire qu'ils construisent les caractères et, ensemble, les gènes "construisent" le corps de l'individu. La transmission des caractères, leur variation et leur sélection, qui sont à la base de l'évolution, peuvent être donc décrites comme étant la transmission, la variation et la sélection des gènes. Chaque gène se retrouve donc à la fois en compétition avec les autres gènes (car il doit, par exemple, assurer sa reproduction à la place des autres allèles) et obligé de collaborer avec eux pour construire les caractères. On pourrait donc décrire, éventuellement, toute l'évolution non pas au niveau des organismes, mais simplement au niveau des gènes.

### 5 - Les chevaux mutants (6 pts)

51 - Ce changement brusque modifiant un caractère est une mutation.



52 - L'hypothèse la plus simple expliquant l'origine de ces doigts supplémentaires est que le développement de l'embryon ne s'est pas fait de façon "correcte": les doigts surnuméraires, au lieu de disparaître, se sont maintenus chez l'adulte qui présente donc des pattes "d'embryon géant".

53 - La comparaison de la "main" fossile du Parahippus ressemble beaucoup au premier stade illustré de la formation du même membre chez le cheval moderne. On pourrait en conclure qu'il existe un lien entre le développement embryonnaire et l'évolution des organismes. Des structures (os, organes) présentes chez les ancêtres de certaines espèces se retrouvent parfois au niveau de leurs embryons, puis disparaissent au cours de son développement.

Si on réfléchit au niveau des gènes, cela signifie que les gènes correspondant à ces caractères ancestraux sont toujours présents, mais ne fonctionnent pas chez l'adulte.

## 6 - Des renards aux chiens (7 pts)

6-1 Le mécanisme de l'évolution reproduit au cours de l'expérience de Belyaev est la sélection naturelle (ici remplacée par une sélection humaine basée sur un seul caractère : le comportement amical vis-à-vis des humains)

6-21 Cette expérience montre qu'une quarantaine de générations seulement suffisent, avec une sélection importante, pour modifier non seulement le comportement, mais aussi l'apparence d'une espèce. Cela laisse penser que la formation d'une espèce à partir d'une autre peut être extrêmement rapide (au sens géologique - quelques dizaines de milliers d'années...). On peut même penser que plus la sélection est intense et plus l'évolution est rapide.

6-22 Comme cette expérience le montre, les transitions entre espèces peuvent être très rapides. La fossilisation étant un phénomène exceptionnel, un événement "rapide" n'a que peu de chances d'y laisser des traces. Il est donc logique que les fossiles montrant des transitions entre espèces soient rares (contrairement à ceux montrant des transitions entre de grands groupes, transitions qui ont demandé bien plus de temps et ont donc laissé davantage de traces fossiles).

6-3 Belyaev et son équipe ont sélectionné le comportement amical, mais au bout de plusieurs dizaines de générations les individus qui présentent ce comportement ont aussi de nouveaux caractères. La sélection d'un caractère a amené des résultats portant sur d'autres caractères (hormones, croissance rapide, crâne plus rond, couleur...). Comme ces caractères sont apparus ensemble, on doit en déduire que les gènes qui en sont responsables ont aussi été sélectionnés "ensemble", à partir du comportement. Les gènes qui influencent le comportement des animaux sont donc liés (ou travaillent avec) ceux qui sont responsables du taux d'hormone ou de la forme du crâne. Une sélection basée sur un seul caractère peut provoquer une sélection portant sur de nombreux gènes liés à ce caractère (même si, au départ, on ne pensait pas qu'ils étaient liés). Cette idée est confirmée par l'analyse montrant qu'il existe déjà une quarantaine de gènes différents entre les animaux sélectionnés et leurs "ancêtres" sauvages.

## 7 - Les antibiotiques, c'est pas automatique (5 pts)

7-1 Si on veut juste noter quelque chose, on dira que "les bactéries ont évolué depuis 1945 pour résister aux antibiotiques". Ce n'est pas faux, mais un peu simpliste. Vous savez, depuis le chapitre 2 de ce (remarquable!) manuel, que les bactéries se reproduisent très rapidement. Leur évolution est donc très rapide. Pour répondre de façon complète à la question, il faut penser à la sélection naturelle qu'on subit les bactéries: en utilisant massivement les antibiotiques, les bactéries sensibles à ces molécules sont mortes. Seules celles qui étaient un peu plus résistantes que la moyenne ont survécu et se sont reproduites, et ainsi de suite... jusqu'à obtenir des souches résistantes à ces molécules...

7-2 Prendre la totalité du traitement, même si on se sent mieux avant la fin) gêne l'apparition de souches de bactéries résistantes aux antibiotiques. Réfléchissez, avec ce que vous savez des réactions contre les infections grâce au providentiel chapitre 2 du manuel...

