

La terre, un scénario original ?

Quelles sont les chances de découvrir un jour, quelque part dans l'univers, un écosystème semblable au nôtre ? Une planète sur laquelle le vivant aurait pris des formes aussi complexes et diverses que celles que l'on trouve sur Terre.



A force de scruter le ciel en quête de réponses, les chercheurs ont décelé de nouveaux mondes, des planètes lointaines mais aucune d'elles ne ressemble à la Terre. Ils ont construit d'énormes machines pour explorer le cosmos, ils ont lancé des sondes jusqu'aux confins de notre système solaire, mais elles n'ont renvoyé que des images de planètes hostiles. L'espace reste désespérément muet ! Depuis 25 ans, les astronomes ont découvert dans notre galaxie des milliers de planètes d'une incroyable diversité. Autant de mondes étranges sans trace de vie, pas une planète qui ressemblerait à la nôtre.

En quoi la planète Terre serait-elle unique ?

Les scientifiques commencent à assembler les chapitres d'une histoire tumultueuse, notre histoire : notre écosystème serait le résultat d'une vertigineuse succession de coups de chance et de cataclysmes qui auraient dû détruire la vie mais qui, finalement, lui ont été bénéfiques.

Astronomes, biochimistes et biologistes ont développé une théorie qui permet d'expliquer cet incroyable concours de circonstances, au cœur du système solaire puis sur terre, qui a permis à la vie de se développer et aussi comment l'évolution a pu atteindre la perfection que nous lui connaissons : une machine parfaitement rôdée du plus petit au plus grand.

Les habitants de la planète ont tissé, au fil du temps, des relations complexes de collaboration : symbiose, dépendance, prédation. La Terre est la planète de la vie, elle foisonne partout : elle court, rampe, vole mais pour que cette belle diversité puisse s'épanouir, la Terre a dû offrir à la vie un contexte favorable pendant près de 4 milliards d'années.

Essayons de comprendre le contexte de l'évolution sur la planète bleue.

On a l'impression que le climat sur terre s'est adapté pour qu'il y ait toujours un océan, que ce soit toujours propice à la vie. C'est quelque chose d'assez étonnant. Depuis la naissance de la planète jusqu'à l'écosystème actuel, c'est une histoire jalonnée d'une incroyable suite de hasards ! Sans l'aide de Jupiter et de Saturne, sans l'éclat de la Lune, sans les comètes voyageuses, sans la puissance des volcans, sans le génie de certains micro-organismes, nous ne serions pas là.

Nous allons voir que c'est ce vertigineux enchaînement d'évènements improbables qui a fait de la Terre une planète vivante et exceptionnelle : il est possible que la vie n'existe nulle part ailleurs et que seule notre planète ait rassemblé toutes les conditions nécessaires pour la vie telle qu'on la connaît. La Terre est probablement unique et quoi qu'il puisse y avoir ailleurs que l'on puisse détecter, cela sera forcément quelque chose d'extrêmement différent.

Notre planète flotte, telle une oasis, dans la magnifique désolation de l'espace.



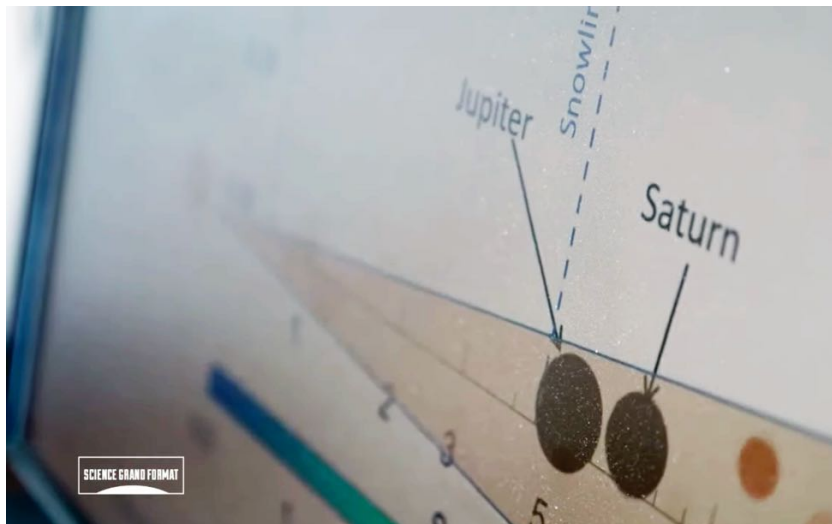
La Terre apparaît comme un unique écosystème : bactéries, insectes, végétaux, mammifères, nous sommes tous sur la photo.

Cette image nous souffle que la Terre, coiffée de nuages et bordée d'une fine atmosphère pourrait être singulière dans l'univers.

Si elle a pu devenir cette accueillante boule bleue, c'est d'abord parce qu'elle est à la **bonne distance du soleil dans une étroite zone** tempérée ni trop chaude, ni trop froide où les températures sont compatibles avec l'eau liquide, donc avec la vie. A l'origine, notre système solaire comme tous les systèmes planétaires s'est formé à partir d'un nuage de gaz et de poussières qui entourait le jeune soleil, il y a 4,5 milliards d'années.



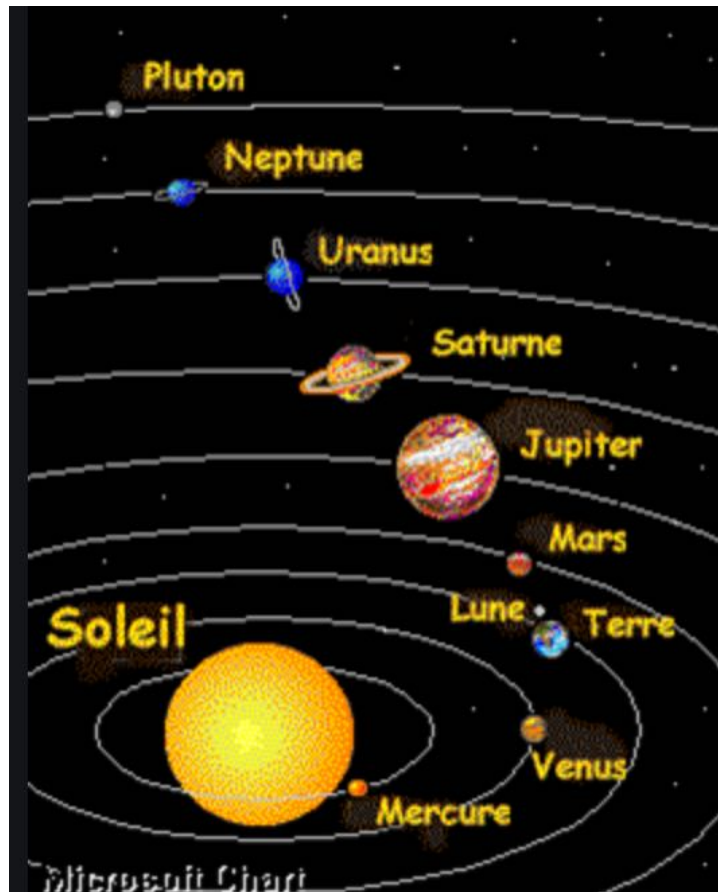
Les planétologues ont découvert que si la terre est placée à cet endroit précis du système solaire, c'est grâce à un incroyable coup de chance car cette zone a failli être balayée par la planète Jupiter. Par rapport aux autres systèmes solaires, le nôtre est un peu magique, il n'est pas typique. Jupiter devrait se placer à la place de la terre. C'est **Saturne qui a inversé la trajectoire de Jupiter** dans son rapprochement vers le soleil et ce virement de bord a sauvé notre planète qui a pu se former à la bonne distance du soleil. Si on rapprochait la terre du soleil de 5 %, l'atmosphère serait telle que l'eau liquide ne pourrait plus se maintenir en surface, elle s'évaporerait. Et si inversement on éloignait la Terre de 5 % du soleil, elle serait recouverte de glace. Notre Terre est exactement là où elle doit être pour que l'on existe.



