



# Histoire de la Vie et Evolution des espèces

## Introduction

Si un sujet peut porter à polémiques diverses, c'est bien le sujet des origines de la Vie. Ici se rejoignent nos idées, notre émotivité, notre subjectivité mais aussi nos croyances, nos conceptions personnelles et nos éventuelles croyances religieuses.

Concilier ces différentes approches est un exercice périlleux. Lorsque la science a pu tenter de proposer des explications construites et sérieuses à l'émergence naturelle et autonome de la Vie, les courants religieux et philosophiques se sont crispés. A juste titre? Nous ne répondrons pas réellement à cette question.

### La tolérance

Est-ce que les textes de la Bible sont en contradiction totale avec les théories scientifiques? Répondre à cette question nécessite de savoir sur quels points de vue notre analyse de comparaison et de confrontation va se construire. Si nous prenons les textes de la Bible au pied de la lettre, la réponse est évidemment affirmative. Mais faut-il poser la question comme cela? La dimension parabolique et symbolique des textes est primordiale et porte en elle les germes de nos civilisations actuelles. Le voir autrement serait une erreur. Il n'en reste pas moins que la cohabitation reste difficile mais possible lorsque la tolérance laisse de la place à la fois à la parabole fondatrice et à la rigueur scientifique.

Une autre erreur serait d'affirmer que les théories scientifiques de la Création et de l'Evolution ne se basent que sur de vagues suppositions. C'est le principal argument fautif utilisé par les détracteurs de la vision scientifique, notamment des créationnistes.

Les théories scientifiques se basent sur de nombreuses observations de terrain, de laboratoire, astronomique dans lesquelles la Biologie, la Physique, la Chimie, la Géologie, l'Astrophysique et d'autres disciplines encore sont les garants de notre compréhension du monde.

## L'humilité

L'histoire de la Vie est une très longue histoire. En effet, si notre Terre avait un an, nous serions donc le 31 décembre à minuit, les êtres humains ne sont là que depuis quelques secondes, la disparition des dinosaures remonte au 25 décembre, l'apparition des premiers poissons au 20 novembre et les premières formes de Vie estimées au 20 mars. Ces « distances » temporelles énormes ne facilitent pas le travail des scientifiques. Les « traces » diverses s'effacent de plus en plus sur la durée.

Notre connaissance des périodes lointaines est évidemment plus parcellaire. Il faut donc avancer avec prudence sur l'argumentation et la compréhension de ces temps reculés car de nombreuses pages de l'Histoire de la Vie sont manquantes.

## Les “courants” et théories scientifiques

### Les premières théories

Nous ne ferons qu'une brève mention des premières théories, qui peuvent nous paraître aujourd'hui farfelues ; il faut cependant tenir compte du fait que les connaissances étaient très limitées à cette époque. Ainsi, selon Anaximandre de Milet (610 à 546 av. J.-C.), la Vie apparaît suite à l'évaporation de l'eau due au Soleil. Empédocle (490 à 435 av. J.-C.) pense quant à lui que les organes isolés se rassemblent pour former un seul être, et Démocrite (460 à 370 av. J.-C.) décrète que la Vie est issue de vers sortant de la boue pour former des êtres humains.

### La génération spontanée

On trouve les traces d'une croyance en une apparition spontanée de la Vie dans les bambous donnent naissance aux pucerons pour autant que leurs jeunes pousses soient repiquées par temps chaud et humide ; les mouches et les parasites naissent spontanément à partir d'ordures et de sueurs ; les boues laissées par les inondations du Nil engendrent spontanément des grenouilles, des crapauds, des serpents, des souris et même des crocodiles.

C'est Aristote (384 à 322 av. J.-C.) qui a réussi la synthèse des idées accumulées jusqu'à son époque et qui a formulé la thèse de la génération spontanée : « les plantes, les insectes, les animaux peuvent naître de systèmes vivants qui leur ressemblent, mais aussi de la matière en décomposition activée par la chaleur du Soleil ».

Jusqu'à la Renaissance – et même bien après –, les écrits abondent en récits d'observations de générations spontanées, mêlés de légendes diverses. Même de grands penseurs comme Roger Bacon, René Descartes ou Isaac Newton soutiennent l'idée de la génération spontanée. On passe même à l'expérimentation pour conforter la théorie. Jean - Baptiste Van Helmont (1577-1644) affirme ainsi qu'une chemise sale, du blé... et vingt et un jours d'attente feront apparaître une souris ! En plein milieu du XVIIIe siècle, le grand naturaliste Buffon (1707-1788) est un ardent défenseur de la génération spontanée. Mais le doute commence à s'installer...

Un savant italien, l'abbé Lazzaro Spallanzani (1729 -1799), réalise de nombreuses expériences qui semblent montrer que lorsqu'on stérilise bien le système, il n'y a pas de génération spontanée. La polémique s'installe ; la controverse va durer un siècle. Il faudra attendre Louis Pasteur en 1860 pour clore le débat. Pasteur démontre, en mettant au point un protocole de stérilisation fiable, que la Vie ne peut naître spontanément de la matière inanimée – du moins à l'échelle d'une vie humaine : c'en était fait de la théorie de la génération spontanée.

## Le créationnisme

Le créationnisme suppose que c'est un être supérieur, le plus souvent un dieu, qui est à l'origine de la création de l'Univers et de la Vie. Par exemple, pour la religion chrétienne – du moins si l'on s'en tient stricto sensu à la Bible, c'est en rassemblant les eaux que Dieu fait apparaître la terre ferme; il fait ensuite surgir les animaux dans la mer, dans l'air et sur la terre.

Le créationnisme revient en force dans des mouvements religieux fondamentalistes et conservateurs, notamment aux Etats-Unis. Il faut faire preuve d'un esprit critique.

## La panspermie

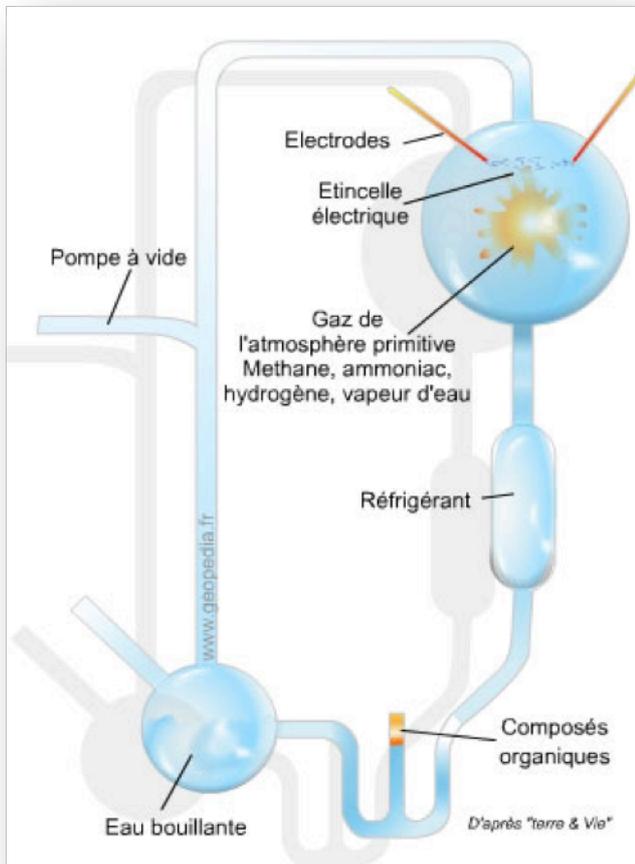
Pour clore ce rapide historique des idées sur l'origine de la Vie avant notre siècle, il faut signaler une autre théorie, qui est née à la fin du siècle de Pasteur: la Vie serait venue du cosmos. Cette théorie a été développée par l'Allemand H. E. Richter en 1865 ; selon lui, les corps célestes libèrent des particules qui contiennent des germes de microorganismes, appelés cosmozoaires, et qui ont été amenés sur Terre par les météorites. L'idée a été reprise au début du siècle dernier, en 1906, par le savant suédois Svante Arrhénius – père de la théorie des électrolytes et Prix Nobel de Chimie en 1903 –, mais sous une forme plus élaborée : **la panspermie. Cette théorie considère la Vie comme une caractéristique fondamentale de l'Univers, au même titre que la matière et l'énergie, et la Terre aurait été « ensemencée » par une Vie d'origine extra -terrestre.** En 1969, on a d'ailleurs trouvé dans une météorite tombée en Australie de nombreuses substances organiques, notamment des acides aminés. D'autres molécules complexes ont aussi été identifiées dans l'espace par les astronomes. Les premières molécules organiques seraient-elles venues de l'espace ?

