

Les conditions physico-chimiques de la vie sur Terre



Sciences de la vie et de la Terre
M. Jalenques
2nde B
Avril 2010

Bezerra Amanda
Michel Camille
Paternina Joshua

Sommaire



	PAGE
INTRODUCTION	3
I. les conditions physiques de la vie sur Terre	6
1. Les étoiles	6
2. La gravité	6
3. La distance par rapport au Soleil	7
4. Conditions Universelles	9
II. Les conditions chimiques de la vie sur Terre	12
1. Les étoiles	12
2. La vie cellulaire	13
3. Les besoins chimiques et moléculaires	14
4. Les besoins physiologiques	16
5. Les conditions environnementales favorables à la vie	17
6. Les environnements propices à l'émergence de la vie	17
III. L'évolution	20
1. Définition	20
2. Origines et déroulement	20
3. L'origine des espèces et l'évolution de la diversité	26
IV. La biodiversité face à la menace de l'homme	28
1. Surpopulation	28
2. Les sociétés humaines	29
3. Des tentatives de solutions	30
Conclusion	31
Bibliographie	34



INTRODUCTION

Notre Terre est âgée de quelque 4,5 milliards d'années. Trois cents millions d'années environ après sa formation, sa surface était déjà recouverte de proto-continent et d'océans. Des océans primitifs au sein desquels la vie se développa : une vie chimique, sous la forme d'automates (agencement de molécules) capables de se reproduire et d'évoluer ; en d'autres termes, d'augmenter en nombre, en complexité et en diversité.

Au sein de sédiments terrestres situés en eau peu profonde, au Groenland (à Isua et Akilia), en Australie (dans la ceinture de roches vertes de Pilbara) et en Afrique du Sud (dans la ceinture de roches vertes de Barbeton), furent découverts les fossiles des automates les plus anciens. Les sédiments d'Isua et Akilia, datés de 3,8 milliards d'années avant notre ère, témoignent ainsi de la présence permanente d'eau liquide et de gaz carbonique dans l'atmosphère, et renferment des kérogènes - ces molécules organiques complexes dont l'enrichissement en carbone 12 s'expliquerait par l'origine biologique des sédiments en question. Les sédiments australiens, datés de 3,4 milliards d'années, témoignent quant à eux d'une vie microbienne diversifiée - onze variétés différentes ont en effet été détectées -, voire photosynthétique. Dans des dépôts de jaspe formés à quelque mille mètres de profondeur furent enfin retrouvés des fossiles vieux de 3,2 milliards d'années. Sans doute constituent-ils les vestiges de bactéries thermophiles ayant vécu à proximité de sources hydrothermales, à des températures comprises entre 30 et 80°C, des bactéries anaérobies tirant leur énergie et les éléments nutritifs nécessaires à leur survie des composés chimiques (oligoéléments) présents dans le fluide hydrothermal.

Afin de mieux comprendre les différentes conditions physico-chimiques nécessaires à l'apparition de toute forme de vie, il apparaît évident qu'il faut savoir ce qu'est exactement la vie. Mais définir la vie n'est pas une tâche facile. Les définitions de la vie auxquelles on est parvenu sont nombreuses et arbitraires. Aucune n'est probablement satisfaisante car, quel que soit le critère utilisé, on trouve toujours des structures ou des systèmes dans la nature pour lesquels la classification vivant/non-vivant est problématique ou incertaine. En générale, on finit par définir la vie par ses propriétés. On pourrait distinguer deux groupes majeurs de définitions du terme "vie" :



- L'un fait remarquer les propriétés d'autoréplication et d'évolution. Ainsi, on a la définition adoptée officiellement par la NASA : La vie est un système chimique auto-entretenu capable d'évolution darwinienne.

- L'autre, plus "cellulaire", attribue les propriétés d'autoréplication et évolution à une structure confinée et capable de réaliser du métabolisme. Ainsi, selon P. L. Luisi : La forme de vie minimale est un système circonscrit par un compartiment semi-perméable de sa propre fabrication et qui s'auto-entretient en produisant ses propres éléments constitutifs par la transformation de l'énergie et des nutriments extérieurs à l'aide de ses propres mécanismes de production.

Certaines argiles et certains virus informatiques pourraient être considérés vivants si on considère strictement la première définition. Un exemple problématique correspond aux virus biologiques qui, par leur caractère parasite obligatoire, ne s'accommodent à aucune de ces définitions. En tout cas, même si leur position reste incertaine à la frontière du vivant, leur présence témoigne de l'existence d'une vie cellulaire de laquelle les virus dépendent absolument.

Du point de vue de la biologie, l'habitabilité pourrait se définir comme l'existence des conditions physiques et chimiques nécessaires, mais aussi suffisantes, pour que la vie puisse se développer dans un environnement donné. Connaître ces conditions requiert à son tour définir la vie, afin de pouvoir reconnaître les êtres vivants, établir leurs propriétés communes et déduire quelles sont donc les conditions essentielles pour leur existence.



I. Les conditions physiques de la vie sur Terre

Si les planètes et les étoiles peuvent exister, c'est d'abord grâce aux lois physiques de notre univers, ainsi qu'au "bon dosage" de ses composants. Un équilibre entre les composants chimiques et les lois physiques est donc nécessaire à la vie, tel que le trop lointain et le trop proche du soleil, l'étoile de notre galaxie qui implique l'existence d'une zone tempérée entre les extrêmes et entre le trop chaud et le trop froid. La masse de la planète détermine la composition de l'atmosphère elle ne doit pas être trop massive ni le trop légère.

1. Les étoiles

Les étoiles sont des astres qui naissent, vivent et meurent, et certaines d'entre elles ont une vie très mouvementée et très courte. Or les biologistes estiment que la vie ne peut apparaître qu'au sein d'environnements relativement stables sur des périodes de temps très longues, de quelques centaines de millions d'années.

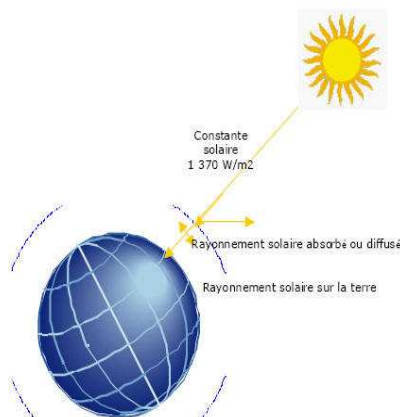
2. La gravité

La gravité sélectionne les atomes retenus sur la planète, et ceux qui peuvent s'échapper vers l'espace. Si la planète est trop massive, elle retient intégralement les gaz les plus légers comme l'hydrogène et l'hélium, ce qui crée une atmosphère à base de méthane ou d'ammoniac, comme sur Jupiter, Saturne, Uranus ou Neptune. Si la planète n'est pas assez massive, elle laisse échapper l'hydrogène mais aussi les gaz plus lourds indispensables à la vie comme l'oxygène, ainsi que l'eau qui va s'évaporer dans l'espace. Des planètes dépourvues d'atmosphère sont exposées sans protection à la radioactivité solaire, aux ultra-violets, ainsi qu'au bombardement des météorites. Dans le système solaire, Mercure est un exemple de ce type de planète.