A cette époque-là, notre planète est encore totalement sèche car à l'endroit où elle se forme, c'est la zone rocheuse du système solaire, elle ne peut agglomérer que des poussières très pauvres en eau. Cette eau qui, plus tard, va permettre la formation de nos océans, d'où est-elle venue ?

Jupiter, après avoir menacé la jeune Terre, va lui donner un petit coup de pouce : la migration et la formation de Jupiter ont permis à des corps froids et riches en eau formés dans le système lointain d'être envoyés vers le système interne, vers Jupiter et donc de percuter aussi

la Terre en formation. Ces corps, astéroïdes et comètes, vont enrichir en eau la boule de matière chaotique qu'est encore la Terre.



Mais alors que la Terre commence à se solidifier, les molécules d'eau restent piégées dans le sous-sol, au cœur du magma. Et déjà un mécanisme vital pour la planète va se mettre en place et faire remonter à la surface une partie de l'eau, un mécanisme encore très actif de nos jours : les volcans.



Les volcans ont été indispensables pour la vie, ils dégagent 95% de vapeur d'eau. C'est un mécanisme essentiel pour maintenir, encore actuellement, notre planète hydratée. Grâce à eux, il y a des échanges entre l'atmosphère, les océans et l'intérieur gigantesque de la planète.



La Terre n'est pas la seule à avoir des volcans. Ils sont nombreux dans le système solaire, il y en a partout mais cela ne veut pas dire qu'il y a de la vie partout !

Grâce à cette diffusion de matière et d'eau des volcans, il y a plus de 4 milliards d'années, le ciel de la terre change, il se charge de nuages et bientôt des **pluies diluviennes s'abattent à la surface, il pleut pendant des millions d'années.**

Les premiers océans se forment mais à peine nés, ils risquent de se volatiliser. Car ce qui est difficile, c'est d'avoir de l'eau liquide. Il faut non seulement avoir de l'eau mais aussi une pression atmosphérique car **si l'atmosphère n'est pas assez dense, l'eau va s'échapper** dans l'espace sous forme de vapeur, comme pour la Lune, par exemple. Heureusement les gaz relâchés par les volcans vont **maintenir une pression atmosphérique suffisante pour que la terre conserve ses premiers océans.**

Mais bientôt les océans de la jeune Terre courent **un autre risque : celui de geler.** Le soleil est encore jeune et faible, la terre a besoin d'un effet de serre pour garder sa surface suffisamment chaude et son eau à l'état liquide. Cet effet de serre apparaît très tôt dans l'histoire de la terre, grâce à la vapeur d'eau et au CO₂ présents en abondance dans l'atmosphère. On sait aujourd'hui que trop de CO₂, ce n'est pas bon, mais à l'époque il en fallait pour que tout ne gèle pas. L'effet de serre produit par le dioxyde de carbone était d'autant plus nécessaire pour augmenter la température, qu'à cette époque-là le soleil était plus jeune et moins lumineux. Les volcans vont donc à nouveau contribuer à maintenir la terre habitable en rejetant en permanence, en plus de la vapeur d'eau, du CO₂. Le CO₂ s'accumule et l'effet de serre augmente et ainsi on sort de la glaciation, les océans se dégagent.

On pense que seulement 400 millions d'années après la formation de la terre, on y trouvait déjà un climat propice à l'eau liquide, donc propice à la vie telle qu'on la connaît mais d'éruption en éruption, **l'effet de serre aurait pu s'emballer et transformer notre planète en fournaise.** Heureusement il y a une soupape de sécurité : le **CO₂ a la capacité de se dissoudre dans l'eau.** Au fil des millions d'années, il se transforme en calcaire et n'agit plus comme gaz à effet de serre, il est piégé, inerte **au fond des océans sous une forme minérale.**



La quantité de CO₂ dans l'atmosphère peut donc varier en fonction de la quantité d'eau liquide à la surface de la terre. **Ce mécanisme permet de réguler, sur des échelles de temps très longues le climat de notre planète.** (C'est ce qui risque d'arriver à nouveau avec la fonte des glaces : il y aura donc plus d'eau pour absorber le CO₂, ce qui permettra de sauver la planète à long terme, mais pas nous !)

Ce qui rend la terre unique, c'est que tout au long de son existence, au moins quatre milliards d'années, les variations de luminosité du soleil ont été compensées par un effet de serre variable. On pense qu'il y a, en fait, **une sorte de thermostat géophysique qui maintient toujours la terre habitable avec des océans à sa surface.**

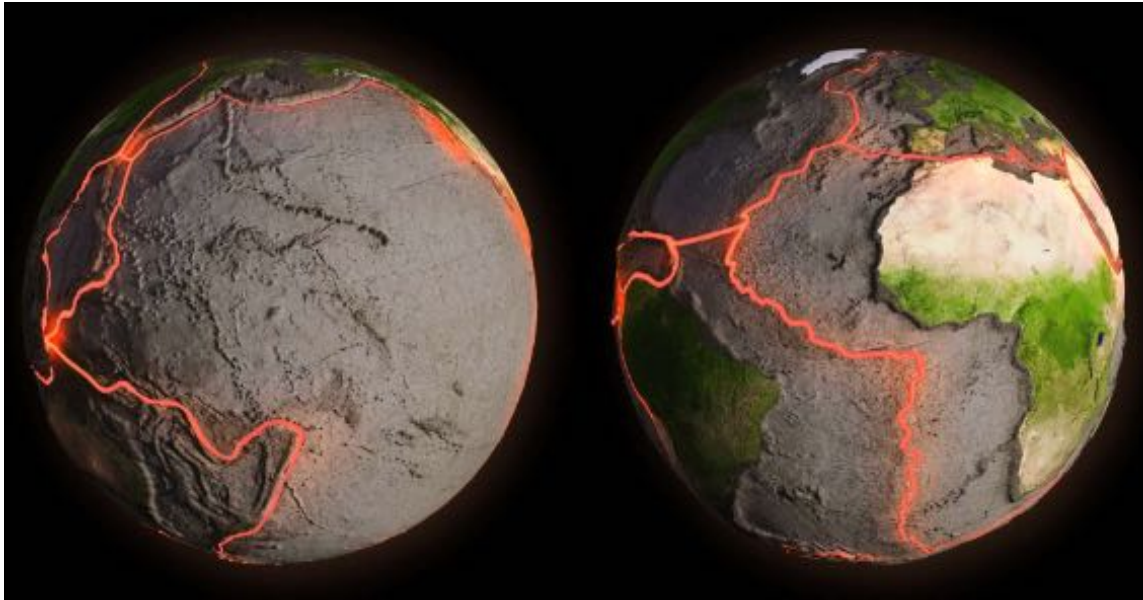
Il manque encore un rouage à ce thermostat pour qu'il fonctionne parfaitement et que notre planète reste hospitalière : au bout de quelques centaines de millions d'années, tout le CO₂ de l'atmosphère risque de se retrouver piégé sous forme de roche calcaire au fond des océans, le thermostat n'aurait alors plus de fluide pour fonctionner et il pourrait tomber en panne.