Nous sommes dans l'organisme, les macrophages et lymphocytes sont débordés, vous êtes malade et demandez de l'aide. Les bactéries font la fête dans votre corps quand votre sang les inonde de molécules toxiques pour elles, les antibiotiques. Quelles sont celles qui meurent en premier ? Celles qui sont les plus sensibles à l'antibiotique (et qui sont aussi les plus nombreuses). Du coup, vous vous sentez mieux, et seriez tenté d'arrêter de prendre vos pilules... Mais si vous faites cela, qui va rester dans votre organisme? Les bactéries les plus résistantes à l'antibiotique, qui pourront alors se multiplier tranquillement et que vous pourrez transmettre à un (ou une) infortuné camarade...

Par contre, si vous prenez la totalité du traitement, même les bactéries les moins sensibles à l'antibiotique seront détruites, et les éventuelles bactéries résistantes survivantes seront liquidées par votre système de défense...

Les antibiotiques nous donnent donc l'exemple de phénomène de sélection et d'évolution se déroulant à l'intérieur de notre propre organisme...

## 8 - Axolotl, l'inachevé (4 pts)

8-1 On vous dit que l'Axolotl ressemble à une larve. En fait, on peut en conclure que c'est une larve, qui peut se reproduire, et ne se transforme jamais en adulte... Cela donne une hypothèse simple pour l'origine de cet animal: l'espèce ancêtre de l'Axolotl était une salamandre avec une larve "classique", puis une mutation a stoppé la métamorphose de la larve en adulte (tout en conservant sa capacité à se reproduire, sinon elle aurait disparu).

Une autre hypothèse serait qu'une mutation a permis à la larve de se reproduire, ce qui a stoppé la transformation en adulte devenue "inutile" (un animal devenant adulte ayant peut-être plus de risque de se faire manger qu'un autre restant larve, par exemple).

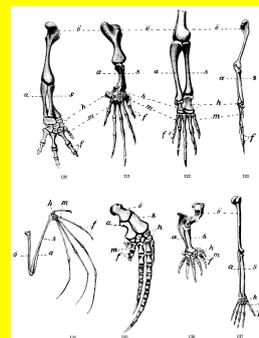
Une troisième hypothèse tout aussi logique serait que les ancêtres de l'Axolotl ont colonisé des lacs beaucoup plus froids que ceux qu'ils connaissaient (ou que le climat a changé) et que cette basse température ralentit leur développement: ils ne vivent pas assez vieux pour devenir adultes, mais juste assez pour pouvoir se reproduire (ce n'est pas la réalité, mais c'est une hypothèse logique, donc qui vous aurait rapporté tous les points de la question...)

Une quatrième hypothèse (qui en plus est confirmée par une expérience, c'est bien ça) serait qu'une mutation a stoppé la fabrication d'une hormone nécessaire à la transformation de l'animal en adulte (mais pas indispensable pour se reproduire). L'expérience de Laubberger confirmerait notre brillante idée...

8-2 Hypothèse n°1: si l'aquarium de Duméril contenait de l'eau plus chaude, cela a accéléré le développement des animaux, ce qui explique que les petits aient pu se développer en salamandre adulte. Cela confirmerait l'hypothèse du milieu de vie trop froid (mais c'est peu probable, car dans ce cas tous les oeufs de Duméril se seraient développés en salamandres, pas juste quelques-uns...)

Hypothèse n°2: il y a assez de variation (mutation) chez les petits Axolotl pour que certains produisent assez d'hormone pour se métamorphoser en salamandre. Cela confirmerait l'idée d'une origine évolutive basée sur une production absente ou insuffisante d'hormone chez la majorité des individus. Peut-être aussi qu'un facteur de l'environnement (température, pH de l'eau, durée du jour, nourriture des larves...), dans l'aquarium, a pu agir sur le développement des embryons (dans les oeufs) pour "débloquer" la production d'hormone... Cette hypothèse laisse penser qu'une variation, dans la nature, peut être exploitée par des changements du milieu, et donc que l'évolution de l'ancêtre de l'Axolotl pourrait être liée à l'évolution de son milieu de vie.

## 9 Ressemblances (6 pts)



9-1 120 Salamandre, 121 Tortue, 122 crocodile, 123 oiseau, 124 chauve souris, 125 baleine, 126 taupe, 127 humain

Si vous avez confondu les deux premiers, ce n'est pas grave et ne vous enlèvera aucun point! L'éléphant était bien entendu l'intrus de la liste, aucune des pattes présentées n'étant assez massive pour cet animal.

9-2 Lorsque l'on compare ces différents membres, on constate qu'ils ont tous une organisation voisine: un os, puis 2 os (parfois soudés) puis une main avec un nombre de doigts variable, voisin de 5, parfois soudés. La longueur, l'épaisseur et les proportions de ces différents os sont, par contre, très variables. Les membres des vertébrés montrent donc un ensemble de variations par rapport à une structure commune. On ne peut expliquer cela qu'en faisant appel à un même ancêtre pour tous ces vertébrés, ancêtre qui aurait possédé cette structure initiale du squelette des membres.