3. La distance par rapport au soleil



La distance par rapport à l'étoile détermine la quantité reçue de rayonnement solaire. Elle conditionne donc: La température, qui détermine la présence ou non d'eau liquide, indispensable pour le développement de la vie :



Shéma du rayonnement solaire sur la Terre

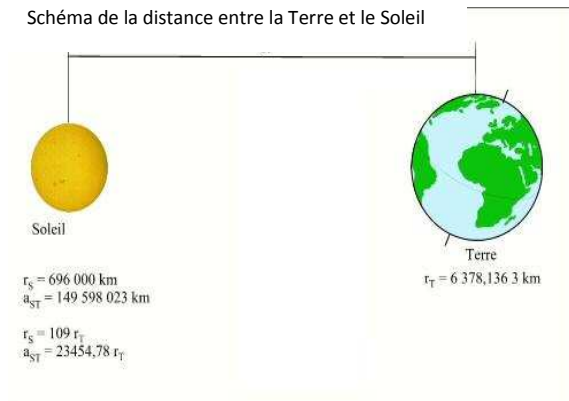
-Si la Terre avait été plus près du Soleil de 4%, son sort aurait été celui de Vénus: une fournaise.

-Si elle avait été plus éloignée de 1 ou 2%, sa destinée aurait été celle de Mars, une planète glacée. La bande d'espace favorable à la vie autour d'une étoile est donc relativement étroite.

La température de surface d'une planète dépend directement du flux solaire reçu. Plus la planète est éloignée de son étoile, moins elle recevra d'énergie, et plus elle sera froide. Pour calculer la température régnant au sol, il faut cependant tenir compte d'un autre paramètre : le flux de chaleur perdu dans l'espace par le rayonnement thermique

de la planète. Comme tout corps chauffé, une planète rayonne dans l'infrarouge, et disperse ainsi une partie de sa chaleur. Or le rayonnement infrarouge peut-être atténué par des gaz à effets de serre comme le dioxyde de carbone (CO₂) ou le méthane (CH₄). Ces molécules sont capables d'absorber le rayonnement infrarouge et d'empêcher ainsi sa fuite dans l'espace : ils contribuent donc à réchauffer la planète, qui sans eux serait beaucoup plus froide. Une planète évoluant à la frontière froide de la zone d'habitabilité peut donc parfaitement offrir des conditions très clémentes si elle possède une atmosphère riche en gaz à effets de serre. L'englacement d'une planète peut jouer le rôle contraire. Si une planète est presque entièrement recouverte de glaciers, elle réfléchira une grande quantité de rayons solaires dans l'espace. Une planète en train de se refroidir peut donc devenir de plus en plus défavorable à l'apparition de vie, si son eau se transforme en glace et que cette glace renvoie de plus en plus de rayons solaires vers l'espace. Pour l'apparition de la vie, il est également préférable qu'une planète possède une orbite circulaire, de manière à ne pas subir des variations importantes de l'énergie reçue du soleil.

Schéma de la distance entre la Terre et le Soleil





Jusqu'à présent, nous avons relié la distance par rapport au soleil aux températures de surface, relation qui semble légitime étant donné que la majorité des êtres vivants sur Terre vivent à proximité de la surface. Depuis quelques décennies, les biologistes ne cessent cependant de découvrir des microorganismes vivants à grande profondeur, que ce soit au fond des océans ou au sein de la croûte continentale. Dans ces régions obscures et inhospitalières, la principale source d'énergie n'est plus le soleil, mais la chaleur apportée par des poches de magmas. Pour ces microorganismes, les conditions régnantes en surface n'ont aucune espèce d'importance : il leur suffit que la planète sur laquelle ils vivent possède une taille suffisante pour acquérir et conserver une activité géologique sur une période de temps très importante. La taille d'une planète n'ayant pas de rapport avec sa distance à l'étoile centrale, ce concept perd ici une bonne partie de sa signification.

4. Conditions Universelles

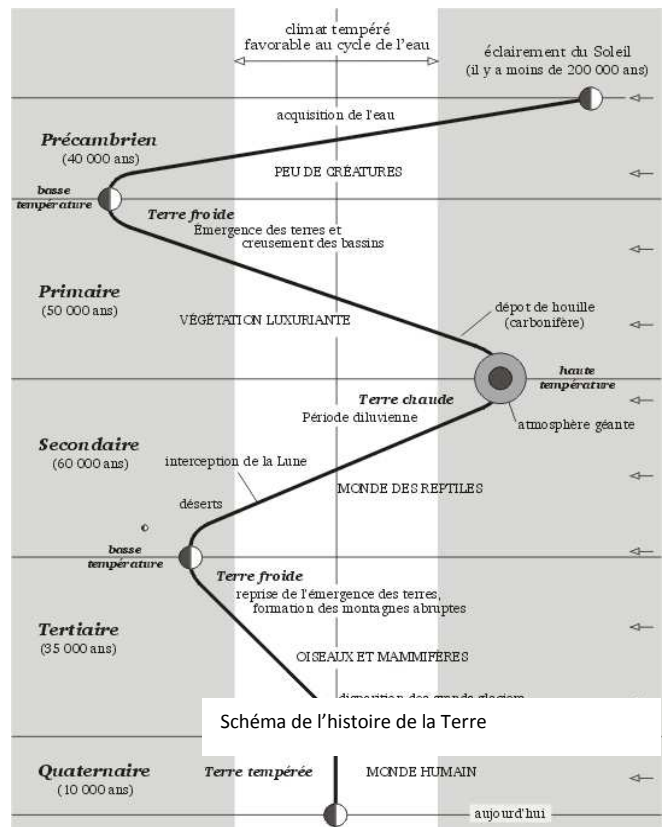
Notre monde n'existerait pas s'il n'y avait pas eu initialement un peu plus de matière que d'antimatière. L'univers que nous connaissons est en effet la matière restante après l'annihilation. De même, si la vitesse d'expansion initiale de l'univers avait été plus faible, la phase de nucléosynthèse, ensemble des processus qui conduisent à l'apparition des éléments chimiques constituant la matière de l'Univers, primitive aurait duré plus longtemps. Si elle avait duré quelques millions d'années au lieu de quelques minutes, notre univers serait aujourd'hui entièrement constitué d'atomes lourds. Un univers de métal, stable et stérile. De manière générale, les forces physiques fondamentales (gravitation, force électromagnétique, forces nucléaires électro-forte et électro-faible) et les constantes universelles (vitesse de la lumière, constante de Planck, constante de gravitation...) sont idéalement réglés pour permettre l'apparition de la vie. Les scientifiques ont calculé que si l'on modifie un tant soit peu les valeurs de ces constantes, l'univers n'aurait pu permettre l'apparition de la vie.

Dans le système solaire, la Terre est la seule planète à se trouver dans ce que l'on appelle la zone d'habitabilité. Pour des raisons de stabilité de la température moyenne, il semble également nécessaire que l'orbite soit pratiquement circulaire, comme celle de la Terre. Une orbite trop elliptique entraîne des variations de distance et de flux d'énergie trop importantes et crée une situation d'extrême instabilité peu favorable à l'émergence de la vie et à son développement. Une condition plus controversée est l'existence autour de la planète d'un gros satellite comme la Lune. La présence d'un tel corps, par son influence gravitationnelle, assure une plus grande stabilité de l'axe de rotation de la planète et donc une plus grande stabilité de paramètres tels que la température moyenne. Il n'est néanmoins pas prouvé que la stabilité de l'axe de rotation soit un paramètre si important.