Falaise en roche calcaire

Un mécanisme, propre à notre planète, va permettre de réinjecter le CO2 dans l'atmosphère : c'est la tectonique des plaques.

La Terre est constituée d'abord d'une croûte, les roches sont froides et rigides puis à l'intérieur, des roches plus chaudes qui peuvent se déformer, ce qu'on appelle le manteau. Les mouvements à l'intérieur de cette roche déformable sont suffisamment intenses pour frotter sur la croûte et par endroits, la fracturer. La croûte terrestre se fragmente.

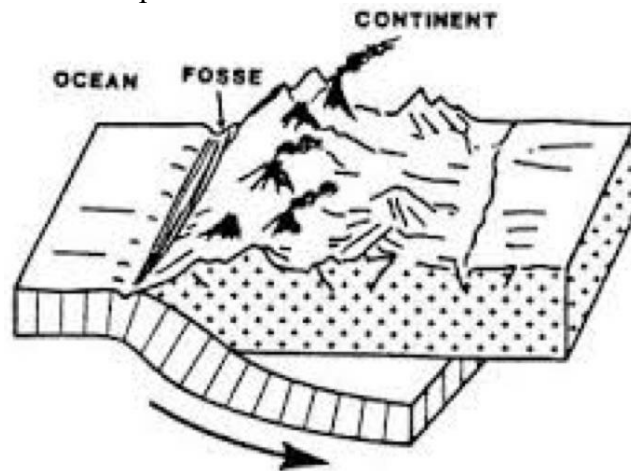


Fractures tectoniques





Là où les plaques se rencontrent, elles se chevauchent et entraînent, jusqu'aux entrailles de la terre, les roches qui jonchent le plancher des océans.



Le recyclage du calcaire commence. Sous la gigantesque pression de la chaleur, les roches entrent en fusion et le magma remonte à la surface emportant avec lui, le CO₂. Au fil des éruptions, il s'échappe sous forme de gaz.



De nouveau dans l'atmosphère, le CO₂ sera plus ou moins capturé par les océans en fonction des conditions climatiques. Par exemple, aux pôles, sa capture sera très grande.



La boucle est bouclée. Ce thermostat géophysique très particulier a permis en continu l'évolution de la vie.

Si la tectonique des plaques avait été un peu différente, au lieu de 10 grandes plaques, il y en aurait eu un peu plus ou un peu moins, on n'aurait pas eu le même recyclage, donc pas la même teneur en gaz carbonique et toute l'évolution de la **biosphère aurait été différente** !

Et derrière cela, se pose une question importante : **cette tectonique des plaques** qui semble être la clé de la vie sur terre, est-ce que c'est quelque chose d'assez courant dans la galaxie ou unique, très rare ? Quand on regarde notre système solaire, **il n'y en a nulle part ailleurs**.

Les conditions de départ étaient les mêmes sur Mars. Au début de son histoire, avec des volcans, du CO₂ et de l'eau, elle a bénéficié d'un environnement proche de celui de la Terre mais à cause de sa petite taille, elle est deux fois plus petite que la Terre, sa gravité n'a pas été suffisante pour retenir son atmosphère, le vent solaire a tout emporté. Elle s'est refroidie trop vite, le recyclage n'a pas eu le temps de se faire.

Donc on devrait se dire que la Terre a **juste la bonne taille** mais alors, pourquoi Vénus qui a la même taille et est aussi placée dans la zone habitable, n'a pas de plaques tectoniques ? Contrairement à la Terre, sur Vénus il n'y a presque plus d'eau. Le manteau est extrêmement sec. Pourtant les deux planètes jumelles se sont formées à partir des mêmes matériaux.

Un évènement très particulier pendant la jeunesse de la Terre pourrait avoir **hydraté ses profondeurs**. Quelques dizaines de millions d'années après sa naissance, la Terre a dû subir un cataclysme énorme en **étant impacté par une planète** de la taille de Mars qu'on appelle **Theia**.



Le noyau de la terre a fusionné avec le noyau de l'impacteur. La fusion est tellement brutale que l'eau contenue dans Theia plonge au cœur de la Terre et se mélange avec l'eau déjà présente. Theia aurait ainsi hydraté les profondeurs du manteau terrestre et ensuite la tectonique des plaques a pu fonctionner grâce à cette eau. Il a fallu cet impact extrêmement fortuit pour permettre l'évolution si particulière de la Terre : **cette catastrophe s'avère finalement bénéfique et la Terre y gagne une nouvelle compagne qui va jouer un rôle décisif dans l'éclosion de notre écosystème : la Lune.**

Le système Terre-Lune est unique dans le système solaire et est aussi unique, à notre connaissance, dans la galaxie. Ce système est particulier car toutes les deux sont de gros objets. Certains astronomes parlent de planètes doubles.

A peine née, la Lune va exercer une forte influence sur la Terre car elle est très massive. A sa naissance, la Lune était beaucoup plus proche de la terre et cette proximité a eu pour conséquence des **effets de marées** plus importants et donc a forcé l'évolution biologique car les marées causées par la Lune contribuent à la dynamique de notre écosystème et au brassage des océans.



Terre et Lune

L'attraction mutuelle entre les deux astres a eu un autre effet crucial : il **a stabilisé l'axe de rotation de la Terre sur elle-même** qui est ainsi resté constant depuis plusieurs milliards d'années.

S'il n'y avait pas eu de Lune autour de la Terre, l'axe de rotation de la Terre aurait fait des oscillations et l'effet de ces oscillations aurait créé une modification rapide du climat qui aurait pu avoir des conséquences importantes sur l'évolution des espèces. Par exemple, en faisant alterner beaucoup plus rapidement des périodes de glaciation et de réchauffement.