### 10 Lire et écrire, mais avec quoi ? (6 pts)

Comment se fait-il que le cerveau des premiers ancêtres de notre espèce ait pu posséder des zones spécialisées dans des tâches qui ne seront inventées que plusieurs dizaines de milliers d'années plus tard ?

10-1 Bien entendu, le cerveau de nos ancêtres ne "savait" pas qu'un jour il lui faudrait se mettre à l'écriture et à la lecture. On doit donc supposer que les zones qui actuellement servent à lire et écrire avaient à l'origine une fonction différente (par exemple, la zone de l'a lecture pouvait servir généralement à la reconnaissance des formes des fruits ou des aliments, et celle de l'écriture participer à la manipulation d'outils).

10-2 Pour vérifier l'hypothèse précédente, il "suffirait" de vérifier la cartographie cérébrale de gens qui ne savent ni lire ni écrire, et de voir à quoi servent les zones du cerveau qui normalement servent à ces activités (on pourrait réaliser la même expérience avec des membres de tribus ne connaissant pas l'écriture).

Une autre expérience serait de suivre régulièrement la "cartographie" cérébrale d'un enfant qui apprend à lire, et de voir quelles zones changent de fonction au fur et à mesure...

**Remarque:** Ce type de démarche évolutive (utilisation d'un organe, ou d'une partie d'un organe, pour une fonction qui n'était pas la sienne au départ) est extrêmement répandue dans le déroulement de l'évolution des organismes.

### 11 Des espèces circulaires (4 pts)

Le phénomène dont parle R. Dawkins est la formation d'une espèce à partir d'une autre. En se déplaçant ("dans l'espace") on assiste à une transition progressive entre l'espèce goéland argenté et l'espèce goéland brun. C'est ce type de transition, s'étant produit dans le passé sur de longues durées ("dans le temps") qui explique le passage d'une espèce à une autre (séparées dans le temps, et non plus dans l'espace), est donc l'évolution des espèces.

### 12 Les yeux du Protée (4 pts)

12-1 Question facile, non? Le protée passe sa vie dans des cavernes, dans l'obscurité. Il n'est pas difficile de relier l'absence de lumière dans son milieu à l'absence d'yeux chez l'adulte, cette absence n'étant pas préjudiciable à l'animal dans son milieu.

12-2 Au cours du développement du protée, la larve possède des yeux qui disparaissent ensuite. On peut donc supposer que les ancêtres de cette espèce étaient des amphibiens possédant des yeux (et vivant donc dans un milieu éclairé).

12-3 On peut proposer l'hypothèse suivante: Des salamandres sont entraînées dans une caverne (après une crue, par exemple) et y trouvent de quoi s'alimenter. Isolées des autres salamandres de leur espèce, elles se reproduisent entre elles. Toutes les variations (mutations) qui aboutissent à la perte de la vue (et qui sont normalement mortelles dans un milieu éclairé) peuvent s'accumuler, et peuvent même donner un avantage aux animaux qui perdent la vue dans ce milieu (par exemple, un oeil recouvert de peau s'infecte moins facilement, il est moins sensible aux modifications de la composition de l'eau) et, petit à petit, l'espèce initiale à donnée le protée aveugle (qui commence son développement comme le faisait son ancêtre avant de bifurquer sur la voie qui lui a fait perdre ses yeux).

Peut-être imaginerez-vous d'autres hypothèses, valables ou non, ce qui sera l'occasion d'une intéressante discussion en classe entre vous, vos camarades et votre estimé professeur.

### 13 Une étrange baleine (4 pts)

13-1 Cette observation nous indique qu'il existe quelques individus qui peuvent être dotés de membres postérieurs atrophiés. Cela indique que les ancêtres des baleines devaient être des animaux à quatre pattes (terrestre ou aquatique comme des loutres ?). Tout un ensemble de fossiles confirme cette idée. On y observe des transitions d'espèces proprement terrestres à des espèces aquatiques dont les membres postérieurs sont réduits.

13-2 Les embryons de baleines présentent des caractères (poils, bourgeons de dents) qui sont ceux observés chez des animaux terrestres (ou qui vivent en partie à terre, comme les loutres ou certaines otaries). Cela laisse penser que les embryons des ancêtres des baleines développaient les mêmes caractères, mais qui ne disparaissaient pas: c'était donc des animaux au moins en partie terrestres, ce qui confirme notre idée précédente.

13-3 Comme il existe des baleines avec des "pattes arrières" atrophiées, cela montre que les gènes correspondants existent toujours chez les animaux modernes, mais qu'ils ne fonctionnent pas (de plus, comme les pattes en questions sont atrophiées, mal formées, cela peut signifier que ces gènes ont été abîmés). On peut donc supposer que, ces les baleines modernes, les gènes "pattes arrière" ne fonctionnent pas, bien qu'ils soient présents. Chez l'individu capturé en 1919, on peut supposer qu'à la suite d'une mutation les gènes "patte arrière" se sont remis en marche, et qu'ils ont donné le caractère observé. Par contre, comme ces gènes sont dégradés, les pattes qu'ils ont données sont mal formées (par exemple, elles contiennent du cartilage à la place de l'os).