## L'expérience de Miller-Urey

Il faut attendre le milieu des années 1950 pour qu'un jeune doctorant, Stanley Miller, qui effectuait ses recherches à l'Université de Chicago dans le laboratoire de Harold Urey – Prix Nobel de Chimie en 1934 –, se lance dans une aventure des plus périlleuses : tenter de reconstituer en laboratoire les conditions postulées par Oparine et Haldane pour la synthèse des premières molécules de la Vie. Il conçoit un montage où le réacteur est un système fermé, parfaitement stérile, dans lequel on peut faire le vide.

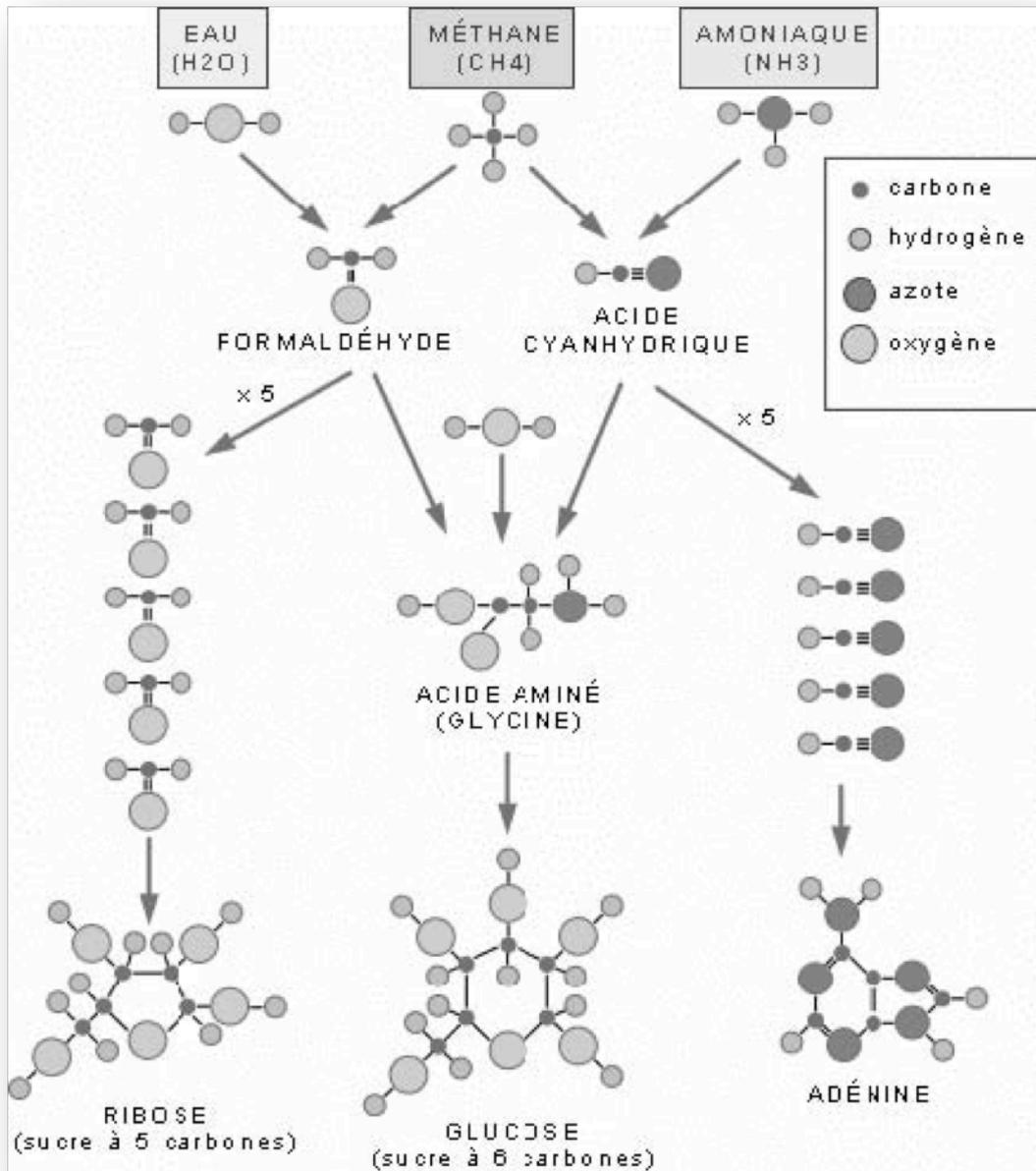
Dans un ballon rempli d'eau, il introduit les gaz, méthane ( $\text{CH}_4$ ), ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et hydrogène ( $\text{H}$ ). Sous l'effet de la chaleur d'une flamme, l'eau se vaporise. Il apparaît donc un mélange gazeux constitué de vapeur d'eau, de méthane, d'ammoniaque et d'hydrogène : c'est une simulation de l'atmosphère primitive d'Oparine et de Haldane. Plus loin dans le réacteur, des étincelles sont produites entre deux électrodes pour simuler les éclairs : c'est la source d'énergie ; selon la théorie

d'Oparine et de Haldane, c'est à cet endroit devraient se former les molécules organiques. Un réfrigérant provoque ensuite la condensation de la vapeur d'eau, qui entraîne avec elle les molécules nouvellement formées : c'est la pluie ; le tout s'accumule à la base du montage : ce sont les océans primitifs. Après plusieurs jours, Miller constate qu'un matériau sombre et peu engageant s'est déposé à la base de son montage. L'analyse du dépôt montre que celui-ci contient de nombreux composés organiques, en particulier du formaldéhyde et de l'acide cyanhydrique, deux molécules qui jouent des rôles-clés dans la synthèse de molécules organiques plus complexes, ainsi qu'une petite quantité d'acides aminés, essentiellement de la glycine, le plus simple des acides aminés. Les bases d'une discipline scientifique nouvelle viennent d'être jetées : **la chimie prébiotique, c'est - à-dire la chimie des molécules qui précède l'apparition de la Vie.**



On est très loin de la génération spontanée. Les molécules fabriquées sont très simples. Il y a une marge entre ces composés et la beauté complexe de l'ADN.

**On est donc très loin de pouvoir "synthétiser" la Vie.** L'importance de l'expérience de Miller et des expériences analogues qui ont suivi est d'avoir démontré que les molécules de base de la Vie peuvent être fabriquées de façon simple dans les milieux naturels. Mais il est important de réaliser qu'on n'a pas nécessairement démontré que ces synthèses se sont vraiment déroulées dans l'atmosphère primitive selon le scénario d'Oparine et Haldane. En fait, cette chimie prébiotique fondée sur la fabrication de molécules organiques à partir de ce qu'on croyait être l'atmosphère primitive se heurte à trois problèmes majeurs, qui se rapportent à la composition de l'atmosphère primitive, à la concentration des molécules dans l'océan primitif et aux interactions chimiques dans la soupe primitive.



**Passons en revue ces trois paramètres.**

### **La composition de l'atmosphère primitive**

Oparine et Haldane avaient postulé pour la composition de l'atmosphère primitive un mélange de méthane, d'eau, d'ammoniaque et d'hydrogène sulfuré, produits à partir de composés venant du Soleil et du dégazage de la Terre. Aujourd'hui, on considère que l'atmosphère s'est constituée par le seul dégazage du manteau de la Terre, durant les premières étapes de sa formation. Les volcans actifs auraient été beaucoup plus nombreux qu'aujourd'hui. On a de bonnes raisons de croire que l'atmosphère primordiale était composée principalement de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone et d'azote, avec des quantités minimales de méthane, d'ammoniaque et de dioxyde de soufre, mais sans hydrogène ni oxygène. Les spécialistes de la chimie prébiotique s'accordent aujourd'hui à dire que l'atmosphère primitive devait être riche en méthane, azote et eau, ce qui ne correspond pas à l'idée que s'en faisaient Oparine, Haldane et Miller. Les chimistes s'accordent aussi sur le fait

qu'une atmosphère riche en dioxyde de carbone serait défavorable à l'émergence de la Vie – ce qui pose un important problème : la présence de gaz carbonique est essentielle pour créer et maintenir un effet de serre suffisant sans lequel la température serait beaucoup plus basse, et il n'y aurait donc pas eu d'eau sous forme liquide sur la Terre. Pas de CO<sub>2</sub>, pas d'eau liquide ; mais l'eau liquide est essentielle à la chimie des molécules prébiotiques ! C'est un cercle vicieux... le débat reste ouvert.