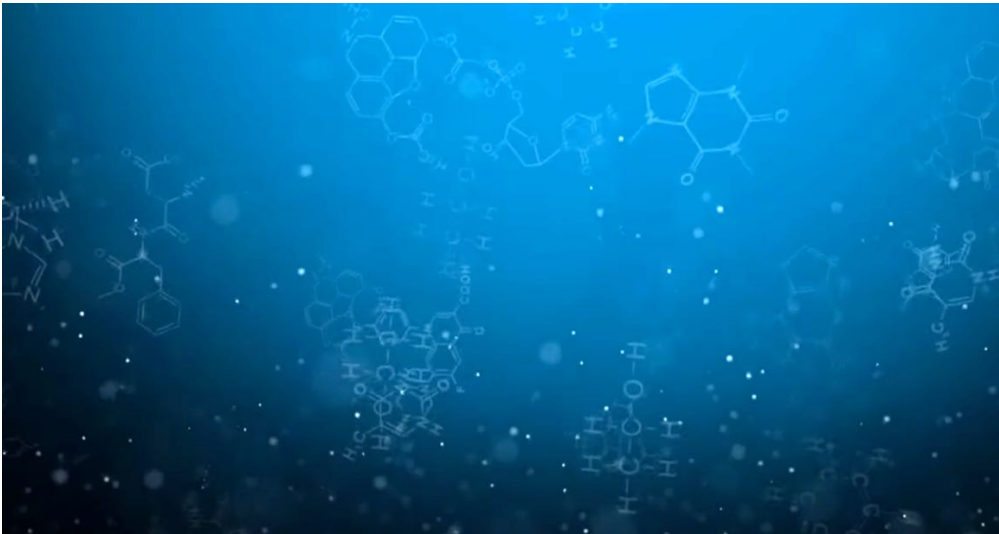
Donc la Lune a permis à la Terre d'avoir un climat suffisamment stable pour accompagner la lente évolution de la vie terrestre. La Terre est devenue un jardin d'Éden.

Si les paramètres de ce choc avaient été un tout petit peu différent, l'histoire de l'évolution sur Terre aurait été différente. Si le choc avait été frontal on ne serait pas là, tout aurait disparu. Si le choc avait été très rasant, on ne serait pas là non plus car l'essentiel des débris auraient été tellement lointains qu'ils n'auraient pas été capables de former un disque dans lequel la Lune s'est reformée.



La Terre possède maintenant un climat stable, une atmosphère et de l'eau liquide.

Tout semble en place pour que la vie apparaisse et évolue. Mais **il manque encore les ingrédients de base de la vie : les molécules organiques**. Tous les organismes vivants sur terre se sont formés à partir des mêmes briques élémentaires, de longues molécules à base de carbone.

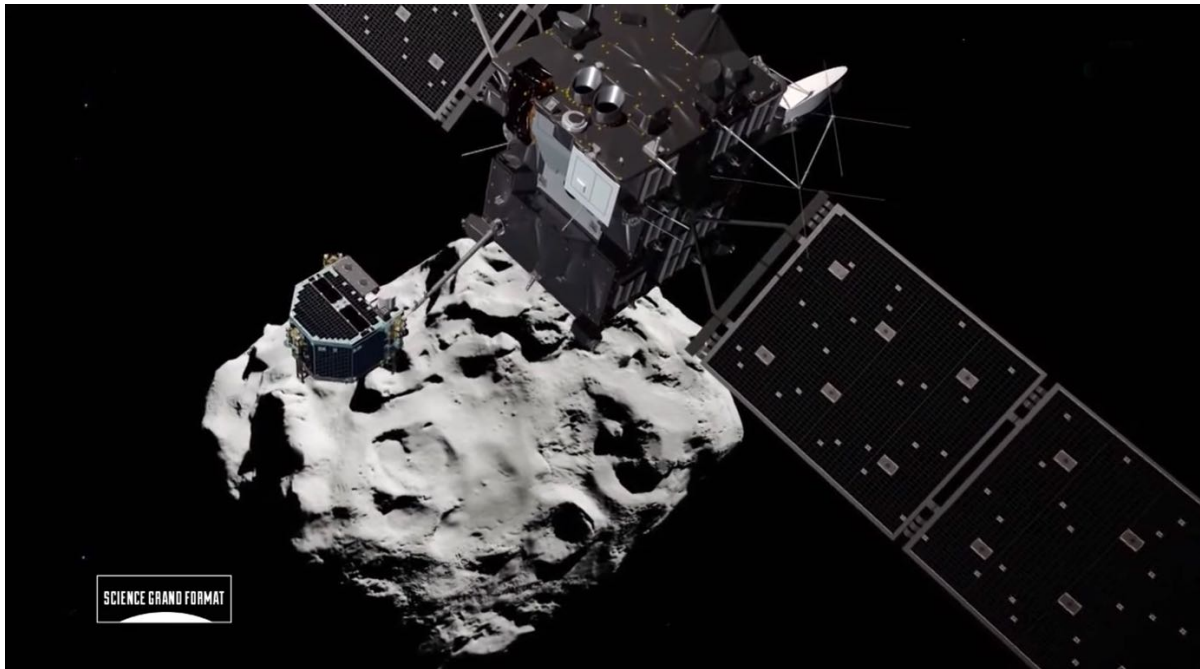


Les scientifiques pensent qu'une grande partie de ces **molécules serait venue de l'extérieur de la Terre. On les trouve dans le milieu interstellaire et aussi dans les météorites**. Certaines comportent 60% de matière organique, ce qui est énorme, et tout cela est venu sur Terre. Les molécules organiques originelles qui auraient ensemencé la Terre ont été conservées dans la zone externe et froide du système solaire. Le mystère du voyage des premières briques du vivant vers notre planète a récemment été éclairci par la mission Rosetta.

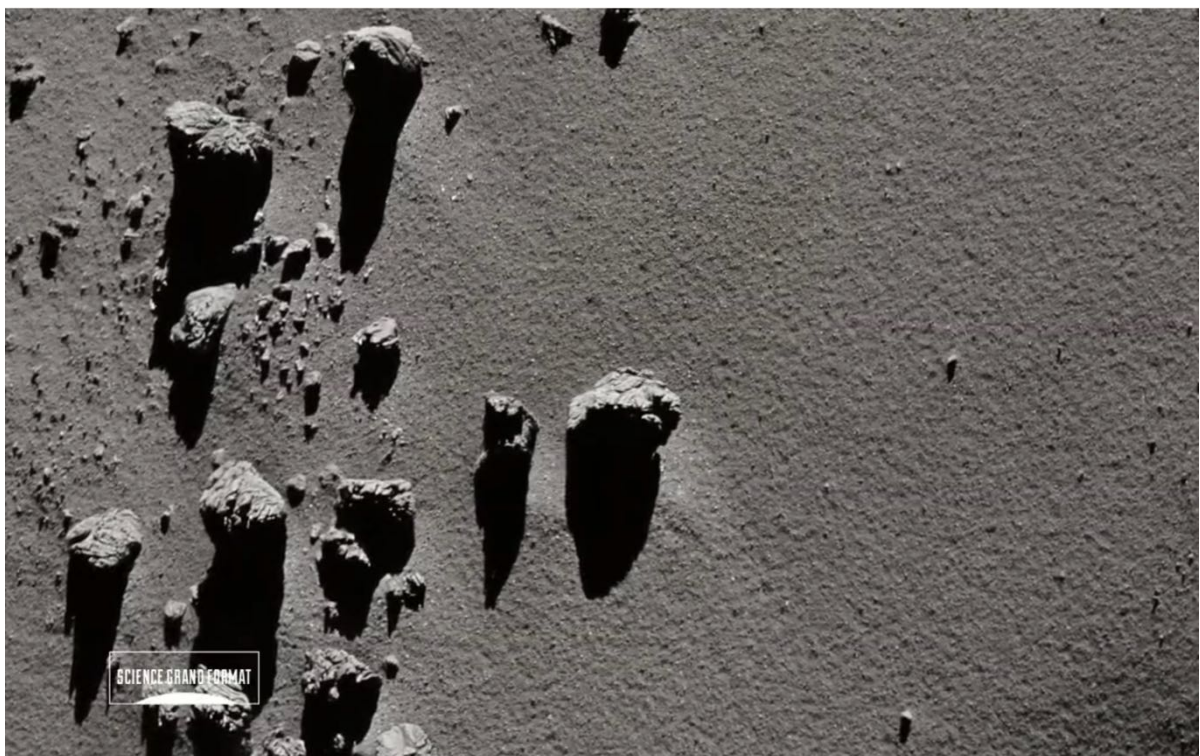
C'est la première à se poser sur une comète, grande d'environ 4 km, l'objet le plus vieux du système solaire tel qu'il était quand il s'est formé, il y a 4,6 milliards d'années.