### 14 Petit poisson deviendra... (5 pts)

14-1 Deux groupes d'animaux qui, même s'ils se ressemblent, ne peuvent plus se reproduire ensemble constituent deux espèces différentes.

14-2 D'après les indications fournies, entre 1983 et 2001 les poissons de l'espèce initiale ont donné deux populations différentes incapables de se reproduire entre elles. Il a donc suffi de 18 ans pour que les *Cynotilapia* introduits se séparent en deux groupes qui n'ont pas la même aspect et ne peuvent se reproduire. On observe donc le début de la formation de deux nouvelles espèces à partir d'une seule. Cela indique que, dans des conditions favorables, la formation de nouvelles espèces peut être extrêmement rapide et ne prendre que quelques dizaines d'années.

14-3 Comme dans l'exercice 6, il faut penser à la rareté de la fossilisation pour comprendre qu'un événement rapide, comme la transition entre deux espèces, n'a que peu de chances d'y laisser des traces. Pour prendre un exemple, supposez que vous achetiez un CD (ou équivalent) tous les 200 ans: pensez-vous que vous pourriez facilement suivre l'évolution de la musique ces dix dernières années?

De la même façon, les fossilisations étant très rares, elles n'ont que peu de chance de se produire pendant le très bref délai ou se produisent les rapides transitions entre espèces (puisque l'observation précédente nous montre que ces transitions peuvent être très rapides), ce qui explique que l'on ne retrouve quasiment pas de fossiles montrant ces transitions.

Par contre, et j'insiste (je sais, je suis pénible!), il existe de nombreux fossiles montrant des transitions qui ont pris bien plus de temps entre les différents groupes d'animaux. Les transitions entre différents types de vertébrés, par exemple, sont ainsi abondamment illustrées par des fossiles possédant, par exemple, à la fois des caractères de "poisson" et d'amphibien, ou de "reptile" et de mammifère...

### 15 Histoire d'Ours (6 pts)

15-1 Puisque les ours blanc et brun peuvent se reproduire ensemble et que leurs petits peuvent eux aussi se reproduire, on ne peut pas dire que ces animaux font parti de deux espèces différentes: ce sont deux populations différentes, deux variétés d'une même espèce.

15-2 On n'observe pas de "mélange" entre les ours brun et blanc, simplement sans doute parce qu'ils ne vivent pas dans le même environnement et ne se rencontrent donc pas. On peut donc supposer que les ours blanc et bruns dérivent d'une même espèce-ancêtre dont les descendants se sont séparés en deux populations différentes, qui ne vivent pas au même endroit ni de la même façon.

Comme ces animaux peuvent encore se reproduire ensemble, on peut en déduire que la séparation de l'espèce-ancêtre en deux groupes n'est pas très ancienne, géologiquement parlant. Ce sont les conditions de vie différentes dans deux milieux différents qui ont sélectionné, dans les deux populations, des individus qui ont fini par présenter les caractères qui ont fait croire qu'il s'agissait de deux espèces différentes (couleur, comportement...).

**Remarque:** cet exemple montre l'importance du milieu dans la sélection des caractères. Il montre aussi que de nombreuses différences peuvent s'accumuler dans une population alors que la reproduction avec une autre population, même apparemment différente, est encore possible. Les différences de caractères peuvent donc évoluer plus vite que les différences de reproduction.

15-3 L'hypothèse la plus simple permettant d'expliquer les différences entre ces deux types d'ours fait appel aux différences entre leurs environnements respectifs. Par exemple, la population d'ours s'installant dans un milieu de plus en plus froid, où la neige et la glace est commune, va voir sélectionner des caractères comme une couleur plus claire (pour passer inaperçu), une couche de graisse plus épaisse (pour lutter contre le froid et mieux flotter) et un comportement de chasse dépendant du gibier disponible (phoques...). Par contre, l'ours brun, qui vit dans un milieu tempéré, n'a pas été soumis aux mêmes sélections: sa couleur, sa stature et son comportement sont ceux correspondant à une bonne efficacité dans son milieu. Les différences entre les deux types d'ours s'expliquent donc par les sélections différentes, opérées par leur milieu différent, sur la reproduction des individus, ce qui a abouti à la situation actuelle montrant deux populations très différentes.

#### 16 Une objection philosophique aux sciences de l'évolution (6 pts)

On peut contredire Whewell sur plusieurs points.

Tout d'abord, le caractère "certain" et donc, en un sens "parfait" de la connaissance scientifique. Si vous avez lu toutes les remarques disséminées dans ce manuel, vous savez que l'activité scientifique ne vise pas à la perfection: comme la connaissance est en marche, que les techniques, les scientifiques et les approches des problèmes varient, une connaissance ne peut être, dans le meilleur des cas, que raisonnablement certaine, ou située hors de tout doute raisonnable (c'est le statut de l'évolution, de la théorie atomique, de la tectonique des plaques; pour ne donner que quelques exemples que vous connaissez). Contrairement à ce que propose Whewell, la connaissance humaine et scientifique, n'étant jamais achevée, ne saurait être parfaite.