La planète doit aussi contenir suffisamment de matière radioactive pour pouvoir libérer de l'énergie pendant des milliards d'années. Cette énergie est cruciale soutenir un volcanisme et une tectonique des plaques, qui sont probablement des facteurs essentiels. C'est ainsi à cause de sa masse trop faible que Mars est maintenant un monde sans activité géologique notable. Au cœur de la planète, la présence d'un noyau métallique semble essentielle. Ce noyau produira par sa rotation un champ magnétique qui protégera la surface de la planète des rayons cosmiques néfastes au développement de la vie.

La planète doit posséder une atmosphère. D'abord, parce que la synthèse de molécules organiques en quantités non négligeables ne peut pas se faire dans le vide. Ensuite, parce que cette atmosphère constituera elle aussi un écran protecteur qui empêchera les premières molécules complexes d'être détruites pour par le rayonnement solaire, en particulier dans l'ultraviolet et les rayons X. En plus d'une atmosphère, la planète doit disposer d'une hydrosphère, soit une large quantité d'eau liquide. C'est dans cette hydrosphère, qui offre par ailleurs une protection contre les rayonnements nuisibles, que les molécules se retrouveront en concentration suffisante pour permettre des réactions chimiques en grande quantité. L'eau est de plus l'un des éléments nécessaires à de nombreuses interactions chimiques nécessaires à la vie (du moins dans une forme similaire à la nôtre). Un autre élément probablement essentiel est une lithosphère, c'est-à-dire une surface solide. L'agrégation de petites molécules en ensembles plus complexes semble en effet nécessiter une surface solide plutôt qu'un milieu liquide en mouvement permanent. La meilleure façon d'obtenir des concentrations élevées d'un composé chimique est de déposer ce composé dans un liquide et de laisser l'évaporation faire son travail.





II. Les conditions chimiques de la vie sur Terre

Même si les conditions qui ont donné naissance à la vie sur Terre sont encore loin d'être identifiées de façon précise, il est néanmoins clair que l'apparition de la vie peut s'expliquer par des phénomènes naturels. Si cet évènement a pu se produire à la surface de notre planète, il est tout à



fait possible, voire probable, qu'il se soit également produit ailleurs, à la surface d'autres planètes où les conditions environnementales le permettraient.

Il serait donc intéressant d'essayer d'évaluer les conditions minimales nécessaires à l'apparition de la vie sur une autre planète. Nous nous intéresserons plus spécifiquement aux conditions qui permettent l'apparition d'une vie intelligente. Ce deuxième critère sera plus contraignant, car le passage d'une forme de vie primitive à une forme intelligente implique des conditions environnementales plus stables sur des périodes de temps plus longues.

1. Les étoiles

Il existe plusieurs caractéristiques des étoiles qui sont favorables à la vie : la première question qui se pose concerne l'étoile autour de laquelle la vie pourrait apparaître. Quelles sont les conditions qu'une telle étoile doit remplir pour être favorable à l'émergence de la vie ?



Une étoile: le Soleil

Remarquons d'abord qu'un système à étoile unique comme le nôtre semble a priori plus favorable car les planètes se retrouveront naturellement sur des orbites quasi-circulaires et stables. Dans un système double ou multiple, les perturbations gravitationnelles des différentes étoiles rendront plus difficile la formation de planètes et l'existence d'orbites stables. Néanmoins, si les membres du système sont suffisamment séparés, une planète stable pourrait se former autour de l'une des étoiles sans être trop perturbée par les autres.

La masse de l'étoile devrait probablement se situer entre la moitié et le double de celle du Soleil. Une masse plus faible signifierait une luminosité réduite, c'est-à-dire un apport d'énergie insuffisant à l'apparition d'une vie intelligente. Une étoile beaucoup plus massive que le Soleil serait également défavorable, mais dans ce cas à cause d'une durée de vie trop courte. Il a en effet fallu environ un milliard d'années à la vie pour apparaître sur Terre et cinq milliards d'années pour conduire à l'intelligence. Or une étoile de dix masses solaires ne reste en phase stable que pendant quelques millions d'années et une étoile de trois masses solaires pendant 200 millions d'années.

Il y a également une contrainte de composition chimique sur l'étoile. Par exemple, la première génération d'étoiles n'était constituée que d'éléments chimiques créés dans le Big Bang, essentiellement l'hydrogène et l'hélium. Les éléments plus lourds n'apparurent qu'ensuite, au cours de l'évolution de cette première génération. Or, la vie a besoin d'éléments lourds, en particulier de carbone, d'oxygène et d'azote.

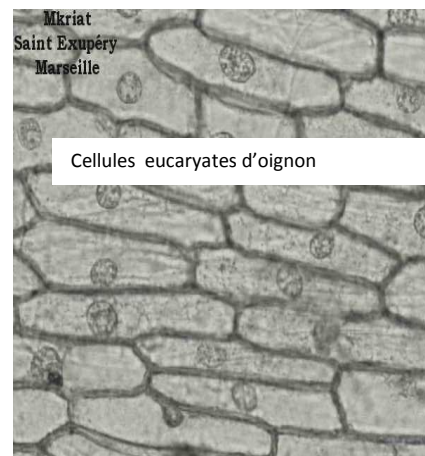
2. La vie cellulaire



Mis à part les cas problématiques, le biologiste peut, pour définir les propriétés essentielles de la vie, se limitant à considérer les organismes cellulaires. La cellule est l'unité de base de la vie, l'unité fondamentale de la matière vivante telle qu'on la reconnaît sans aucun doute. D'un point de vue thermodynamique, une cellule peut être considérée comme un système ouvert qui échange de la matière et de l'énergie avec l'extérieur. Les cellules sont des systèmes chimiques complexes qui possèdent plusieurs propriétés fondamentales :

- Métabolisme énergétique et nutrition : les cellules acquièrent des composants chimiques de l'environnement, les transforment, et éliminent d'autres composants chimiques comme déchets afin de fabriquer leur propre matière organique et d'obtenir l'énergie nécessaire pour réaliser les différentes fonctions physiologiques.
- Croissance ou auto-réplication : les cellules dupliquent leur matériel génétique et se divisent pour donner naissance à deux, ou plus, cellules similaires à la cellule mère.
- Evolution : les cellules subissent des mutations (au niveau de leur matériel génétique) qui ont pour conséquence la modification de leur descendance et sont soumises à l'action de la sélection naturelle.

Les cellules peuvent également avoir d'autres propriétés importantes comme la signalisation (réponse aux stimulations physico-chimiques de l'environnement et communication) et la différenciation (capacité de modifier leur structure au cours du cycle de vie, par exemple la formation des spores, des gamètes, la différenciation au sein d'un tissu particulier). L'analyse des caractéristiques intrinsèques des cellules et des conditions environnementales dans lesquelles elles exercent leur activité et se multiplient nous renseigne sur les besoins indispensables à la vie.