Comète



Rosetta s'approchant de la comète



Quand on regarde cette photo qui a une très bonne résolution, on voit des grains de quelques millimètres. Chacun de ces grains est un ensemble de molécules organiques structurées. Dès les premières analyses, les scientifiques réalisent que les comètes sont très différentes de ce qu'ils avaient envisagées jusque-là. Il n'y a pas du tout d'eau à la surface de cette comète, ils pensaient que c'était essentiellement de la glace avec quelques molécules dedans. En fait, c'est le contraire, l'ensemble est de la matière organique. Depuis la naissance du système solaire, comètes et astéroïdes gravitent dans les régions froides, là où ils ont capturé et stocké les molécules organiques originelles.

Ensuite les comètes et les astéroïdes, véritables messagers de la vie, transportent ces molécules jusqu'à l'intérieur du système solaire et en passant à proximité d'une planète, les briques du vivant vont être disséminées à la surface, **la planète va êtreensemencée.**



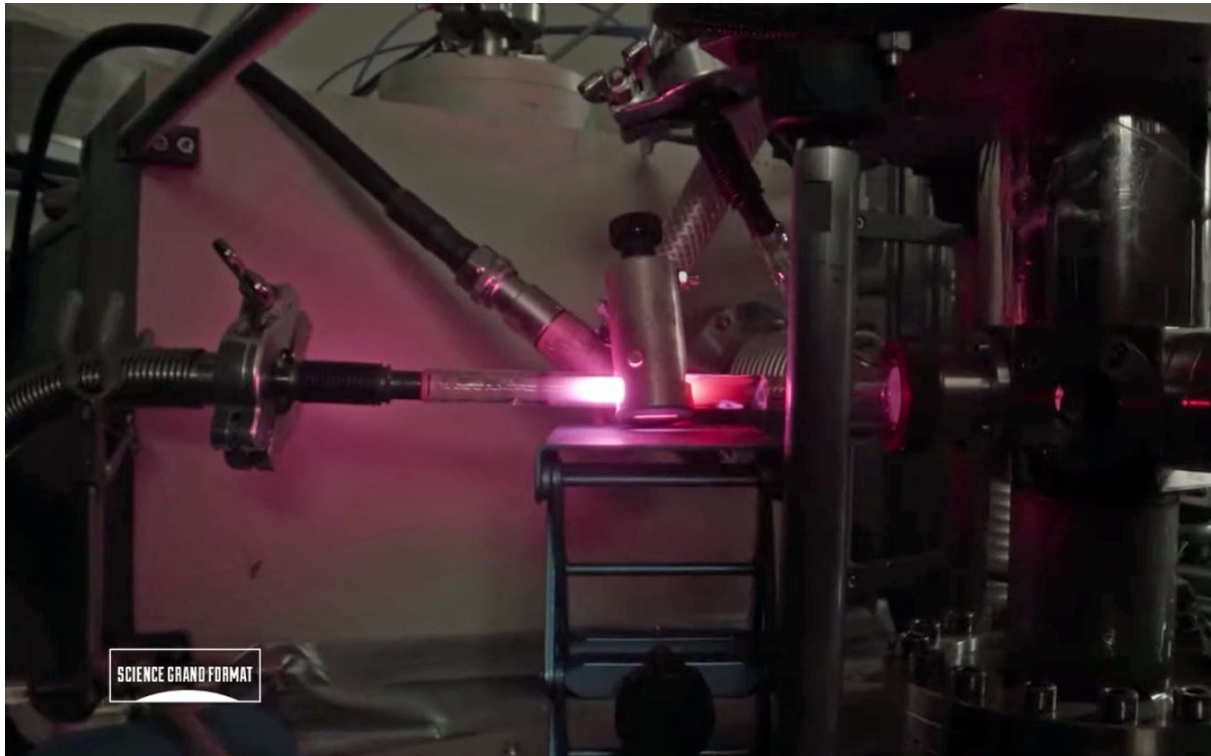
A partir de ces matériaux-là, les scientifiques souhaiteraient comprendre quelles étaient les ingrédients de départ qui, mis dans une eau particulière qui était celle des océans terrestres primordiaux, ont permis de constituer la grande chaîne de la biologie terrestre.

Cette chaîne commence avec les molécules simples du nuage de poussière des origines et va jusqu'aux briques élémentaires à partir desquelles la vie terrestre a évolué.

Mais cette matière qui est arrivée dans les océans terrestres est une matière carbonée qui est passée par tout un tas de stades d'évolution : des températures très particulières, des moments très particuliers où une étoile très particulière, notre soleil, a envoyé un rayonnement très particulier. **Cette matière organique a continué à se modifier pendant son voyage vers notre planète, elle est donc le fruit d'une histoire singulière que les scientifiques tentent de reconstituer.**

En laboratoire, le long voyage d'une comète artificiel va être simulé en accéléré.

L'expérience est extrêmement intéressante c'est-à-dire que l'on part uniquement de trois petites molécules de base : eau, méthanol, ammoniac. On leur soumet de l'énergie et à la fin, on forme des milliers de molécules différentes !



L'expérience a réussi. Dans ce petit réacteur chimique, il y a maintenant des molécules organiques simples, on se rapproche des briques élémentaires à partir desquels la vie se construit.

Dans ces molécules, annonciatrices de la vie, on va trouver des acides aminés.

Ils sont à la base de toutes les protéines présentes chez chaque être vivant. Dans ces gouttelettes, on trouve aussi des sucres indispensables à la construction de notre ADN et ces molécules-là se sont retrouvées sur Terre. Ce qu'on appelle les **météorites sont, en fait, les filles des comètes et des astéroïdes qui ont traversé l'atmosphère et qui sont venus finalement déposer la matière organique extraterrestre à la surface de la Terre primitive.**

Cette matière organique termine son voyage dans les océans de la Terre primitive.



Il faut maintenant découvrir quels sont les paramètres environnementaux ayant permis à cette matière de continuer à évoluer jusqu'à former des organismes vivants.

Ce sera la prochaine étape de cette expérience, la matière organique issue de la comète artificielle sera alors placée dans un environnement proche de celui de la Terre primitive. Mais ce qui est intéressant dans l'approche expérimentale, c'est qu'on peut changer les conditions de l'expérience, par exemple, changer la température de l'eau, changer la longueur d'onde du soleil imaginaire qu'on utilise. Et ça, c'est extrêmement important évidemment pour déterminer finalement quels sont les différents paramètres, est-ce qu'ils sont restreints ou non, est-ce que c'est unique à la Terre ou est-ce qu'on peut aller vers d'autres environnements, que ce soit dans le système solaire ou sur des exoplanètes.