Autre point de discussion, les limitations de l'esprit humain, que Whewell considère incapable d'atteindre la vérité s'il est d'origine animale. En fait, il s'agit là d'un problème essentiellement religieux: comme Whewell croit que le monde provient d'une création divine, il en déduit que seul un esprit provenant lui aussi d'une origine divine est capable de la comprendre. Il est facile de retourner cet argument: comme le monde provient non d'une divinité, mais de processus naturels, il est logique qu'un autre processus naturel s'étant déroulé dans ce monde, à savoir l'évolution, soit capable de donner accès à une connaissance de ce monde.

On peut aussi invoquer que l'esprit n'est limité que par les moyens techniques dont il dispose, et que l'accroissement de ces moyens va impliquer un accroissement de la connaissance sans qu'il soit besoin de faire une hypothèse quelconque sur l'origine de l'esprit. De plus, et c'est là l'argument principal, comme notre connaissance ne saurait être qu'imparfaite, alors un esprit comme le notre, procédant d'une évolution et donc nécessairement imparfait, devrait suffire à réaliser l'étude scientifique du monde.

Dernier argument à jouer contre Whewell, le caractère scientifique de l'évolution. Depuis l'époque de Whewell, l'évolution a beaucoup évolué, justement, se nourrissant des nombreuses découvertes effectuées (en premier lieu, la génétique) et complétant les points jugés obscurs au 19<sup>e</sup> siècle. Ainsi, dans son livre, Whewell lui-même déclarait " C'est un test pour la véracité des théories, non pas de leur vérité, mais de leur utilité. Les théories qui sont utiles, qui sont vérifiées, qui sont confirmées par l'expérience ou l'observation, sont les seules qui méritent d'être considérées comme scientifiques." (C'est un test of true theories not only to account for but to predict phenomena." en VO non sous-titrée), et se servait de ce test pour dire que la théorie de l'évolution, ne faisant pas de prévisions, n'était pas scientifique. Ors, depuis son époque, les spécialistes de l'évolution ont fait de nombreuses prévisions, en particulier sur les types de fossile ou la répartition de certaines populations, qui toutes ont été vérifiées et confirmées par l'expérience ou l'observation.

Les objections de Whewell, bien qu'il ait été un grand scientifique de son époque, ne sont donc pas défendables, car elles se basent sur une vision erronée de l'activité scientifique. Comme l'écrivait le spécialiste de l'évolution SJ Gould dans son livre Darwin et les grandes énigmes de la vie: "C'est exactement cela que doit être la pensée scientifique. Il ne s'agit pas seulement de rassembler des faits et d'en tirer une théorie, mais bien d'un processus complexe faisant appel à l'intuition, aux opinions et à la connaissance des autres domaines scientifiques. Le jugement et le savoir-faire doivent intervenir à toutes les étapes."

En sciences, la réputation de celui qui parle ne devrait pas avoir d'importance (elle en a, parce que personne n'est parfait, les scientifiques comme les autres). Seules devraient compter la justesse, la cohérence et la rigueur scientifique de ce qui est exposé ou proposé.



En sciences, la réputation de celui qui parle ne devrait pas avoir d'importance (elle en a, parce que personne n'est parfait, les scientifiques comme les autres). Seules devraient compter la justesse, la cohérence et la rigueur scientifique de ce qui est exposé ou proposé.

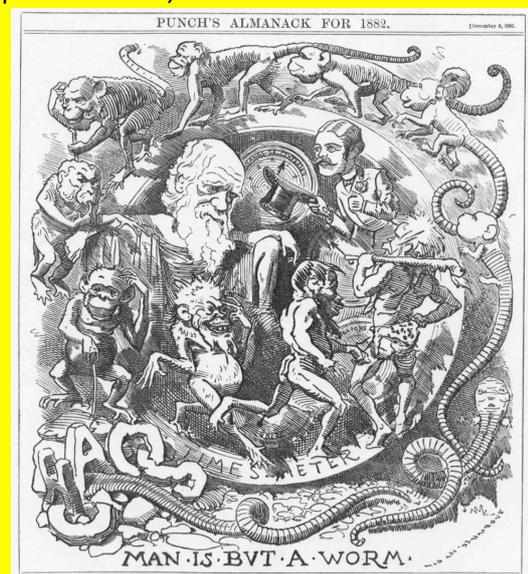
### Rules, Britannia

Traduisez donc le paragraphe suivant (et devinez son auteur...)

*Thus, from the war of nature, from famine and death, the most exalted object which we are capable of conceiving, namely, the production of the higher animals, directly follows. There is grandeur in this view of life, with its several powers, having been originally breathed into a few forms or into one; and that, whilst this planet has gone cycling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being, evolved.*

"Ainsi, des affrontements dans la nature, des famines et de la mort, le plus merveilleux procédé que nous sommes capables de concevoir, à savoir la formation des animaux complexes, découle directement. Il y a de la grandeur dans cette vision de la vie, avec toute sa puissance, prenant sa source dans quelques formes ou dans une seule, et, alors que notre planète poursuivait sa course en accord avec les lois immuables de la gravité; à partir des formes les plus simples, les êtres les plus beaux et les plus merveilleux ont évolué et évoluent encore."