3. Les besoins chimiques et moléculaires

On distingue deux grands types d'organisation cellulaire : les cellules procaryotes, de structure plus simple, dont le matériel génétique est directement imbibé dans le cytoplasme, et les cellules eucaryotes, plus complexes où, entre autres particularités, le matériel génétique est séparé du reste de la cellule par une double membrane formant un noyau. Malgré des différences importantes au niveau de la structure et du mode de fonctionnement entre cellules procaryotes et eucaryotes, toutes ont plusieurs éléments en commun :

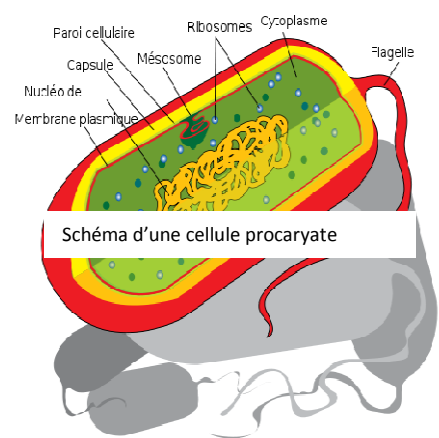


- La présence de protéines, dont un grand nombre est conservé dans les trois domaines du vivant (archées, bactéries - les domaines procaryotes- et eucaryotes), notamment les protéines ribosomiques.

- La présence des membranes constituées par des lipides (et également de quelques protéines) qui forment des barrières semi-perméables aux différents ions et molécules. Elles se disposent généralement en bicouches.

- La présence d'un matériel génétique composé d'ADN.

- La présence d'un cytoplasme contenant des ribosomes où se fait la synthèse de protéines.

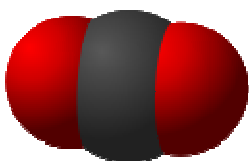


Ces dénominateurs communs nous donnent des pistes sur la nature du dernier ancêtre commun. Les macromolécules qui constituent le vivant se réduisent essentiellement aux protéines. Si on descend à la composition élémentaire des macromolécules cellulaires, toutes sont majoritairement formées de C (carbone), H (hydrogène), O (oxygène), N (azote), P (phosphore) et S (soufre). Mis à part l'hydrogène, il s'agit d'éléments très abondants et facilement disponibles dans un grand nombre de planètes. La vie aurait pu les choisir par cette raison simple. Cependant, il y a d'autres éléments abondants, comme le Si (silicium), qui n'ont pas été choisis pour la biochimie. En fait, des modèles d'une vie basée sur le silicium ont été proposés, mais une chimie à base de carbone semble irremplaçable par sa versatilité et flexibilité à l'heure de former des liaisons avec soit même et avec d'autres éléments.

Finalement, en plus d'une biochimie basée sur le carbone, la présence d'eau à l'état liquide est indispensable à la vie par ses propriétés de solvant, également irremplaçable pour les réactions biochimiques.

4. Les besoins physiologiques

Pour fonctionner, les cellules ont besoin de deux choses essentielles, de la matière pour fabriquer sa propre matière organique, et de l'énergie, qu'elles nécessitent pour réaliser la plupart des réactions biochimiques. Il existe une grande diversité de métabolismes cellulaires, de manières d'obtenir de l'énergie et de fabriquer sa propre matière organique. Pour synthétiser leur matière, certains organismes



Représentation de la molécule de CO_2



utilisent des composés inorganiques, notamment du CO₂ (autotrophes), et d'autres profitent de la matière organique existante (hétérotrophes). De même, pour gagner de l'énergie on trouve des stratégies diverses dans la nature. Certains organismes utilisent la lumière (photosynthèse), d'autres utilisent l'énergie dégagée des réactions d'oxido-réduction faisant intervenir des composés inorganiques (chimiosynthèse), d'autres oxydent des molécules organiques partiellement (fermentation) ou totalement à l'aide de l'oxygène ou d'autres oxydants (respiration de l'oxygène, nitrate, sulfate...). La variété des couples redox utilisée dans la nature pour obtenir de l'énergie dans des réactions d'oxido-réduction est très large et on ne connaît probablement pas encore toutes les possibles réactions d'obtention d'énergie que les microorganismes procaryotes, les plus versatiles par le métabolisme, peuvent réaliser. Par conséquent, pour qu'une planète soit habitable, elle doit posséder des sources appropriées de matière (fondamentalement du CO₂) et d'énergie (lumière et/ou couples chimiques redox utilisables).

5. Les conditions environnementales favorables à la vie

Finalement, une dernière approche pour déterminer les conditions d'habitabilité d'autres planètes consiste à observer les limites de la vie sur Terre. Au cours des derniers trente ans, ces limites se sont élargies considérablement grâce à l'exploration et découverte des microorganismes habitant des environnements extrêmes où les conditions physico-chimiques sont presque limitantes pour la vie (extrêmophiles).

6. Les environnements propices à l'émergence de la vie

Les premières molécules se seraient formées dans des milieux riches en composés carbonés, azotés et en eau, dont les conditions physiques auraient favorisé leurs interactions. L'atmosphère terrestre primitive aurait-elle pu constituer ce réacteur chimique propice à la synthèse des molécules organiques nécessaires à l'émergence de la vie ? Une question à laquelle le chimiste américain Stanley Miller apporta un début de réponse. Ce dernier remplit un ballon d'un mélange réducteur de méthane, d'ammoniac, de dihydrogène et de vapeur d'eau, qu'il soumit à l'action d'un arc électrique censé reproduire les orages secouant l'atmosphère terrestre primitive. Le formaldéhyde, l'acide cyanhydrique, la glycine et trois autres acides aminés entrant dans la composition des protéines figuraient parmi les composés ainsi formés. Depuis, 17 des 20 acides aminés constituant les protéines ont été isolés ; de même, certains des éléments constitutifs des acides nucléiques. Toutefois, l'atmosphère terrestre primitive, tout comme celle de Vénus et Mars d'ailleurs, semble avoir été majoritairement constituée de dioxyde de carbone - ce composé carboné qui, mélangé à l'ammoniac, au dihydrogène et à la vapeur d'eau, puis soumis à un arc électrique, produit très peu



d'acides aminés. D'où la recherche d'autres milieux réactionnels, riches en méthane ou en hydrogène, susceptibles de produire les acides aminés en grand nombre.

Les événements hydrothermaux, ces sources sous-marines riches en oxyde de carbone, en dioxyde de carbone, en méthane, en hydrogène, en azote, en anhydride sulfureux et en hydrogène sulfuré, constamment alimentées en énergie thermique par le magma terrestre qui plus est, pourraient avoir constitué un milieu favorable à la synthèse des molécules prébiotiques, et donc à l'émergence des toutes premières formes de vie. Des traces d'acides aminés ont effectivement été obtenues en laboratoire en soumettant un mélange de méthane et d'azote aux conditions physico-chimiques régnant dans ces fumeurs noirs.

Les comètes, objets célestes qui se déplacent sur des orbites instables et succombent parfois au champ gravitationnel d'une planète, telle la comète Shoemaker-Levy 9 qui entra en collision avec Jupiter en 1994, ont pu apporter de très importantes quantités de matière organique extraterrestre et fournir une grande fraction de l'eau terrestre. Les observations effectuées depuis la Terre et grâce aux sondes Véga et Giotto, ont effectivement montré que la comète de Halley, tout comme celles de Hyakutake et Hale-Boppe d'ailleurs, était riche en matériau organique : parmi les molécules d'intérêt prébiotique figurent l'acide cyanhydrique, le formaldéhyde, l'acétonitrile, le cyanoacétylène, l'acide isocyanhydrique et l'acide isocyanique. Les missions spatiales à venir devraient permettre de généraliser ce résultat – et donc d'augmenter la probabilité de l'origine extraterrestre de la vie terrestre.