### **Les interactions chimiques prébiotiques dans la soupe primitive**

Dans la soupe primitive, il devait y avoir énormément d'espèces moléculaires différentes. Certaines peuvent soit catalyser, soit inhiber les réactions chimiques. On est encore loin actuellement de comprendre toutes ces interactions. En laboratoire, on réalise des expériences sur des systèmes simples – simplifiés même –, et même dans ces conditions, les manipulations s'avèrent très complexes. Il faudra de toute évidence faire appel à la modélisation théorique pour mieux cerner la réalité.

### **La concentration des molécules prébiotiques (abiotiques) dans cette soupe primitive**

Le modèle initial de la chimie prébiotique s'accommode mal de l'extrême dilution des réactifs en milieu liquide. Cependant, G. Wachterhauser et A. G. Cairns-Smith ont récemment montré que l'adsorption et la polymérisation de différentes molécules organiques pouvaient se produire de façon efficaces sur des surfaces minérales ayant des propriétés catalytiques. Ils ont poussé plus loin encore leur théorie en proposant que les organismes vivants primitifs auraient été des molécules organiques autocatalytiques utilisant directement le gaz carbonique CO<sub>2</sub>, qui auraient tiré leur énergie de la pyrite (du sulfure naturel de fer FeS<sub>2</sub>) à laquelle elles se seraient attachées : ces molécules auraient formé un film organique à la surface de la pyrite ; elles proviendraient de la réduction du gaz carbonique par l'hydrogène sulfuré et le fer – qui dans la pyrite est dans un état réducteur. Bref, il y aurait donc eu une relation étroite entre l'apparition des molécules organiques primitives et la pyrite. Il est important de noter pour la suite que la pyrite est abondante dans les sources hydrothermales.

## **Le passage des molécules à la cellule : un pas de géant!**

Sans nécessairement percevoir toutes les étapes qui ont permis d'obtenir une cellule "moderne", nous sommes capables de fabriquer des membranes cellulaires simplifiées. C'est une étape essentielle pour séparer le contenu du contenant. Le contenu pouvant se stabiliser dans le temps pendant que l'environnement change. C'est primordial!

Pendant des millions d'années, des molécules organiques ont donc dû s'accumuler dans les mers, formant la soupe primitive. Le pas suivant dans l'évolution de la Vie – un véritable pas de géant – a été l'organisation de ces molécules en cellules capables de se répliquer et de transmettre une information génétique à leur descendance. **Comment les choses se sont passées reste un profond mystère.** Nous ne savons même pas comment elles ont commencé : **par la cellule, par les enzymes ou par les gènes ?**

### ***D'abord les cellules ?***

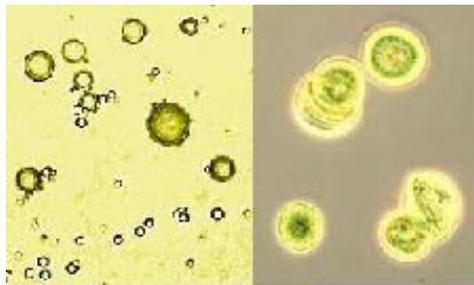
Oparine a émis l'hypothèse que la cellule était apparue la première, suivie des enzymes, et enfin des gènes. Il se fondait sur une analogie avec les coacervats, ces gouttelettes formées par certaines grosses molécules qui se regroupent spontanément dans l'eau sous certaines conditions. Pour Oparine, la Vie aurait commencé quand des populations complexes de molécules se seraient accumulées dans ces gouttelettes. Les enzymes seraient apparues ensuite, et auraient établi des cycles métaboliques à l'aide de ces molécules ; les gènes seraient apparus les derniers.

### ***D'abord les enzymes ?***

Récemment, Freeman Dyson, de l'Université de Princeton, a soutenu la théorie des « enzymes d'abord » : il est plus facile de synthétiser des acides aminés (les éléments de base des protéines et donc des enzymes) que des nucléotides (les éléments de base de l'ADN et de l'ARN) ; il est donc plausible que les protéines soient apparues les premières. Mais pour obtenir une enzyme, c'est à dire une protéine, il est nécessaire de disposer du gène possédant l'information qui gouverne sa synthèse.

### ***D'abord les gènes ?***

Dans les années 1970, une nouvelle théorie selon laquelle les gènes se seraient formés les premiers, a fait son apparition. Cette théorie est séduisante, car le caractère fondamental de la Vie est l'hérédité. Il semble néanmoins que les premières molécules porteuses d'informations aient été des molécules d'ARN, et non pas des molécules d'ADN.



*Coacervats à gauche et cyanobactéries à droite*

## Quelles sont les conditions initiales nécessaires à l'émergence de la Vie ?

Nous pouvons nous risquer à cet exercice sans trop de risque. Ceci montrera qu'il faut tout de même un nombre de conditions important. Ceci tend à prouver que cette émergence reste une chance et qu'il est assez normal que nous n'ayons pas eu la possibilité de trouver des formes de Vie ailleurs que sur Terre.

A l'opposé, nous verrons aussi que la Vie peut être extrémophile et donc se passer partiellement de certaines conditions.

On peut séparer les contraintes d'émergence en deux familles : les contraintes physiques et les contraintes chimiques.

Conditions Physiques	Conditions Chimiques
<p>Taille de la planète – gravité suffisante pour avoir une atmosphère.            Ni trop près, ni trop loin de l'étoile de son système – Trop ou trop peu de chaleur. (voir l'eau)            Système solaire d'une durée de vie suffisante – Etoile d'une durée de vie suffisante.            Rotation de la planète ni trop rapide, ni trop lente, éviter les chocs thermiques.            Axe de rotation bien orienté afin de proposer toute la surface de la Planète à la lumière de son étoile.            Pression atmosphérique suffisante fonction de la taille de la planète.            Un effet de serre équilibré, pas trop de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,...)</p> <p style="text-align: center;"><b>CONDITIONS PHYSIQUES STABLES DANS LA DUREE.</b></p> <p>...</p>	<p>Les réactions chimiques étant universelles et les propriétés des atomes étant les mêmes dans l'ensemble de l'Univers, il faut parier sur les mêmes substances de base.</p> <p><b>L'eau liquide est incontournable</b>            Le CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, les phosphates, les nitrates... sont des incontournables.            Des milieux stables en pression et en température (fonds des océans primordiaux pour assurer des réactions chimiques constantes et répétitives)            Des AA simples?            Des catalyseurs chimiques (chiraux) composés de roches particulières (zéolithes par exemple)</p> <p style="text-align: center;"><b>CONDITIONS CHIMIQUES STABLES DANS LA DUREE.</b></p> <p>...</p>

Ce tableau est loin d'être complet mais il reprend néanmoins les contraintes les plus importantes.

Si on prend le cas de Vénus qui ressemble fortement à la Terre, il y a trop de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère de celle-ci. Cela a provoqué un effet de serre dramatique qui conduit la surface de Vénus à une température de plus de 400°C. A cette température, la chimie ne permet pas de fabriquer des AA et encore moins des protéines. Par contre la synthèse de l'acide sulfurique, elle se porte bien. Il apparaît évident qu'à ces conditions, la Vie ne peut pas se développer.

Il faut noter que l'effet de serre reste essentiel sur Terre. Sans effet de serre, la température moyenne de la Terre serait de  $-10^{\circ}\text{C}$ . Ce qui pose problème actuellement, nous le savons, c'est son augmentation et sa variation trop rapide.