Qui a bien pu écrire ça ? Un anglais, spécialiste de l'évolution, s'exprimant d'une façon assez ancienne... Charles Darwin, bien sûr !



Caricature parue dans l'hebdomadaire "Punch" en 1882, et représentant Darwin (avec sa barbe), qui était passionné par les vers de terre, comme le descendant direct d'une longue lignée de bestioles improbables débutant par le vers et passant par le singe, l'homme préhistorique et un gentleman tout britannique!



Nom & prénom:

C D C

**EVALUATION 6 - EVOLUTION**

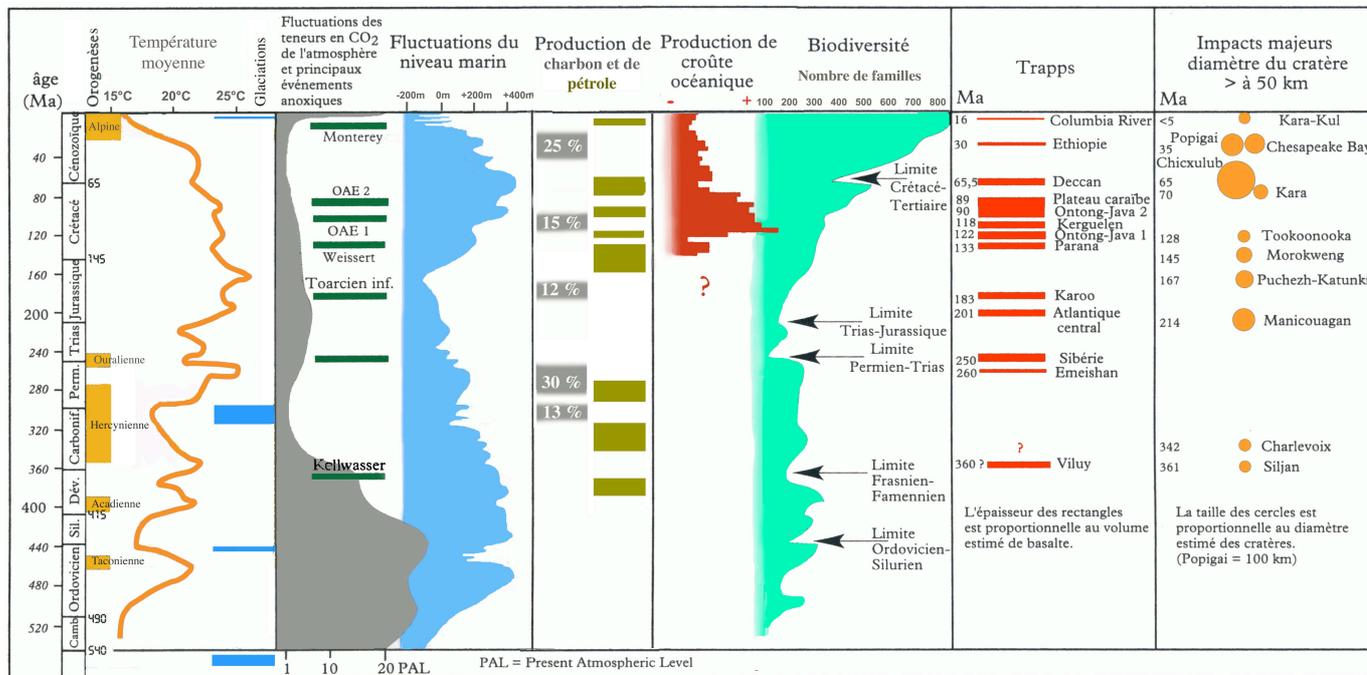
1 (4 pts) Définir les termes suivants:

Ancêtre commun:

Espèce:

**2 Terre et vie (9 pts)**

Le document ci-dessous résume les 500 derniers millions d'années de l'histoire de la Terre.



21 (2 pts) Quels facteurs susceptibles d'affecter le développement des êtres vivants ont varié de façon importante pendant ces 500 millions d'années ?

22 (6 pts) Le graphique de la biodiversité (en vert) montre certaines irrégularités soulignées par des flèches. À quoi correspondent ces irrégularités? Quelles peuvent en être l'origine (justifier brièvement vos réponses). Quelle est leur importance pour l'évolution des espèces ?

23 (1 pts) En faisant appel à vos souvenirs de quatrième, expliquez pourquoi on ne sait rien de la production de croûte océanique au-delà de 130 millions d'années dans le passé.

**3 Apprendre à bien rédiger: les ancêtres communs (3 pts)**

Hervé L.G. est un excellent élève, qui lit beaucoup, mais il a du mal à s'exprimer sans aller trop loin dans ses affirmations. Aidez-le en réécrivant le paragraphe suivant, tiré d'une de ses copies.