Comète Halley

Parce qu'elles renferment de nombreux composés organiques d'intérêt biologique - des acides carboxyliques, des acides aminés, des hétérocycles azotés, des amines, des amides, des alcools,... -, certaines météorites carbonées appelées chondrites sont également susceptibles d'avoir acheminé la vie sur Terre. La météorite de Murchison renferme ainsi près de 70 acides aminés différents, parmi lesquels figurent 8 acides aminés protéiques.

Chaque année, la surface terrestre reçoit près de 100 tonnes de météorites carbonées. Ce qui est bien peu comparé aux quelques 20 000 tonnes annuelles de micrométéorites, ces grains interplanétaires apparentés aux météorites les plus primitives - celles du groupe des chondrites carbonées -, dont le diamètre varie entre 50 et 500 microns (1 micron = 0,000001 mètre). L'on estime ainsi à 100 tonnes, la quantité de carbone acheminée chaque année par ces micrométéorites sur Terre. Sans doute cette quantité était-elle voisine de 30 000 milliards de tonnes lors de la phase active du bombardement terrestre, soit entre -4,1 et -3,8 milliards d'années. Le flux de



micrométéorites était alors mille fois plus intense qu'aujourd'hui. De nombreux prélèvements effectués dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique ont révélé la présence d'acides aminés, de sulfures métalliques, d'oxydes, d'argiles, ... en leur sein. Diverses expériences spatiales (BIOPAN-1, ...) ont par ailleurs montré le rôle de film UV-protecteur joué par les argiles vis à vis des acides aminés, accréditant par là-même la théorie selon laquelle ces derniers auraient survécu aux épreuves du voyage interstellaire. Ainsi les acides aminés, qui entrent dans la constitution des pièces d'automates, pourraient-ils être d'origine extraterrestre.

III. L'évolution

1. Définition

" Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution ". Ce célèbre aphorisme de Theodosius Dobzhansky (1900 – 1975) révèle bien ce qu'est la théorie de l'évolution pour un biologiste, le cadre conceptuel au sein duquel toute donnée scientifique trouve tout son sens. Mais qu'est-ce que l'évolution ? en fait c'est un processus de « transformation » et « d'amélioration » que tous les êtres vivants de notre planète ont subi, par descendance directe, à partir d'un point commun, un ancêtre commun, qui a existé il y a plus de 3.000.000.000 d'années.

2. Origines et déroulement

**IDEE DUNE ECHELLE
DES ETRES NATURELS.**

L'HOMME.	Minéraux.
Orang-Outang.	PLANTES.
Singe.	Fichus.
QUADRUPÈDES.	Mollusques.
Écureuil volant.	Champignons, Agarics.
Chauve-souris.	Fleurs.
Araucario.	Coraux & Corallaires.
OISEAUX.	Lithophytes.
Oiseaux aquatiques.	Amarilles.
Oiseaux amphibies.	Fucus, Graps, Méduses.
Faisans volans.	Arbustes.
POISSONS.	PIÈRES.
Poissons rampans.	Pierres figurées.
Anguilles.	Cristallisations.
Serpens d'eau.	SELS.
SERPENS.	Vitrés.
Limaces.	MÉTAUX.
Limaçons.	DÉTIMÉTAUX.
COQUILLAGES.	SOUFRES.
Vers à corail.	Bismuth.
Tigres.	TERRES.
INSECTES.	Terre pure.
Quillottes.	EAU.
Terre, ou Solivans.	AIR.
Pulvins.	FEU.
Ours, de Mer.	Matière plus subtile.
Serpens.	
PLANTES.	



Les théories qui ont amené à l'idée d'évolution partent d'une volonté d'organisation des connaissances depuis les civilisations humaines les plus anciennes. Au tout début se classement s'effectuait en accord avec l'utilité de chaque espèce organique (par exemple on trouve les classements en botanique de Théophraste, vers 372 – 287 av. J. –C., où l'on distinguait les arbres, les arbustes, les plantes médicinales, les plantes vénéneuses...) De telles classifications, réalisées par les Grecs puis les Romains, perdurèrent jusqu'à la Renaissance, jusqu'à ce que l'on reconnaisse qu'elles n'étaient pas satisfaisantes.

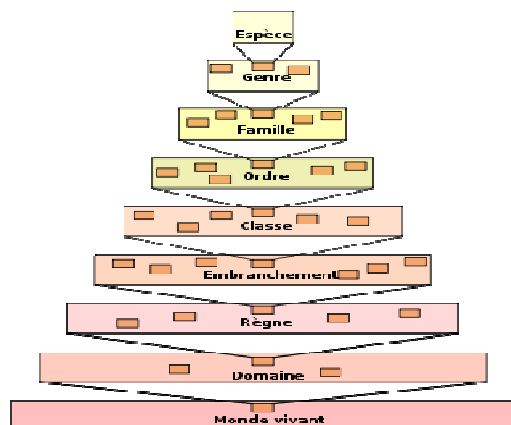
Depuis lors des nombreux essais ont été réalisés (des nouvelles méthodes et systèmes) pour trouver la "Méthode Naturelle" menant à la Classification Naturelle, qui serait capable de classer avec perfection tous les êtres vivants.

Parallèlement, une longue tradition remontant à l'Antiquité défendait l'existence d'une "Échelle des Êtres", c'est-à-dire l'établissement d'une hiérarchie de l'ensemble des éléments figurés d'origine naturelle, dont les organismes vivants, suivant une complexité croissante.

Essay d'une échelle des êtres

On trouvait en bas de l'échelle les quatre éléments, puis les minéraux, suivis des végétaux ; les animaux étaient rangés selon leur plus ou moins grande ressemblance avec l'Homme : vers, poissons, amphibiens et reptiles, oiseaux et mammifères. L'Homme était bien évidemment au plus haut de l'échelle des êtres matériels,... mais, à une certaine époque, plus bas que les anges et archanges. Au XVIIIème siècle, Gottfried Leibniz (1646 - 1718) popularise cette échelle des êtres, qui va être reprise par Charles Bonnet (1720 - 1793) en biologie. Dès lors, deux conceptions vont interférer, celle de l'Échelle des Êtres et celle de la Classification Naturelle.

Les progrès vont être très importants quand, avant la Révolution, Bernard de Jussieu (1799-1876) et son neveu Antoine-Laurent (1748-1836) vont définir la notion-clé de subordination des caractères. Ils se rendent compte que, pour déterminer un taxon donné, une classe par exemple, l'idéal est d'avoir un (ou plusieurs) caractère(s) constant(s) à l'intérieur de cette classe et variable(s) dans toutes les autres. Un type de caractère est donc utile à un niveau précis de la classification, certains au niveau de l'ordre, d'autres au niveau du genre... Les caractères sont donc "subordonnés". On peut alors faire un tri parmi les caractères issus de descriptions détaillées, et faire surgir ceux qui sont pertinents d'un point de



Arbre des caractéristiques subordonnées d'une espèce



vue taxinomique. Si les Jussieu l'appliquent en botanique, dès la fin du XVIII^{ème} siècle, Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) et Georges Cuvier (1769-1832) l'appliquent au monde animal, le premier essentiellement chez les mollusques et les animaux vermiformes, le second chez les vertébrés et pour l'ensemble des animaux.