Des molécules organiques sont présentes partout dans l'univers mais la seule présence des ingrédients de base du vivant n'est peut-être pas suffisante pour que la vie démarre. Beaucoup de scientifiques partent du principe que si on a de l'eau, de la matière organique et un petit peu d'énergie, cela peut être des conditions suffisantes pour obtenir les meilleures chances de vie quelque part.

Les chercheurs qui ont fait ces expériences, pensent que c'est faux c'est-à-dire qu'en fait, **la matière organique est nécessaire mais pas suffisante en elle-même pour voir émerger la vie. Il faut un environnement bien particulier, c'est cet environnement-là qui va déterminer la capacité que va avoir la matière de s'organiser pour aller vers le vivant.**

Pour passer de l'inerte aux vivants, il faut un ensemble de conditions environnementales spécifiques que nous commençons tout juste à entrevoir. Notre planète a manifestement offert très tôt des conditions favorables à l'éclosion de la vie. En effet, l'eau liquide est présente sur terre depuis 4,4 milliards d'années et les plus anciennes traces de vie connues datent de 3,8 milliards d'années. A l'échelle des temps géologiques la vie est donc apparue rapidement mais quels étaient les caractéristiques de l'environnement qui a rendu cela possible ?

Le **volcanisme et l'hydrothermalisme** (circulation souterraine d'une eau chaude) seraient une constante de la Terre primitive.



A la surface de la Terre et au fond des océans, il y a de l'hydrothermalisme

La vie microbienne y devient abondante avec de nombreuses variétés de bactéries organisées en communauté.

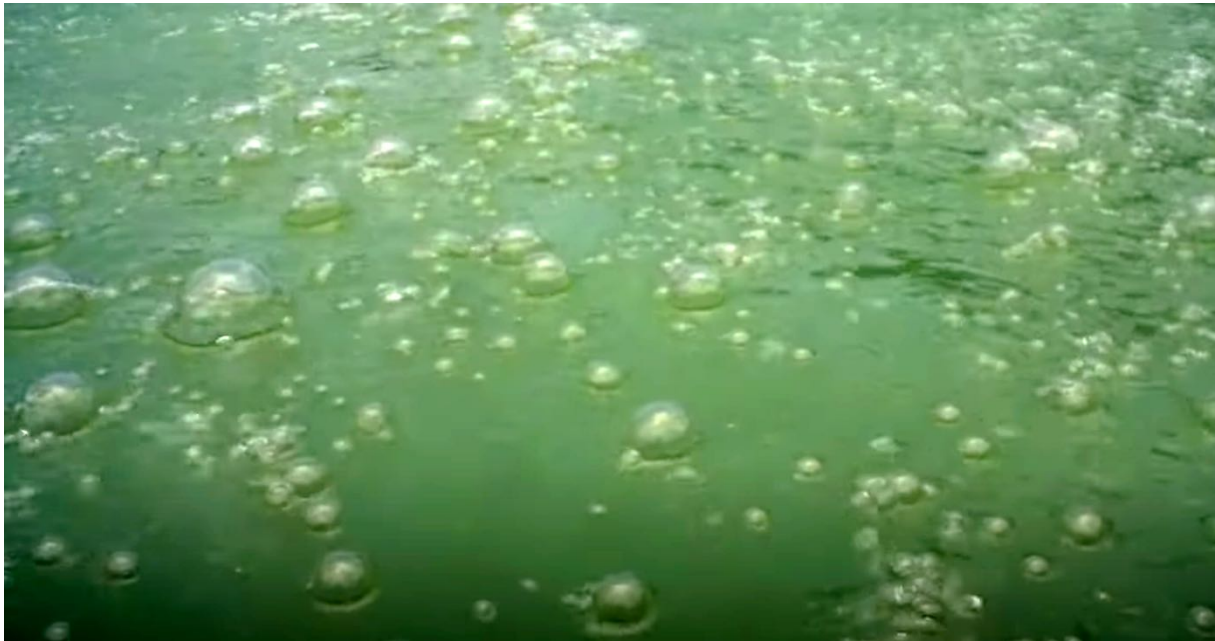




En étudiant des environnements hydro-thermiques, les scientifiques peuvent imaginer les biotopes qui ont été favorables à l'apparition de toutes les formes de vie terrestre. On pense que la vie aurait pu démarrer dans de petits lacs, de petites mares qui ont permis aux molécules organiques de se rassembler et de se développer.



Un autre risque qu'aurait pu courir la Terre fut qu'il y ait trop d'eau. S'il y avait eu un peu plus d'eau, on aurait eu des océans plus épais, peut-être de plusieurs dizaines de milliers de mètres d'épaisseur et là, on n'aurait pas eu de continents, on aurait eu une immense planète océan mais pas de surface solide, les interactions entre les éléments auraient été différentes et peut-être pas propices à la vie. On se demande si le fait que **la Terre ait juste la bonne quantité d'eau** pour qu'il y ait **70 %** d'océans, des continents et une interaction entre les deux, est ce qui a permis la vie. Les flaques des sources hydrothermales offrent un environnement idéal pour que la chimie de la vie démarre : de l'eau, de la chaleur et des éléments chimiques venus du sous-sol.



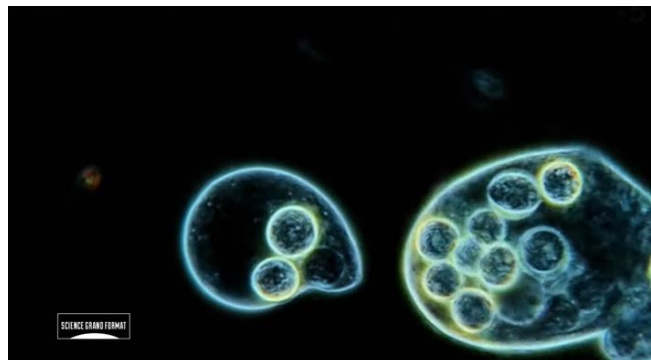
Pendant quelques centaines de millions d'années, les molécules vont s'associer, testant toutes les combinaisons possibles et gagner en complexité.