*" Il n'y a pas d'ancêtres. Les chances pour qu'un fossile particulier soit l'ancêtre précis d'un être vivant actuel sont si petites qu'il n'y a pas d'ancêtres. L'ancêtre commun est une simple idée, commode, mais il n'a jamais existé dans la réalité. On le reconstruit en disant, par exemple, cet animal avait ce caractère, plus tel autre, et celui-là encore, parce que les descendants possèdent ces caractères, mais cet ancêtre n'a jamais vécu dans la réalité. Il n'y a pas d'ancêtres, non, jamais. Pas d'ancêtres."*

**4 Des preuves (4 pts)**

Construisez un tableau présentant deux types d'observations ou d'expériences apportant des preuves à l'idée d'évolution des espèces. Vous mentionnez l'observation, sa description, les conclusions que l'on peut en tirer et leur importance pour l'idée d'évolution des espèces.

## EVALUATION 6 - EVOLUTION Corrigé

### 1 Définitions (4 pts)

*Ancêtre commun*: Individu, ou le plus souvent espèce, qui présente la particularité d'être l'ancêtre de deux (ou plus) espèces actuelles. Le dernier ancêtre commun est situé juste avant la séparation des espèces en deux ensembles distincts.

*Espèce*: ensemble d'êtres vivants capables de se reproduire entre eux et dont les descendants peuvent, eux aussi, se reproduire. *Le plus souvent, les membres d'une même espèce ont le même aspect, bien qu'il existe parfois des différences entre les sexes.*

### 2 Terre et vie (9 pts)

**21** (2 pts) Les facteurs susceptibles d'affecter le développement des êtres vivants qui ont varié de façon importante pendant ces 500 millions d'années sont:

- la température moyenne de la planète
- le niveau des océans

**22** (6 pts) Les irrégularités soulignées par des flèches sur le graphique de la biodiversité sont des extinctions massives. Ce sont de brèves périodes de l'histoire géologique où le nombre d'espèces vivantes est très fortement réduit en un temps limité.

L'origine des extinctions massives est liée à des événements exceptionnels touchant notre planète dans son intégralité: par exemple des éruptions volcaniques géantes ou des chutes de météorites de grande dimension (mentionnées à droite du tableau). Souvent, ces événements provoquent un changement rapide et catastrophique du climat à l'échelle mondiale.

Les extinctions massives ont rythmé l'évolution des espèces. Elles assurent une "redistribution des cartes" en détruisant des milliers d'espèces au hasard, ce qui libère de la "place" (de nombreux milieux, des ressources alimentaires, etc.) pour les espèces survivantes qui ont alors l'opportunité d'évoluer différemment en envahissant, par exemple, de nouveaux territoires.

*On peut citer comme exemple les mammifères, qui à l'époque des dinosaures étaient tous des animaux ressemblant à des souris et qui se sont diversifiés très rapidement après la disparition de la plupart des espèces de dinosaures...*

**23** (1 pts) La croûte océanique disparaît dans les profondeurs de la planète au niveau des zones de subduction (frontières convergentes de plaques). 130 millions d'années est tout simplement l'âge de la plus vieille croûte océanique encore "visible" sur notre planète. On ne peut remonter plus loin dans le temps, car les roches produites sont en ce moment sous les continents, et ont été détruites.

### 3 Bien rédiger (3 pts)

*" Il n'y a pas d'ancêtres **communs faciles à identifier en particulier**. Les chances pour qu'un fossile particulier soit l'ancêtre précis d'un être vivant actuel sont si petites que l'on ne peut pas dire **en montrant un fossile "ce fossile est l'ancêtre de cet animal, ou de cette espèce"**.*

*L'ancêtre commun **n est pas** une simple idée, commode, **même si** on le reconstruit en disant, par exemple, cet animal avait ce caractère, plus tel autre, et celui-là encore, parce que les descendants possèdent ces caractères. **L'espèce ancêtre commun a existé dans la réalité, mais comme on ne peut l'identifier avec précision à un fossile donné, on ne peut que s'approcher par les fossiles de l'aspect de l'ancêtre commun sans jamais l'atteindre précisément.** L'ancêtre commun **a vécu** dans la réalité, **mais nous ne sommes pas capables de l'identifier précisément.**"*

### 4 Des preuves (4 pts) Vous auriez pu choisir d'autres observations - cf exercice 1 p. 20)

Tableau présentant deux types d'observations ou d'expériences apportant des preuves à l'idée d'évolution des espèces.