C'est à ce moment qu'émerge, de façon structurée, la notion de transformisme, c'est-à-dire l'idée que les organismes vivants peuvent se "transformer", suivant le temps. Mais, pour que ce concept puisse être développé de façon pertinente, il faudra démontrer l'inanité de certaines croyances. Citons en deux : l'adhésion à l'existence de la génération spontanée empêchait évidemment la structuration d'un quelconque concept évolutif, car on pouvait alors imaginer des apparitions d'animaux de la même espèce à différents moments de l'histoire, par différents événements de génération spontanée. Dès 1765, Lazzaro Spallanzani (1729 – 1799) conteste ce dogme. Mais il faudra en fait attendre la controverse Pasteur-Pouchet pour qu'il soit définitivement enterré. On peut tenir le même raisonnement avec l'idée de métamorphose. En effet, au XVII^{ème} siècle existait encore l'idée de la transformation d'un organisme adulte en un autre organisme adulte. Par exemple, les anatifes (crustacés cirripèdes) pouvaient se transformer en canards ; ou encore, en Afrique, existaient des arbres dont les feuilles se transformaient en poissons quand tombant dans l'eau d'une rivière ou en chauve-souris quand entraînées par le vent. Tout cela, évidemment, dut être réfuté pas à pas. Enfin, il y a le problème du temps. Georges Buffon (1707 – 1788) bat en brèche les 6000 ans proposés par certains théologiens comme âge de la Terre, âge calculé à partir du recensement des générations décrites dans la Bible. Il propose plusieurs centaines de milliers d'années puis, dans une lettre, plusieurs millions. L'intérêt de cette proposition réside dans la démarche. Buffon se base sur une expérience. Il considère que la Terre a été à un moment une boule de roche en fusion. Il calcule le temps qu'un boulet de canon met pour se refroidir, et applique une règle de trois, connaissant la masse de la Terre. Même si le raisonnement et le calcul étaient simplistes, on abandonne des temps brefs qui n'autorisaient pas d'évolution.

L'application au monde animal des idées des Jussieu eut des résultats extrêmement positifs ; ainsi, on constata qu'au niveau des embranchements, le caractère pertinent était le plan d'organisation. Les quatre embranchements définis par Cuvier - les vertébrés (Vertebrata), les articulés (Articulata), les mollusques (Mollusca) et les radiaires (Radiata) - se trouvent caractérisés par des plans si différents qu'ils en paraissent irréconciliables, confirmant Cuvier dans son fixisme. Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844) va être amené à définir l'homologie - bien qu'à l'époque ce





n'était pas ce terme qui fut utilisé -, notion essentielle qui permet de comparer des organismes ayant même plan d'organisation. Sont homologues deux organes qui ont même situation dans un plan d'organisation, ce qui sera interprété plus tard comme témoignant d'une même origine embryologique. Ce concept va briser la notion de similitude globale. En effet, deux organes peuvent être homologues et n'avoir ni même taille, ni même forme, ni même fonction. Les pattes antérieures des mammifères en sont un bon exemple : la patte du cheval, l'aile de la chauve-souris, l'aileron de la baleine sont homologues. Un tel critère va être employé avec succès en zoologie, puis va revenir en botanique, principalement par le botaniste suisse Augustin-Pyrame de Candolle (1778-1841).

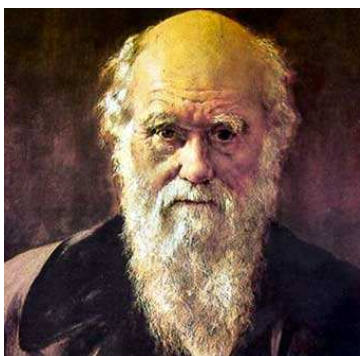
Parallèlement, Cuvier, par ses travaux de paléontologie, montrait que les espèces pouvaient disparaître, introduisant le concept crucial de " mort des espèces ". On ne pourra alors sauver le fixisme que par le biais de créations multiples.

Georges Cuvier

Etienne Geoffroy Saint-Hilaire, entreprenant des travaux d'embryologie, constatait avec Étienne Serres (1786-1868) qu'au cours de leur développement, les embryons des organismes " supérieurs " passaient transitoirement par des formes identiques à celles revêtues de manière permanente par des organismes " inférieurs ". Parallèlement, Karl von Baer (1792-1876) clamait que la comparaison devait se faire entre embryons différents et non entre l'embryon d'un animal et le stade adulte d'un autre. Il montrait qu'au cours de l'embryogenèse les caractères généraux, par exemple ceux caractéristiques de l'embranchement ou de la classe, apparaissent avant les caractères particuliers des taxons de bas rang, comme le genre ou l'espèce.

Pendant ce temps, Lamarck avait proposé la première hypothèse transformiste raisonnée, ceci dans sa leçon introductive de son cours au Muséum en 1801, puis publiée en 1809 dans sa *Philosophie zoologique*. Il admettait que les espèces se modifiaient progressivement au cours du temps, à partir d'un état primitif très simple apparaissant par génération spontanée. Les organismes étaient alors engagés dans un processus d'accroissement de la complexité. Son interprétation n'eut pas beaucoup de succès.

En introduisant le concept de descendance avec modification, Charles Darwin (1809-1882) va donner une toute autre vision de la Classification Naturelle. Pour lui, les caractères utiles en taxinomie - les caractères homologues -, sont ceux qui sont hérités d'un ancêtre commun ; ainsi, il affirme que toute classification doit être généalogique, et que la communauté de descendance est le lien caché que les naturalistes ont longtemps cherché. Classer les animaux et faire de la phylogénie deviennent



Charles Darwin



alors une seule et même chose ; Il ne peut y avoir qu'une seule classification naturelle, puisqu'il n'y a eu qu'une seule histoire de la vie sur Terre. La structuration de la biodiversité actuelle n'est que le résultat d'une longue histoire. Définir les liens de parenté entre espèces peut permettre de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent cette évolution.

Les relations entre embryologie et systématique s'éclairent alors différemment. Les intuitions de Geoffroy Saint-Hilaire et de Serres d'une part, de von Baer d'autre part s'interprètent dans un cadre historique. C'est ce qu'Ernst Haeckel (1834-1919) a proposé par sa "loi biogénétique fondamentale" :
"La série des formes par lesquelles passe l'organisme individuel à partir de la cellule primordiale jusqu'à son plein développement n'est qu'une répétition en miniature de la longue série des transformations subies par les ancêtres du même organisme, depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours".

L'idée-clé de Darwin a un corollaire : la variation des caractères est indépendante de la sélection et donc la précède, étant donné qu'on ne peut sélectionner que des caractères qui existent déjà. Le rôle du sélectionneur est de réaliser des combinaisons de caractères qui, naturellement, ont une faible probabilité d'apparaître, puis d'augmenter leurs occurrences en éliminant les autres organismes : ce qui était globalement rare devient alors localement fréquent. De même, la sélection naturelle va favoriser les organismes portant telle combinaison de caractères, et par là-même deux populations d'une même espèce soumises à deux environnements différents subiront des sélections naturelles différentes. Ils pourront donc présenter, après de nombreuses générations, des différences notables résultat d'un tri réalisé à partir des caractères existant déjà dans l'espèce. La sélection naturelle n'a donc pas créé de nouveauté ; elle n'a fait que trier parmi l'existant.