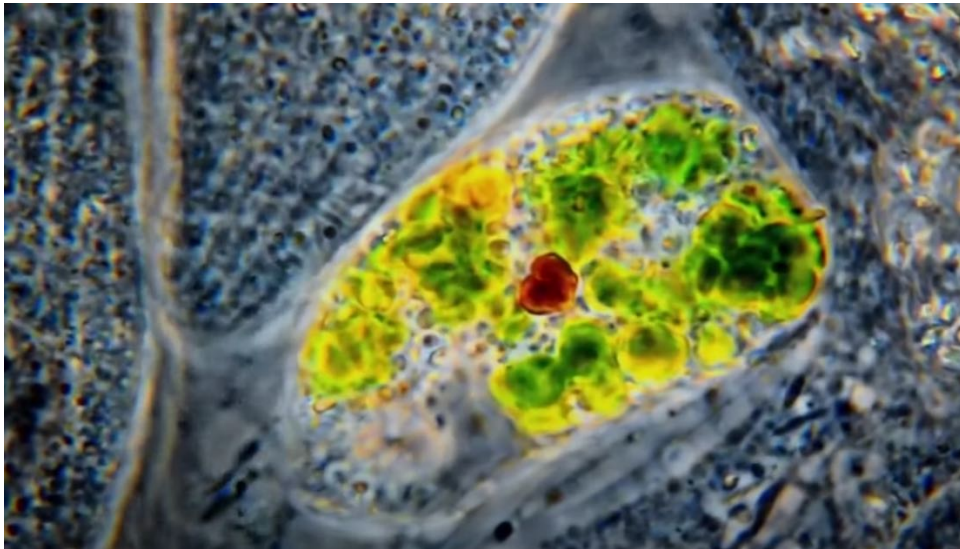
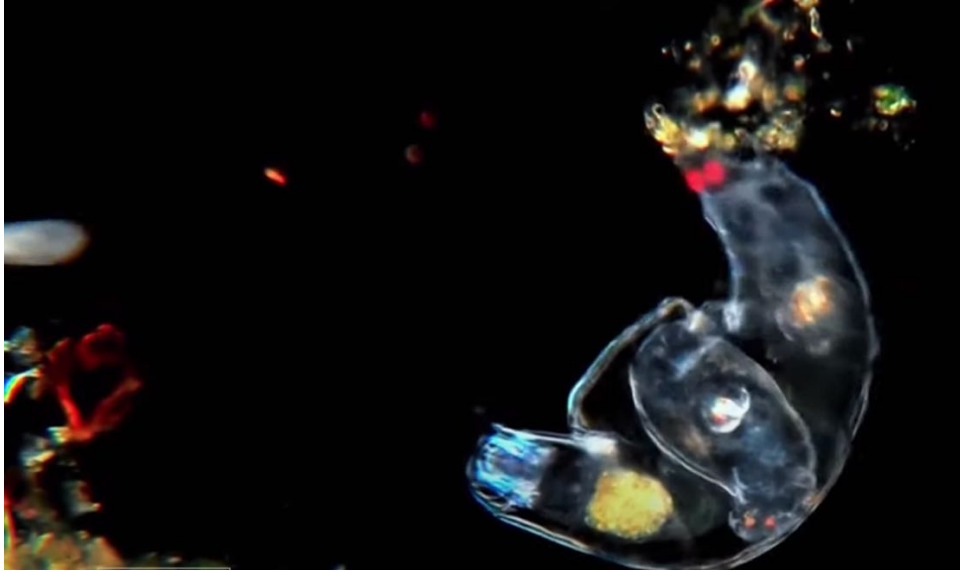
Pour que cette chimie évolue finalement vers la vie, les éléments chimiques doivent pouvoir se concentrer en étant isolés du milieu extérieur, **il faut maintenant inventer la membrane cellulaire.**



Si, à un moment donné, une bulle de graisse englobe les éléments, on a le premier individu qui apparaît et dès que cet individu se coupe en deux, on a la première population. La vie a commencé.

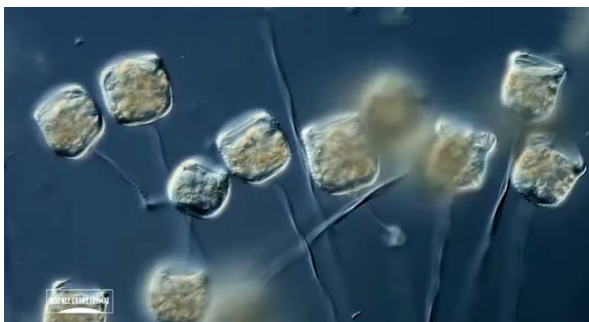
A peine nées, les premières formes de vie sont encore fragiles, tout juste protégées de l'environnement extérieur par une membrane. Elles vont pourtant réussir à développer leur métabolisme et à se spécialiser. La vie va enfin pouvoir se diversifier, testant des formes multiples.





La vie s'est diversifiée énormément mais **à partir d'un seul ancêtre commun universel.**

Peut-être qu'au départ, il y a eu plusieurs débuts de vie, timide, balbutiante, mais il y en a une, à un moment donné, qui a pris le dessus et cela on le sait parce que, même si on est fasciné par l'incroyable diversité des êtres vivants - les animaux, les plantes et l'énormissime variété et diversité des micro-organismes - ils ont tous quelques caractéristiques communes :





Tous sont basés sur la même biochimie, on a tous de l'ADN comme matériel génétique et notre fondement à tous est basé sur les mêmes protéines.

Tout ce qui vit, aussi bien dans les bactéries, dans les champignons, dans les oiseaux que dans les baleines ou dans les plantes, tout cela est fait avec les mêmes choses. Nous sommes tous frères de la plus petite des bactéries à la plus belle des girafes. Tous les habitants de la Terre portent en eux les traces de ce lointain passé commun car ils sont construits à partir d'un nombre limité d'ingrédients de base identiques.

Et pourtant, il y a quatre milliards d'années, d'autres briques élémentaires étaient disponibles sur la Terre primitive. On a retrouvé des météorites qui se sont cassées, il y a des milliards d'années, et dans ces météorites, **on trouve 60 à 80 acides aminés.**

Nous n'en utilisons que 20 !

Pourquoi la vie a-t-elle choisi ceux-là ? Peut-être une question de hasard, de chance. C'est la combinaison du hasard et des contraintes environnementales de la Terre primitive qui ont abouti à cette sélection restreinte parmi les nombreuses briques élémentaires disponibles.

On peut très bien imaginer un monde dans lequel les êtres vivants seraient constitués de 28 acides aminés et pas forcément les mêmes que nous. Cela ne donnerait pas du tout les mêmes formes de vie, ce serait très, très différent.

Mais on ne peut toujours pas expliquer comment nous sommes passés de la chimie à une biologie si complexe, capable de créer faune et flore avec chacun, des mécanismes tellement compliqués. L'exobiologie est une science interdisciplinaire qui a pour objet l'étude des facteurs et processus, notamment géochimiques et biochimiques, pouvant mener à l'apparition de la vie d'une manière générale et de son évolution.

Une première étape est de chercher sur Mars, en étudiant les extractions des matières organiques dans son sous-sol, retracer les premières étapes de ce qui a fait l'évolution de la vie sur Terre. Nos débuts furent semblables mais la Terre a heureusement connu une évolution bien différente de celle de Mars, notre planète a pu conserver son atmosphère et son eau liquide, ainsi la vie a continué à progresser en inventant encore et toujours.

Un autre bouleversement, survenu il y a 2,5 milliards d'années dans les océans, changera toute l'histoire de la vie sur Terre : ces roches blanches.



Ce fut une révolution à l'échelle de la planète et pourtant elle fut provoquée par des micro-organismes. Nous en avons déjà parlé, ce sont les stromatolithes. Ces cailloux, c'est l'histoire de la Terre, l'histoire de la biologie, c'est l'évolution. **Leur capacité incroyable de transformer l'énergie en matière est phénoménale !**

En fait, nous sommes les enfants de ce type de micro-organismes, ce sont nos parents en quelque sorte. Ce ne sont pas de simples cailloux : ces **structures calcaires** sont le résultat d'un processus innovant qui **utilisent le rayonnement solaire comme source d'énergie**.

Les stromatolithes sont produits par des communautés microbiennes complexes, en particulier les cyanobactéries.