Observation	Description	Conclusions que l'on peut en tirer	Importance pour l'idée d'évolution des espèces
Les fossiles sont les restes d'êtres vivants disparus	On trouve dans les roches une alternance de fossiles très différents des espèces modernes, mais qui leur ressemblent par certains points	Les espèces ne sont pas restées les mêmes au cours du temps, ni en qualité ni en quantité.	Il est possible d'étudier les changements, les variations des espèces dans le temps. On peut reconstituer une histoire de la vie.
Tous les êtres vivants sont formés de cellules	Plantes, animaux, champignons et même les unicellulaires sont composés de cellules qui présentent ma même organisation et des caractéristiques très voisines	Si tous ces êtres vivants sont faits de cellules similaires, c'est qu'ils proviennent tous d'un même ancêtre qui était une simple cellule	Même des êtres vivants très différents par leur aspect ou leur taille peuvent avoir une origine commune, un ancêtre commun si on remonte assez loin dans le temps

Manuel libre & gratuit.

Copiez-le !

Téléchargez-le !

Donnez-le !

#### Remarque sur les programmes

Dans ce manuel, je considère les programmes officiels de la classe de troisième non comme le maximum de ce que doivent savoir les élèves, mais comme le minimum permettant de leur ouvrir l'esprit.

Les programmes sont donc parfois complétés dès que la compréhension globale d'un phénomène l'exige, sans toutefois dépasser le niveau que l'on peut attendre d'un élève motivé de troisième

VOUS VENEZ DE TERMINER LE CHAPITRE 3 - et ce manuel

La suite (et la fin) du programme de troisième "responsabilité humaine en matière de santé et d'environnement" est un mélange de notions que vous devrez aborder en étude autonome et en groupes, sous la conduite de votre professeur. Bonne chance !

RR

## Avant de partir....

### L'auteur de cet ouvrage

Je suis prof de SVT (nul n'est parfait). Chercheur de formation, je n'ai pas trouvé d'emploi après m'être spécialisé dans la physiologie animale. J'ai enseigné à plusieurs niveaux: séminaires, université, formation d'adultes, lycée et collège.



Ancien élève de math-sup & math-spé bio techno, j'ai également étudié et enseigné la physique. Je m'intéresse à la philosophie des

sciences, aux méthodes d'enseignement et à divers problèmes scientifiques liés aux origines de la vie. Ayant rédigé une trentaine d'articles scientifiques ces dernières années, j'ai décidé, au vu de l'inadaptation des manuels envers les élèves et connaissant la charge financière que représente l'achat de milliers de manuels, de rédiger le premier manuel, en français, libre et gratuit, de SVT pour les troisièmes.

Puisse t'il en inspirer bien d'autres, et de meilleurs !

R. Raynal

Dr de l'université de Toulouse.

## Support en ligne



Le site [www.exobiologie.info](http://www.exobiologie.info) sera votre lien vers les mises à jour du manuel. Vous pourrez également joindre directement l'auteur.

Des "podcasts" sont prévus et seront disponibles sur itune dès la rentrée.

## Évitez d'imprimer



Un document sous forme électronique doit le rester le plus possible: c'est ainsi que vous aurez accès à toute sa richesse, à ses liens, ses vidéos et ses possibilités de navigation. Imprimer est le plus souvent inutile, et représente une dépense (en encre surtout, en papier ensuite) qui n'est pas négligeable. Si vous le pouvez, conservez et utilisez ce manuel sous sa forme électronique.



Ce manuel vous est fourni gratuitement sous [licence creative commons "paternité - pas d'utilisation commerciale"](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Vous êtes donc libres (à condition de citer le nom de l'auteur original) de reproduire, distribuer et communiquer ce manuel au public, par tous les moyens. Vous pouvez aussi modifier ce manuel.

Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce manuel à des fins commerciales.

*lamque opus exegi, quod nec lovis ira nec ignis nec poterit ferrum nec edax abolere vetustas. Cum volet, illa dies, quae nil nisi corporis huius ius habet, incert spatium mihi finiat aevi: parte tamen meliore mei super alta perennis astra ferar, nomenque erit indelebile nostrum.*

Ovide, Métamorphoses, livre XV, 871-876

## Remerciements

### Institut de recherche

- le [Howard Hugues Medical Institute](http://www.howardhughesmedicalinstitute.org/), qui réalise et met gratuitement à disposition de tous, sur son site, d'excellents documents et cours en vidéo.
- l'université de Berkeley (Museum de Paléontologie) qui m'a autorisé à reproduire certaines illustrations et dont [le remarquable site "comprendre l'évolution"](http://www.paleo.com/) est en cours de traduction.
- A Weasley et sa galerie de plusieurs centaines de reconstitutions d'animaux fossiles.
- la Smithsonian institution
- l'office des ressources naturelles du Canada

### Institutions

- Wikipedia et ses contributeurs qui mettent à disposition d'excellents documents sous licence wikimedia commons.
  - Le congrès des USA pour le Federal Research Public Access Act exigeant de toute agence fédérale l'accès permanent, libre et gratuit pour tous aux publications scientifiques.
- Mention spéciale pour les concepteurs des licences creative commons et GNU qui ont permis de trouver (et de créer) facilement des documents pour cet ouvrage.

### Chercheurs

Que soit remercié le Professeur paléontologue P. Gingerich ainsi que J. Klausmeyer

**Tout le monde peut lire ce manuel !** (enfin presque !)