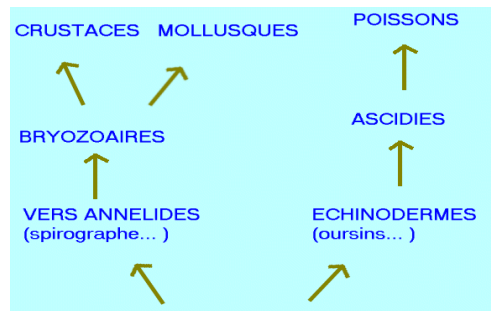
Une telle vision soulève certaines questions fondamentales. Elles sont en fait de deux ordres. On peut tout d'abord se demander comment ces caractères héréditaires passent de génération en génération, et comment en apparaissent des variations. D'autre part, on peut se demander comment ces caractères héréditaires, qui sont transmis de génération en génération de manière invisible uniquement par les cellules sexuelles, se mettent en place lors de la construction de l'organisme, au cours de son développement. Ce seront les buts respectivement de la génétique et de l'embryologie.

3. L'origine des espèces et l'évolution de la diversité



L'évolution sous l'influence de la sélection naturelle conduit à une meilleure adaptative et mène à la divergence et à la diversité. Dans un moment ou dans un autre, des millions d'espèces différentes ont évolué à partir d'un ancêtre commun. Le processus par lequel une espèce se divise en deux s'appelle spéciation. La divergence postérieure conduit à la une sous-division plus importante des unités taxonomiques –genres, familles, ordres, classes, règnes...-

La plupart des théories acceptent que le premier pas dans la spécialisation soit normalement une séparation géographique. Une espèce se divise de manière accidentelle en deux populations séparées géographiquement. En fréquence des sous-populations peuvent exister séparées dans des îles, et même des arbres dans une même plaine peuvent être des îles suffisantes pour quelques petits habitants. L'isolement géographique signifie absence de flux de gènes et de l'absence de contamination de chaque ensemble de gènes de l'autre. Dans ces conditions, la fréquence moyenne des gènes peut être différente dans les deux groupes génétiques, ou par les différentes pressions de sélection aléatoire ou statistique des changements dans ces deux domaines. Après une période de divergence génétique suffisante dans l'isolement géographique, les deux sous-populations ne sont plus en mesure de se croiser, même si les circonstances plus tard donner naissance à rencontrer à nouveau. Quand ils s'arrêtent pour reproduire entre eux, il est dit que la spéciation a eu lieu et qu'une nouvelle espèce (ou deux) a vu le jour. Cette définition de l'espèce, du point de vue biologique, ne s'applique pas aux organismes qui ne reproduisent pas sexuellement. La suggestion que la sélection naturelle puisse par elle-même renforcer les divergences entre espèces proches et pénalisant toutes les tendances vers l'hybridisme est polémique.



Exemple d'un ancêtre commun à deux espèces





IV. La biodiversité face à la menace de l'homme

Au cours de sa longue histoire, la Terre a évolué lentement. L'espèce Homo sapiens, ou homme, est apparu tardivement dans l'histoire de la Terre, mais a été en mesure d'adapter l'environnement à ses activités. Bien que les humains aient apparemment fait leur apparition en Afrique, ils se sont rapidement étendus à travers le monde. Grâce à leurs propres aptitudes mentales et physiques, ils ont réussi à s'échapper des contraintes environnementales qui limitent d'autres espèces et à modifier l'environnement en fonction de leurs besoins.

1. Surpopulation

Selon l'ONU, la population mondiale, qui comptait 2,5 milliards d'individus en 1950, puis 6,4 aujourd'hui, atteindra 9,1 milliards en 2050. Les pays en développement contribueront quasi exclusivement à cette explosion démographique. Il y aura environ 5,2 milliards d'Asiatiques (contre 3,8 actuellement) 1,8 milliard d'Africains (851 millions aujourd'hui) et 1,2 milliard d'Américains. Seule l'Europe pourrait connaître un déclin en raison principalement de l'évolution négative des pays de l'Est.

Le résultat de cette augmentation surprenante dans ces dernières décennies a comme conséquence principale les dépenses de ressources de notre planète. En effet, de presque 18.000 m³/hab/an d'eau potable aux années 70, ce chiffre arrive à presque 6.000 dans nos jours. Seulement en prenant en compte cet aspect, l'eau étant un des principaux éléments pour la survie de tous les êtres vivants, la situation devient très inquiétante ; par contre, si les milliers et des milliers de personnes sont laissés sans ce liquide vital dans toute la planète (l'eau devient la première cause de mortalité au monde), nous nous trouvons dans un point vraiment catastrophique.

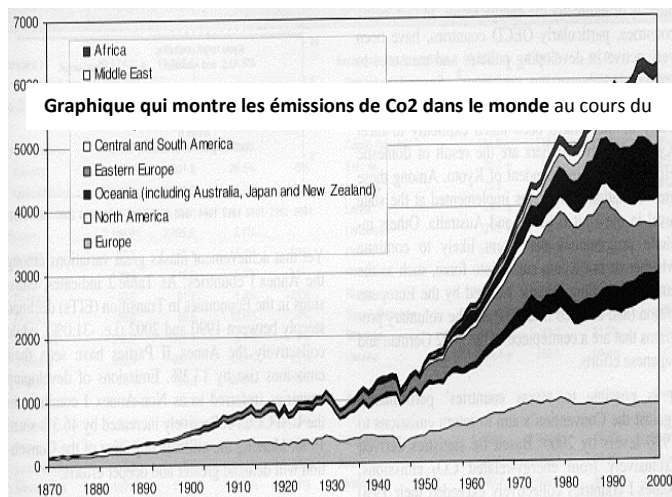
De plus, une population montante demande une quantité plus importante des aliments, des habitats, en fin, un tel nombre de choses que les sols sont de moins en moins fertiles et des forêts entières sont éliminées pour construire de nouvelles villes, des nouvelles industries. La contamination de l'eau créée par l'augmentation de l'activité humaine est à l'origine des pluies



acides, d'une dégradation et contamination de l'eau de la Terre et en conséquence de la destruction de nombreux écosystèmes. La surpopulation est donc la principale cause de la situation de notre planète, et crée aussi des problèmes de plus en plus graves et complexes.

2. Les sociétés humaines

Le problème de la surpopulation est accentué par les comportements des sociétés humaines à nos jours. Les transports et les industries génèrent de plus en plus de Co2 Dans l'atmosphère, ce qui produit non seulement de la pollution mais aussi un effet de serre qui change les écosystèmes de notre monde. Ces émissions entraînent dans toutes les masses d'eaux une diminution du pH des eaux les rendant plus acides, diminuant la concentration en carbonate, et affectant l'écosystème marin. Des exemples comme celui-ci existent par tout.