Si on prend le cas de Mars, il n'y a pas d'eau ou plutôt il n'y en a plus à l'état liquide, ce qui semble pourtant avoir été le cas par le passé. De plus la planète est trop petite pour maintenir une atmosphère suffisante au développement important de la Vie. Et on a beau penser à des scénarios qui permettraient de créer une atmosphère respirable sur Mars, cela reste de la Science-Fiction car Mars n'a pas une masse suffisante.

### **Quelques chiffres qui donnent le tournis...**

Notre système solaire possède dix planètes autour d'une étoile, le soleil, une seule porte la Vie, la Terre. Notre galaxie est composée de 100 milliards d'étoiles comme le soleil, de tous âges et de toutes tailles. On estime qu'il y aurait environ 100 milliards de galaxies comparables dans l'Univers. Cela nous donne au total  $10^{22}$  étoiles avec chacune un cortège de planètes puisqu'il semble que la formation d'un système solaire suit toujours le même schéma.

A la lumière de ce constat, pourrions nous admettre être sur la seule planète avec de la Vie même si beaucoup de contraintes sont nécessaires?

Il n'y a pas de réponse définitive à cette question tant que nous n'avons pas de preuves réelles même si le bon sens laisse tout de même de la place à l'optimisme. Maintenant les distances dans l'Univers sont telles qu'il nous sera de toute façon difficile physiquement d'entrer en "contact" avec cette vie extraterrestre quelque soit son degré d'évolution.

**Activité** Tapez "Equation de Drake" dans un moteur de recherche sur Internet.

### **La Vie extrêmophile**

Un autre argument en faveur d'une vie qui peut se passer de certaines contraintes et capable d'exister là où on ne l'attend pas, est la capacité de certains organismes à se maintenir en vie dans des conditions particulières :

- *Hermiimonas glaciei* est une bactérie retrouvée congelée à près de 3000 mètres de profondeur dans les glaces du Groenland. Celle-ci s'est réveillée en pleine forme après décongélation. Elles attendaient patiemment depuis environ 800000 ans.
- On a retrouvé des bactéries vivantes à la surface de balles de fusil après un tir et un impact rude sur une surface solide.
- Des bactéries ont survécu à la surface d'un engin spatial après un séjour dans l'espace.
- Certains organismes vivent à des pressions supérieures à 100 atm et à une température de 2 à 3°C dans l'eau sans lumière et sans oxygène à plus de 10000 m sous la surface des océans.
- On trouve des bactéries et des micro-organismes qui vivent dans des sources d'eaux chaudes (70°C), au Yellowstone par exemple à des pH très faibles (grande acidité) et sans oxygène.
- Des organismes plus évolués vivent dans des grottes sans lumière et sans accès aux plantes qui peut constituer une base pour l'alimentation.
- Des bactéries vivent et se développent dans des réacteurs nucléaires à l'arrêt en subissant pourtant un rayonnement  $\gamma$  2000 fois supérieur à la dose mortelle pour l'homme.
- ...

La découverte d'organismes extrêmophiles est pour le biologiste une preuve que la Vie peut émerger dans des conditions même particulières augmentant ainsi les chances de voir cette vie apparaître ailleurs.

Force est de constater que ces vies extrêmophiles sont souvent simples (organismes unicellulaires). En effet plus les formes de vie sont complexes (mammifères par exemple) plus elles sont tributaires des contraintes citées et sensibles à leurs variations. L'espèce humaine et ses sociétés modernes complexes ferait mieux de méditer la-dessus.

## Une brève histoire du temps et de la Vie

Sans vouloir paraphraser Stephen Hawking qui nous explique le modèle standard de la naissance de l'Univers dans son célèbre ouvrage "Une brève Histoire du Temps", nous allons dresser ici une ligne du temps relativement simplifiée des principaux événements cosmologiques, de l'émergence de la Vie et de son évolution.

Principaux jalons

Epoque	Evénements	Observations
-13,7 milliards d'années	Big Bang	Création de la matière – Modèle standard d'expansion
-13,4 milliards d'années	Naissance des premières galaxies	Les premières étoiles existent déjà, la gravité permet de construire de grands amas d'étoiles que sont les galaxies. Ce phénomène est observé presque en direct grâce à Hubble
-13,7 milliards à -5 milliards d'années	Refroidissement de l'Univers	Il a toujours lieu maintenant et il se ralentit car il approche le zéro absolu
- 5 milliards d'années	Naissance du système solaire	Les gaz d'une nébuleuse gazeuse se condensent grâce à la gravité
-4,5 milliards d'années	Apparition des protoplanètes	Naissance de la Terre par gravité - "allumage" – fusion nucléaire du soleil grâce à une masse suffisante.
-4,03 milliards	Roches les plus anciennes	Roches retrouvées dans le continent australien. (rare)
- 4 milliards d'années	Naissance des océans primitifs	La terre se refroidit. Le volcanisme et les météorites sont encore très présents. L'atmosphère fabrique l'eau liquide. Atmosphère réductrice.
- 3,8 milliards d'années (?)	Premières formes élémentaires de Vie	Dans la soupe primitive (fonds des océans),

		structures stables qui ressemblent à des cellules très simplifiées.
Pendant plus de deux milliards d'années	Activités de Cyanobactéries et algues bleues (PROCARYOTES)	Organismes <b>autotrophes</b> assurent d'abord la fermentation puis la <b>photosynthèse</b> – production d'oxygène atmosphérique. L'activité des météorites diminue ainsi que le volcanisme.
-1,4 milliards d'années	Premiers EUCARYOTES	Cellules plus complexes laissant entrevoir l'émergence des <b>hétérotrophes</b> – Invention de la <b>respiration</b>
- 800 millions d'années	Organisme pluricellulaire Reproduction sexuée	Cette invention favorise l'évolution et la richesse du génome.
-600 millions d'années	Explosion Cambrienne – Primaire	Faune d'Ediacara et de Burgess, de nombreuses formes de vie marines parfois étonnantes
-470 millions d'années	Apparition des poissons (Ordovicien et Silurien)	Apparition des poissons à cartilages et puis osseux.
-420 millions d'années	On sort de l'eau - Silurien	Les plantes aériennes ont fait le pas d'abord suivit d'amphibiens poissons; (Etape difficile d'adaptation)
- 400 millions d'années	Premiers insectes	Variétés de forme et surtout de taille
-350 millions d'années	Développement des gymnospermes	Carbonifère Développement des conifères (plantes sans fleurs), développement des reptiles
- 300 millions d'années	Apparition des dinosaures – Permien	Invention de la bipédie pour certains reptiles, ossature plus légère
- 300 millions d'années à - 65 millions d'années	Développement des nombreuses formes de dinosaures et développement discret des mammifères -Secondaire – Trias, Jurassique, Crétacé	Les dinosaures dominent les terres et les océans pendant plus de 180 millions d'années pendant que les mammifères se font discrets.
- 130 millions d'années	Apparition des plantes à fleurs	Apparition des angiospermes

-65 millions d'années	Extinction des dinosaures	Episode d'extinction massive. Ce n'est pas le seul (voir document) – La place est libre pour les mammifères.
-10 millions d'années (?)	Ancêtre commun - Tertiaire	Emergence de la lignées DES hominidés en Afrique
Aujourd'hui	Nouvelle extinction massive d'origine anthropique - Quaternaire	Essayons de faire en sorte qu'une autre espèce vivante ne puisse pas écrire ces lignes à notre place dans le futur.

### Les extinctions massives

Cela n'a pas toujours été rose. **A plusieurs reprises, la Vie a bien failli y passer.** Il est même probable que dans les premiers temps, c'est-à-dire, il y a 3,5 milliards d'années, celle-ci s'y est prise à plusieurs fois pour se stabiliser.

En effet, volcanisme important, atmosphère instable, météorisme important, n'oublions pas que le système solaire est encore en formation. Les masses s'attirent et des cataclysmes de collisions gigantesques ont lieu. Ces phénomènes se sont calmés progressivement mais des épisodes ont encore eu lieu durant les temps géologiques plus récents.