La déforestation excessive causée par notre société n'arrête pas. Pour 2060 il n'y aura plus de forêts naturelles dans le monde, l'effet de serre va donc augmenter progressivement et les rayons ultra-violet du soleil seront plus concentrés et plus nocifs pour la vie en général. Des destructions d'habitats naturels massifs entraînent des grosses conséquences, aujourd'hui 12.000 espèces animales et végétales sont menacées, et même, hors du domaine de la biodiversité, pour 2040 l'homme aura consommé toutes les réserves de pétrole existantes. Le gaspillage des ressources comme l'eau seulement rendent ce problème plus difficile, mais au niveau présent, il ne s'agit seulement de changer de mode de vie, la situation est trop grave pour cela.

3. Des tentatives de solutions

Face à la situation présente, les sociétés sont en train de chercher les meilleures solutions possibles. Tout d'abord, du point de vue économique les grandes puissances se rendent compte que le développement n'est pas un excuse pour détruire l'environnement, des grandes campagnes pour



sa protection son lancées tous les jours. À l'école les élèves apprennent des méthodes «efficaces » pour finir les problèmes, mais aucune solution ne paraît suffisante pour y arriver. Les tendances générales laissent le destin de notre civilisation et de notre monde aux nouvelles technologies émergentes, aux gouvernements, aux organismes internationaux, mais pour quelques uns c'est trop tard pour éviter l'inévitable. Le seul facteur véritable dans cette grande dispute de pouvoir dans la quelle des doubles intentions se croissent est que une conscience écologiste devient plus apparente aujourd'hui. Espérons que cela soit suffisant pour finir ce chaos.



Greenpeace, ONG écologique internationale

Conclusion

Comme nous l'avons vu, plusieurs conditions sont nécessaires au développement de la vie sur Terre. On s'intéresse notamment à deux types de conditions : les conditions physiques et les conditions chimiques ; on peut remarquer que ces deux éléments sont inextricablement liés entre eux, une condition en entraînant une autre.

Mais si la Terre peut exister, c'est tout d'abord grâce aux lois physiques de notre univers, ainsi qu'au "bon dosage" de ses composants. En effet, si notre planète ne remplissait pas certaines conditions physiques, la vie y serait impossible. Parmi ces conditions, on peut notamment souligner celle de la présence d'une force gravitationnelle, qui permet de retenir sur la planète les gaz et l'eau nécessaires à la survie. De plus, la présence d'une atmosphère est indispensable, car elle permet de filtrer les rayons ultra-violets nocifs à la santé, et contient de plus certains gaz nécessaires à la vie,



comme le dioxygène. De plus, la planète doit se trouver à une bonne distance du soleil, afin qu'elle puisse recevoir la quantité suffisante d'énergie et de chaleur pour garder à sa surface une température favorable à la vie, sachant que la température d'une planète dépend directement du flux solaire reçu. Mais l'existence de poches de magma souterraine est également un facteur important à l'existence de formes de vie, puisqu'elle permet de réchauffer la Terre à des profondeurs où la chaleur solaire ne parvient pas, et autorise donc la formation de micro-organismes. En outre, on peut souligner l'importance de la taille de la planète, qui est un paramètre essentiel. En effet, elle doit être suffisante pour que la gravité soit en mesure de retenir des éléments légers comme le carbone ou l'oxygène. La planète doit aussi contenir suffisamment de matière radioactive pour pouvoir libérer de l'énergie pendant suffisamment de temps pour que des formes de vie puissent se développer. Cette énergie est également cruciale pour soutenir un volcanisme et une tectonique des plaques. Enfin, la taille de l'orbite est le dernier élément physique crucial à l'apparition d'une forme de vie : la distance de l'étoile à la planète doit être bien ajustée pour que celle-ci puisse recevoir une quantité d'énergie optimale. Trop près, la planète serait soumise à un flux d'énergie trop important et deviendrait trop chaude. Trop loin, elle ne recevrait pas suffisamment d'énergie et finirait trop froide. Dans le système solaire, la Terre est la seule planète à se trouver dans ce que l'on appelle la zone d'habitabilité.

Mais il existe également des contraintes chimiques à la formation de vie sur une planète. On peut commencer par souligner l'importance de la composition chimique de l'environnement : la vie a avant tout besoin de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, ainsi que d'azote. De plus, les cellules, qui sont la plus petite unité du vivant, ont besoin de plusieurs facteurs : pour fonctionner, elles ont besoin de deux choses essentielles : de la matière pour fabriquer leur propre matière organique, et de l'énergie, qu'elles nécessitent pour réaliser la plupart des réactions biochimiques. Afin d'obtenir de l'énergie, elles ont besoin d'un apport suffisant en protéines.

Toutes ces conditions permettent l'existence de la vie sur Terre, qui commence tout d'abord par l'existence de petites cellules et fini par, à la fin de la chaîne de l'évolution, devenir des êtres plus complexes et intelligents qui peuvent ensuite être classifiés et divisés en groupes, en familles, grâce à une méthode perfectionnée à travers les siècles et qui nous permet de connaître avec exactitude les différentes parties de l'évolution. Puis, la séparation géographique de ces éléments permet la création d'une gamme différente des êtres, c'est la biodiversité.

Comme dernier point de ce travail, nous apercevons les influences, catastrophiques généralement, de l'homme sur l'environnement par l'exploitation de ses ressources naturelles et par les processus de pollution de tous les écosystèmes existants, dus principalement aux moyens de comportement des sociétés humaines contemporaines qui, dominés par une envie et un besoin de pouvoir et de



richesses, ne prennent pas en compte les conséquences irréparables que leurs actes causent à la planète jusqu'au dernier moment, où il apparaît presque impossible de trouver une solution à long terme pour la destruction occasionnée.

Bibliographie

http://www.astronomes.com/c9_origines/p931_conditions.html

<http://www.astrosurf.com/luxorion/eau-impact-homme.htm>

<http://biocab.org/Evolucion.html> (en espagnol)



http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/science_actualites/sitesactu/magazine/article.php?id_mag=3&id_article=4303&lang=fr

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme_d_une_cellule_procaryste_fr.svg

<http://evolution.biologique.free.fr/>

<http://www.exobiologie.fr/index.php/vulgarisation/biologie-vulgarisation/l%E2%80%99habilit%C3%A9-le-point-de-vue-du-biologiste/>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Classification_scientifique_des_esp%C3%A8ces

http://gcinvest.canalblog.com/archives/l_impact_de_l_homme_sur_l_environnement/index.html

<http://www.geniebio.ac-aix-marseille.fr/microscopie/images/oignon.jpg>

<http://www.kas-benin.de/manuel/HommEtEnvironnement.html>

http://laeff.inta.es/users/barrado/weblog/Cometa_Halley_1910_LowellObs_NOAO.jpg

http://www.memo.fr/Media/Evolution_homme.jpg

<http://www.monografias.com/trabajos16/teoria-sintetica-darwin/teoria-sintetica-darwin.shtml> (en espagnol)

<http://mpathe.free.fr/schemas-site/arbre.gif>

http://www.notre-planete.info/actualites/actu_511_conference_internationale_biodiversite.php

<http://www.nouvelordremondial.cc/wp-content/uploads/2007/08/soleil-etoile.jpg>

<http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:aQOc1i1Hv-JmcM:>

<http://translate.google.com/#> (pour faire des traductions)

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/Carbon-dioxide-3D-vdW.svg/140px-Carbon-dioxide-3D-vdW.svg.png>



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f3/Georges_Cuvier.png/200px-Georges_Cuvier.png

<http://yookan.org/conferences4.htm>