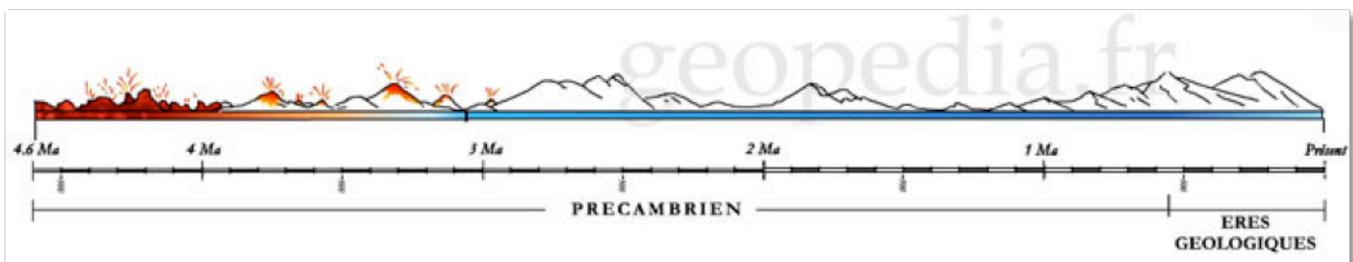
Ajoutez à cela, des modifications astronomiques déclenchant des glaciations, des trapps géologiques, probablement des maladies à virus pour certaines espèces aux conséquences dramatiques... Ces virus sont aussi apparus très tôt dans l'histoire de la Vie et à côté de conséquences négatives, ils ont lourdement contribué à l'évolution positive de la vie. Nous avons listé ainsi de nombreuses causes possibles aux extinctions massives.

*Quelles sont les extinctions massives connues?*

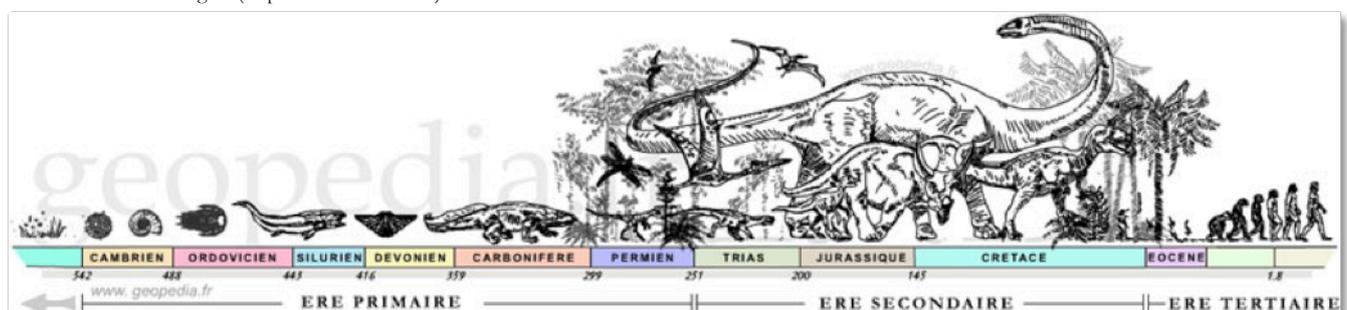
**Activité :** Tentez d'interpréter l'ensemble des tracés (graphiques) présents sur le document de synthèse.

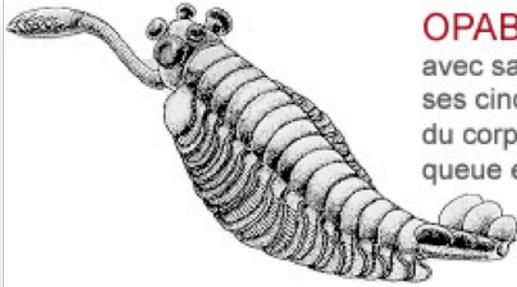
- Combien d'extinctions massives sont connues et à quelles époques ont-elles eu lieu?
- A quel phénomène peut-on les associer?

### Les temps géologiques



Faune de Burgess (Explosion Cambrienne)





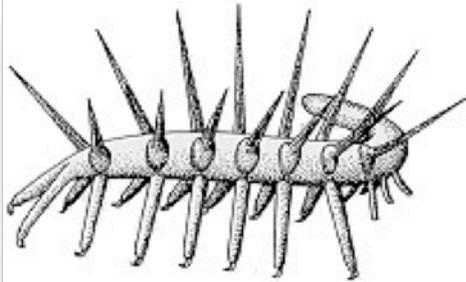
### OPABINA

avec sa trompe frontale terminée par une pince, ses cinq yeux sur le dessus de la tête, des segments du corps portant des branchies sur le dessus et une queue en trois segments. (Longueur : 4,3 à 7 cm)

#### **Opabina – 550 millions d’années**

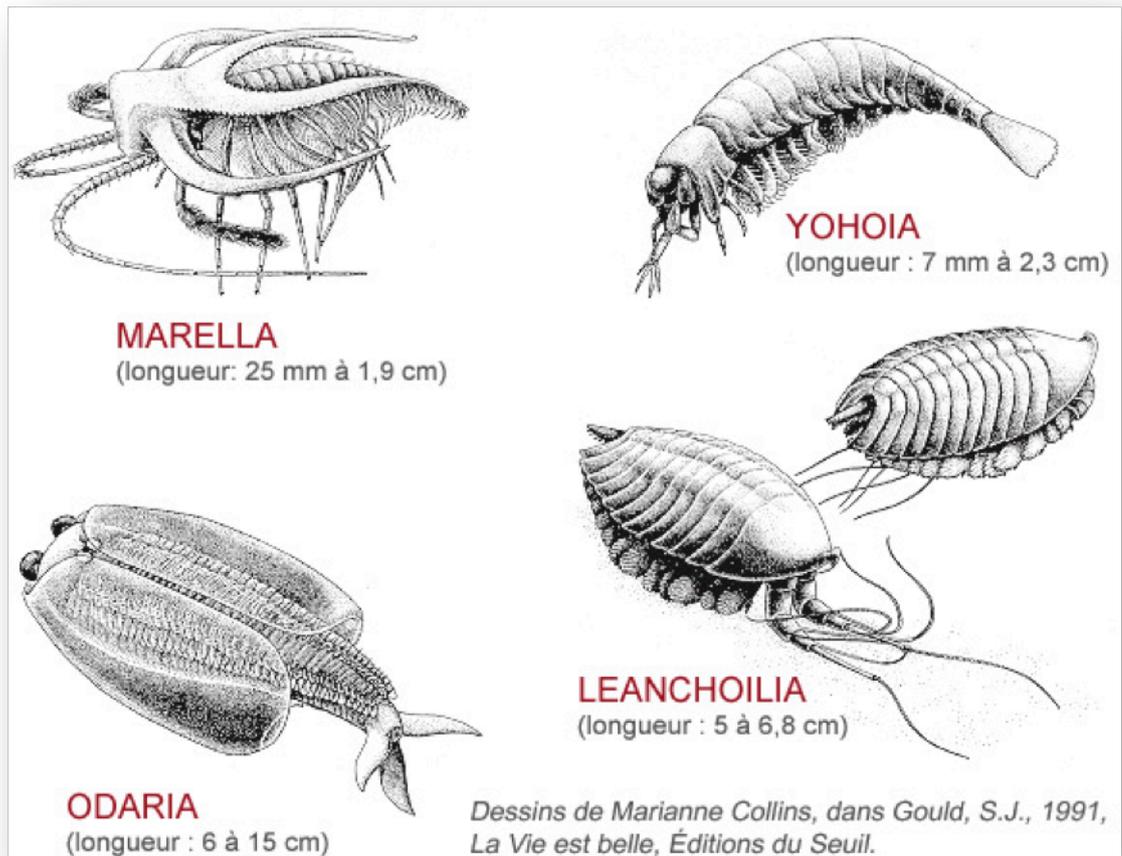
(découvert dans les années 1920, fossiles dans les Schistes de Burgess, Canada)

Hallucigenia – 550 millions d’années (découvert en Chine, 1990)



### HALLUCIGENIA

tel que représenté par Ramsköld (1992). Un animal se déplaçant sur des pattes flexibles et non des béquilles rigides, par paires, avec sur le dos des épines, aussi par paires



D'autres variétés de Chordés et d'Anélidés retrouvés dans les mêmes gisements fossilifères du Cambrien (Faune de Burgess et d'Ediacara). C'est difficile d'admettre que nous avons un ancêtre dans ces organismes. Et pourtant...

Tiens, parlons en maintenant de l'évolution.

# Théories de l'Evolution

Aussi "loin" que l'on puisse regarder dans le passé de la Terre, on constate que les formes de Vie actuelles ne sont pas souvent celles du passé. Il y a eu des apparitions, des disparitions explicables ou non et les paléontologues ont toujours tenté de trouver des liens entre ces différentes formes de Vie. Il y a une constance, c'est la recherche constante d'une complexité de plus en plus importante, gâche de réussite dans la vie d'une espèce.

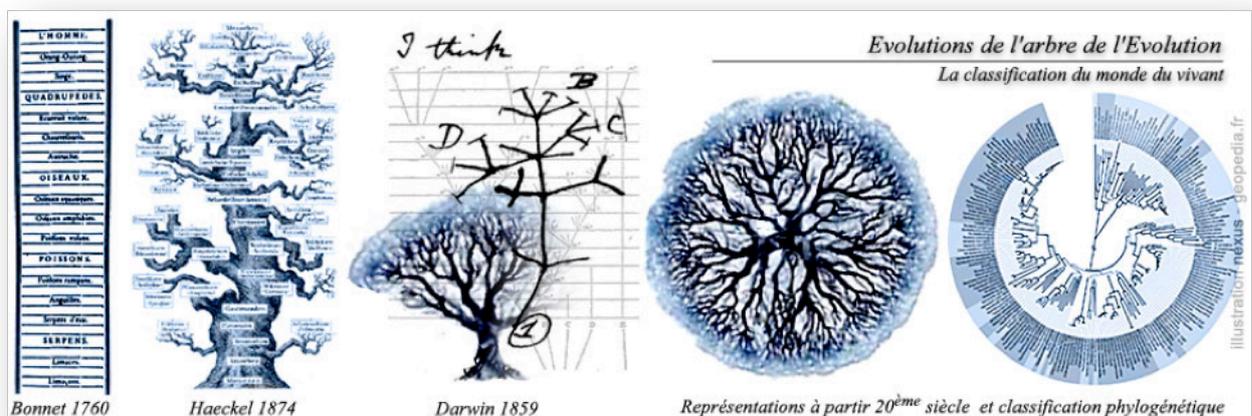
## D'où vient l'idée de l'évolution?

C'est un long cheminement qui est passé par des étapes préliminaires importantes dans l'histoire des sciences. Il est difficile de les évoquer en détail mais nous retiendrons les fondements suivants :

- Classification des espèces actuelles ou fossiles sur base d'une série de critères morphologiques, géologiques (datation absolue ou relative), paléontologiques. On ajouterait à notre époque les liens phylogénétiques (comparaison de l'ADN)

En effet, si deux fossiles datant de périodes comparables même si géographiquement éloignés partagent des critères de forme proches et que leur environnement de vie (perçu dans les roches) est comparable, on a tout lieu de penser que ces deux individus appartiennent sans doute à la même espèce ou à des espèces proches. (variation)

- les classifications se sont opérées dans le temps également : les paléontologues, biologiste du 18<sup>ème</sup> siècle ont étudié des caractères morphologiques qui sont subitement apparues pour des individus semblant pour le reste comparables mais issus de couches géologiques d'époques différentes. Ils ont également souligné la disparition de certains caractères morphologiques dans le temps.
- On a constaté que 99% des espèces identifiées ou non sont disparues de nos jours depuis la nuit des temps. Le pourcent restant représente toutes les espèces actuelles.



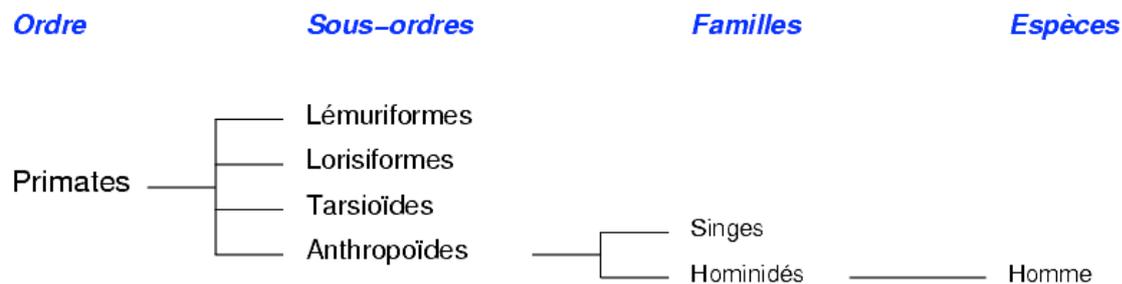
Il y a donc changement évident au fil du temps.

Différentes formes de classification dans lesquelles, on perçoit la notion de changement dans la durée, idée difficile à défendre jusqu'au 18ème siècle tant le poids de l'Eglise est important.

Plus une espèce partage des critères morphologiques en ayant vécu en des temps géologiques comparables ou partageant pour des espèces actuelles un ADN proche, plus ces espèces sont proches dans l'arbre de l'évolution. Dans les représentations récentes à droite, deux espèces actuelles proches sont voisines dans l'arbre à la surface de celui-ci et si on descend à l'intérieur de l'arbre, on retrouve dans le passé pour découvrir rapidement un ancêtre commun à ces deux espèces. Autrement dit, plus l'ancêtre commun est lointain, plus ces deux espèces sont lointaines.

**Activité** : Comment définir une espèce vivante? Ce n'est pas une question si simple.

**Prenons un exemple limité – La situation des primates actuels**



Chez les singes anthropoïdes “voisins” de l’Homme, on retrouve le chimpanzé, le singe bonobo, l’Orang-Outan, le Gorille. Nous devons avoir un ancêtre commun relativement proche (environ 10 millions d’années)

Par contre, les lémuriens qui sont aussi des primates, ont des différences morphologiques plus importantes et un patrimoine génétique divergent. Nous devons rechercher un ancêtre commun beaucoup plus lointain (environ 35 millions d’années)

Pour rappel, comment classe-t-on les espèces ? (l’exemple du Chat)

Classification	Exemple
<b>Règne</b>	Animal
<b>Embranchement</b>	Chordés
<b>Classe</b>	Mammifères
<b>Ordre</b>	Carnivores
<b>Famille</b>	Félins ( <i>Felidae</i> )
<b>Genre</b>	<i>Felis</i>
<b>Espèce</b>	Chat domestique ( <i>Felis catus</i> )

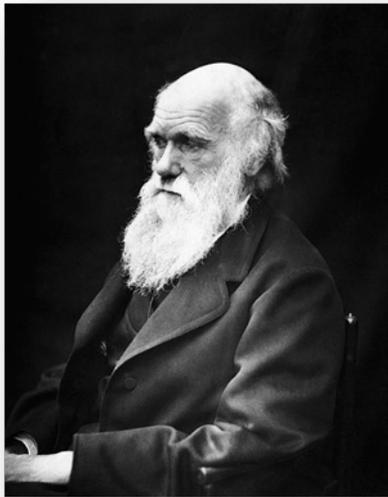
**Activité** : Quelle sera cette grille pour l’Homme?

Grâce à ces différents travaux de classification opérés aux 17ème et 18ème siècle, Jean-Baptiste Lamarck et ensuite Charles Darwin ont perçu l’opportunité de l’idée même du changement et de l’évolution avec l’existence de **l’ancêtre commun**.

## Fondements de la théorie de l'évolution de Darwin

Pour des raisons de concision, nous allons parcourir les idées de Darwin en snobant malheureusement les développements antérieurs. Charles Darwin en publiant en 1859 la première édition de "**De l'Origine des espèces par la sélection naturelle ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie** » a signé ainsi l'aboutissement d'un travail de réflexion et de rassemblement de centaines d'observations depuis son périple autour de la Terre à bord du Beagle de 1831 à 1836. Plusieurs éditions de son oeuvre d'origine furent publiées afin d'affiner certaines réflexions. L'accueil fut excellent dans la Communauté Scientifique, un peu moins dans la société en général. Il faut dire que Darwin soulevait d'un coup la mise en doute de principes fondamentaux comme l'Homme fait à l'image de son Créateur...

### Quels sont les piliers de sa théorie ?



- **Toutes les espèces ont un ancêtre commun** : C'est l'idée forte de Darwin. En accumulant les observations soulignant des parentés entre espèces, il dessine un arbre généalogique de la Vie qui prend racine dans un passé lointain. Si les fossiles conservés dans les roches font croire que des espèces apparaissent soudainement, c'est tout simplement parce que des séries de fossiles sont incomplètes. Cette affirmation est mal reçue, à une époque où Dieu est à l'origine de tout et où les hommes sont apparentés dès lors aux singes. **Ce pilier de l'ancêtre commun est devenu incontestable aujourd'hui.**
- **Au fil des générations, de lentes variations sont à l'origine des espèces** : Reprenant les idées de transformisme de Buffon (1707-1788) de Lamarck (1744-1829)
- **La sélection naturelle favorise les formes les mieux adaptées** : L'idée est inspirée de la pensée de l'économiste britannique Malthus qui s'inquiétait de voir la démographie progresser plus vite que les ressources exploitables. Voici ce qu'en tire Darwin " Comme il naît beaucoup plus d'individus de chaque espèce qu'il ne peut en survivre; comme en conséquence, la lutte pour l'existence se renouvelle à chaque instant, il s'ensuit que tout être qui varie quelque peu que ce soit de façon à lui être profitable a une plus grande chance de survivre. C'est être ainsi l'objet de la sélection naturelle. En vertu du principe si puissant de l'hérédité, toute variété favorisée tendra à propager sa nouvelle forme modifiée. **La sélection naturelle est le moteur de l'évolution.**

•

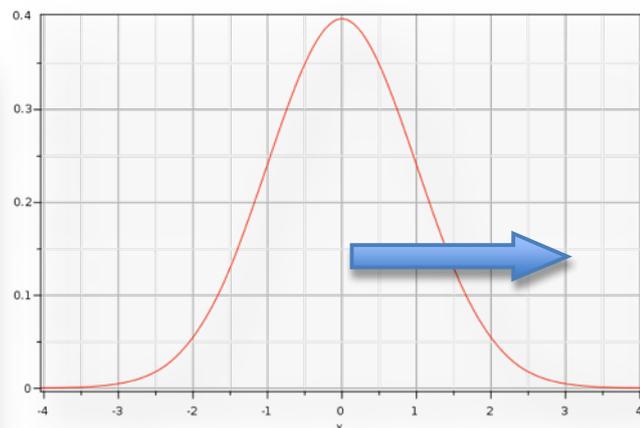
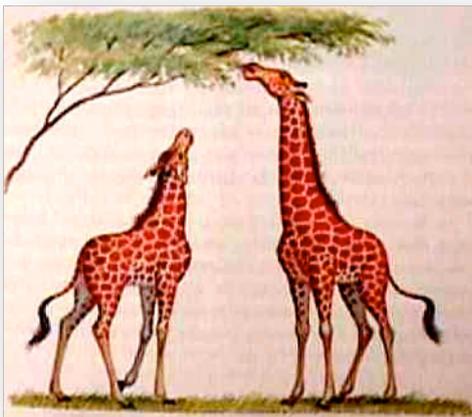
### Ce que Darwin ignorait...

- **Darwin ignorait les lois qui gouvernent l'hérédité**, ignorant par la même l'existence des gènes. L'étude de la filiation des espèces était selon lui incomplète. Il avait là une très bonne intuition.
- **Darwin ignorait également comment définir correctement une espèce**. Les définitions des naturalistes de l'époque ne lui convenait pas. Seuls les critères morphologiques étaient utilisés. Pour lui c'était insuffisant.
- Pour Darwin, les évolutions étaient très graduelles, à tel point **qu'il avait du mal à justifier l'absence de formes intermédiaires dans certains cas**. Dans l'évolution de sa théorie, au travers du néodarwinisme, des théoriciens évolutionnistes comme SJ Gould propose la théorie des équilibres ponctués dans laquelle on peut voir des sauts évolutifs très nets en alternance avec de longues périodes sans évolution. Ce qui pourrait expliquer l'absence de certaines formes dans les fossiles.
- **Pour Darwin la sélection naturelle ne vise que l'individu et sa descendance**. Il ignorait que celle-ci pouvait agir à d'autres échelles.

### Comment fonctionne le moteur de l'évolution, LA SELECTION NATURELLE ?

Prenons une situation simplifiée:

Nous sommes dans la Savane africaine, depuis quelques saisons déjà, les précipitations sont plus faibles et les saisons sèches plus chaudes. Toutes les espèces végétales et animales souffrent. Dans la population des girafes, il y a naturellement toute les tailles de coup, du jeune jusqu'à l'adulte, des femelles aux mâles et une variation dans la taille entre les individus bien naturelle. La répartition naturelle des tailles suit une distribution normale dite de Gauss autour de la valeur moyenne de la taille. En effet, il y a peu d'individus petits et peu d'individus plus grand que la moyenne.



La sécheresse a rendu la nourriture moins disponible, toutes les jeunes pousses au sol et à mi-hauteur sont mangées. Seules restent des pousses d'accacia à une hauteur accessible uniquement aux grandes girafes. Celles-ci continuent à se nourrir pendant que les girafes plus petites dépérissent, meurent et donc ne pourront avoir de descendance.

Les grandes girafes vont être capables de passer la mauvaise saison et pourront transmettre leur caractéristique de grande taille (variation génétique) à la génération suivante. **Dès lors la population globale des girafes va grandir car une caractéristique a été favorisée par la sélection naturelle.** La courbe de Gauss des tailles voit sa moyenne se déplacer vers la droite.

**C'est donc la survie des individus les plus adaptés qui est la règle.**

**Quel est le détonateur de la sélection naturelle?**

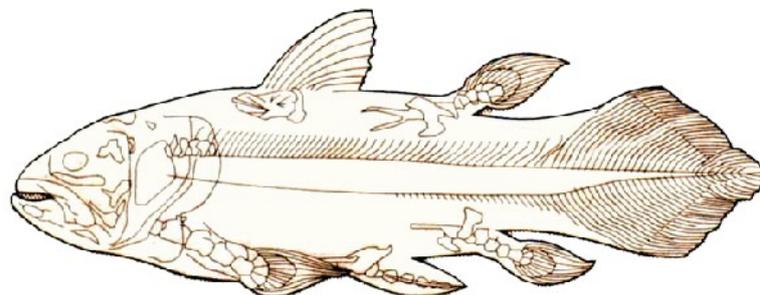
Pour que l'évolution se manifeste, il faut que la sélection naturelle agisse mais pour que celle-ci soit efficace il faut des éléments déclencheurs :

- **Changements climatiques;**
- **Prédations;**
- **Compétitions diverses entre espèces;**
- **Ressources alimentaires et autres limitées;**
- **Maladies;**
- **Influences anthropiques. (influence de l'homme sur l'environnement)**
- ...

Tous ces éléments déclencheurs sont en fait des **pressions** de l'environnement. Sous pression les espèces sont susceptibles d'évoluer plus rapidement.

Ce qui tend à prouver ce dernier argument, c'est qu'il existe dans notre environnement des espèces qui n'ont pas changé depuis parfois des millions d'années. Sans doute parce qu'elles vivent dans des milieux stables, plaines abyssales par exemple, et qu'elles sont hyperadaptées à leur environnement de vie. On citera :

- Beaucoup de requins sont retrouvés identiques en tant que fossiles de plus de 300 millions d'années;
- Le **coelacanthe** trouvé au large des Comores dans l'océan Indien apparaît à bien des égards comme un véritable fossile vivant inchangé depuis plus de 400 millions d'années.



Ce sont des exceptions qui vont tout de même confirmer la règle de l'évolution comme une lame de fond partagée par l'ensemble du monde vivant à partir d'un milieu de vie qui crée de nombreuses pressions.

**Activité :** *Que penser de l'évolution pour l'espèce humaine actuellement?*  
(arguments pour et/ou contre l'évolution actuelle)

# La spéciation

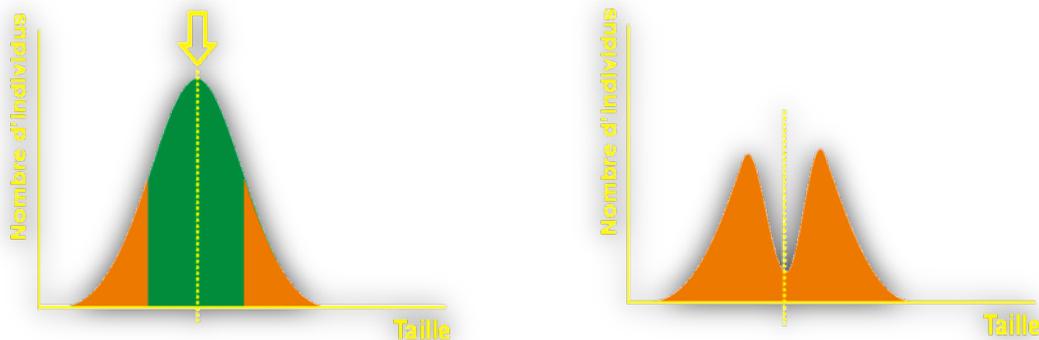
L'apparition d'une nouvelle espèce est tributaire du mécanisme d'évolution et de l'existence du processus sous-jacent de sélection naturelle.

Même si définir une espèce n'est pas aisé, cela reste tout de même la faculté de procréer et d'obtenir une descendance fertile qui définit que deux êtres appartiennent à la même espèce.

A la lecture de cet argument, il n'y aurait qu'une espèce d'hommes sur Terre. Ce qui est la vérité et ce qui n'a pas toujours été le cas...

Quels sont les facteurs qui favorisent l'émergence d'une espèce sujette au principe de l'évolution?

- *Les barrières géographiques* (formation du relief, dérives continentales, glaciers, déserts, lacs isolés...)
- *Isolements écologiques* (une espèce préfère un type d'environnement pour vivre)
- *Isolements éthologiques* (comportements différents)
- *Isolement gamétique*
- *Isolement génétique* (mutation génétique ne permettant plus le croisement)
- *Isolement mécanique* (Appareil reproducteur trop différent)



La sélection diversifiante mène à la spéciation en favorisant deux populations aux caractéristiques différentes. Ajoutons l'isolement géographique ou écologique à ces deux nouvelles populations et nous avons le terreau pour faire apparaître **deux nouvelles espèces**.

Si le vingtième siècle a vu s'asseoir définitivement les fondements de la Théorie darwinienne de l'évolution, cette dernière s'est vue essentiellement complétée par les apports de la Génétique, de la Biologie moléculaire et la statistique des population. **C'est le néodarwinisme.**

La connaissance des gènes a permis notamment d'introduire l'idée **des mutations génétiques**, idée totalement étrangère à Darwin. Ces mutations introduisent avec violence **le hasard dans l'évolution**. Autrement dit, pour que l'évolution se manifeste, il faut une pression environnementale pour différencier deux individus mais il faut qu'un des deux individus propose un avantage obtenu par mutation **aléatoire**.

**Il y a trois situations possibles pour les mutations** : L'une neutre, la mutation n'apporte rien, un second dans lequel la mutation est défavorable à l'opposé de l'effet escompté, ceci n'affecte que l'individu qui en souffre, soit elle est positive et l'individu est favorisé par rapport aux autres.

Le hasard revient en force dans les mutations et ne peut être visible que si l'environnement provoque une pression sur les individus d'une espèce.

C'est actuellement la vision retenue comme **théorie synthétique de l'évolution ou néodarwinisme**

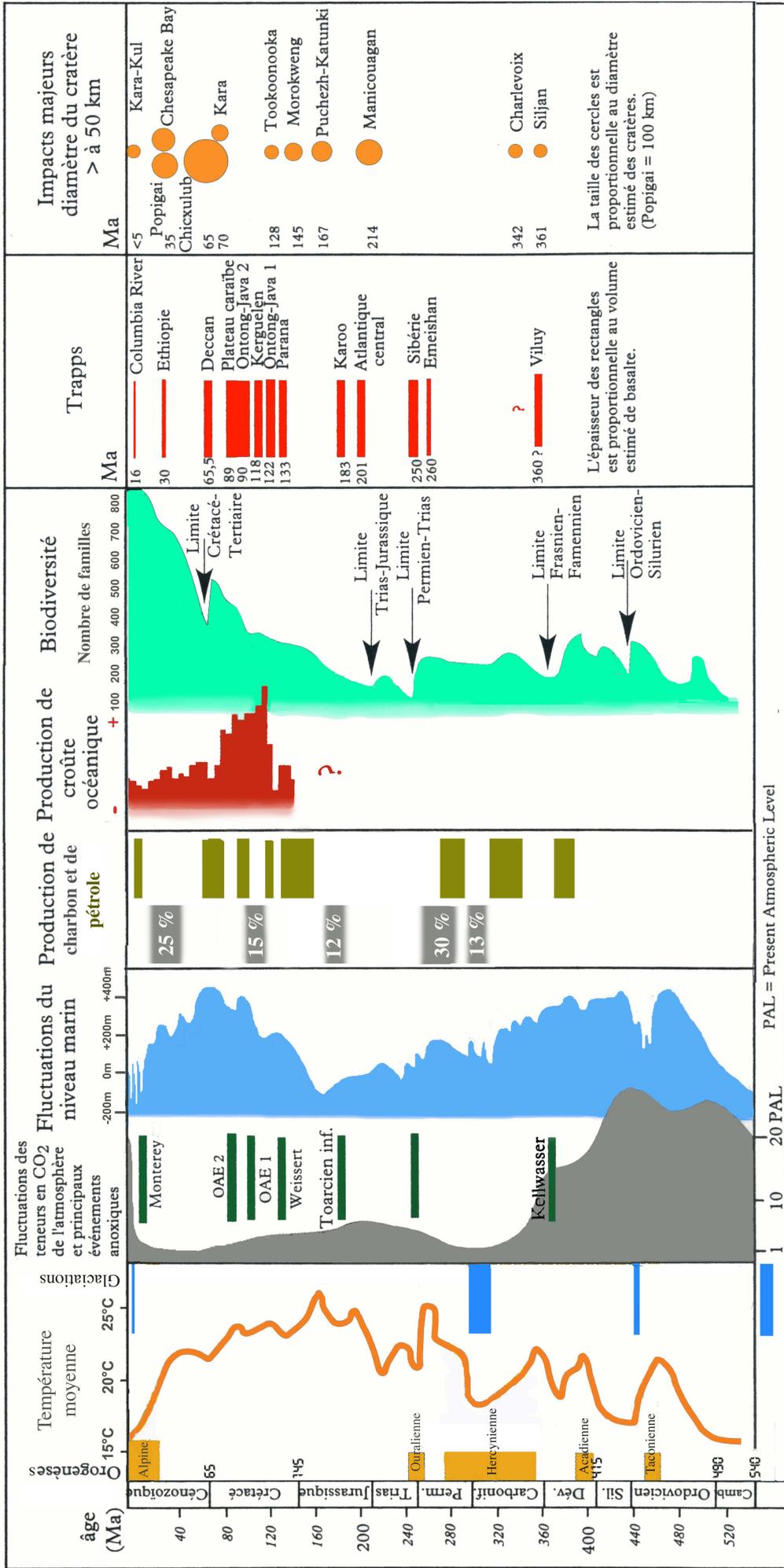
Certains se sont opposés à cette idée et pense plutôt que c'est l'environnement qui provoque directement les mutations qui seraient absentes si il n'y avait pas de pression de ce dernier. JS Gould, A.Weismann, E.Mayr sont des partisans de cette dernière idée qui tient plus de Lamarck.

C'est l'environnement qui crée la fonction. A l'heure actuelle aucun mécanisme biochimique ou chimique n'a permis de constater un changement dans les gènes de cette manière. Ce dernier courant est appelé **néo-lamarckien** par opposition au **néo-darwinien**.

Un exemple bien connu et célèbre de pression de l'environnement : **le mélanisme industriel**



*« J'ose espérer que ce petit voyage dans l'évolution de la Vie  
n'était point trop fatigant mais mes six pattes d'insecte ne me conduiront pas plus loin... »*



PAL = Present Atmospheric Level

20 PAL

10

1

540

520

480

440

400

360

320

280

240

200

160

120

80

40

<5

35

65

70

128

145

167

214

342

361

360 ?

183

201

250

260

65,5

89

90

118

122

133

16

30