Ci-dessus, on voit très bien des colonies de **cyanobactéries** vertes qui expriment la couleur typique de la **chlorophylle, un pigment qu'ils utilisent pour faire la photosynthèse.**

La grande innovation des cyanobactéries, c'est d'être capable de fabriquer leur propre nourriture, du glucose, à partir des trois éléments les plus abondants sur la terre primitive : l'eau, le CO₂ et la lumière. Ce processus, **la photosynthèse, produit également du calcaire.** Celui-ci entoure et protège les cyanobactéries, leur permettant de former des colonies.

Il y a 2,4 milliards d'années, les cyanobactéries vont bénéficier d'un atout inattendu pour coloniser et dominer l'écosystème terrestre : **la photosynthèse produit un déchet, l'oxygène,** un véritable poison pour les premiers organismes qui peuplaient la terre.

Cet oxygène rejeté en grande quantité dans l'atmosphère terrestre est toxique pour beaucoup d'autres organismes primitifs qu'il va décimer, de sorte qu'ils vont laisser le champ libre aux cyanobactéries.

Les cyanobactéries vont ensuite coloniser cet environnement oxygéné c'est-à-dire tout type de milieu où il y a de la lumière et leur présence massive change notre planète : l'atmosphère contient maintenant de l'oxygène. Cet oxygène permet également à la vie terrestre de bénéficier d'une nouvelle protection.

Dans la haute atmosphère, sous l'effet du rayonnement ultraviolet, l'oxygène se transforme et offre à la terre un bouclier vital : la couche d'ozone. La surface de la terre sera alors protégée des dangereux rayonnements ultraviolets et de nouvelles formes de vie pourront évoluer à l'air libre.

Image de la Terre à contre-jour

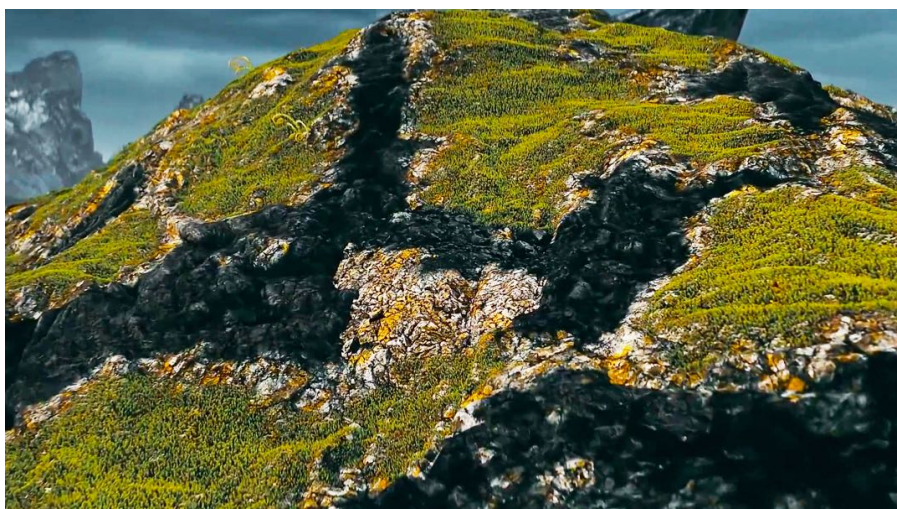


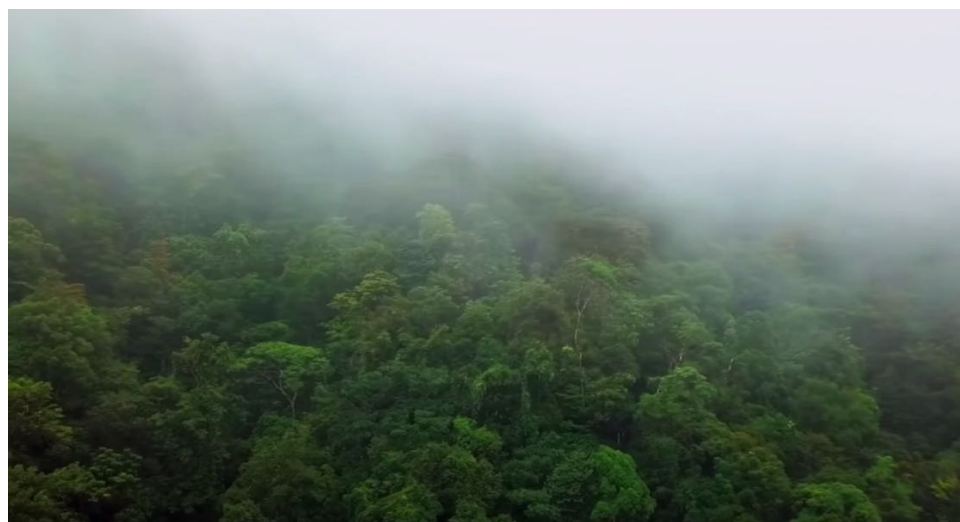
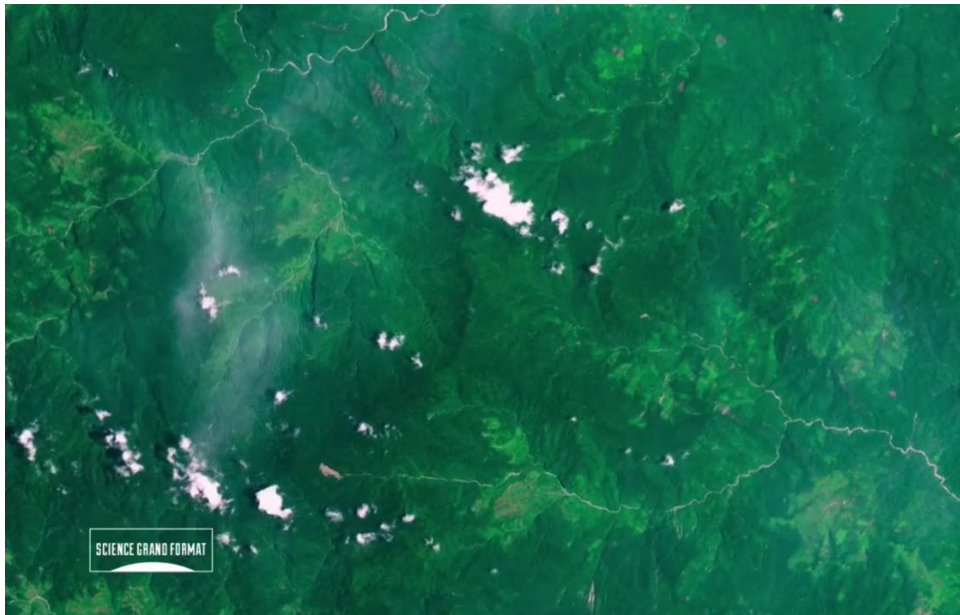
On voit sur cette image que **l'atmosphère protectrice n'est qu'un film incroyablement fin qui a été fabriqué par la vie elle-même au cours du temps.** Et c'est là qu'on réalise à quel point ces particularités ont été essentielles, non seulement pour l'évolution de la Terre mais aussi pour ce qu'elle porte c'est-à-dire le vivant.

Grâce aux cyanobactéries, un fascinant cercle vertueux se met en place.

La Terre a d'abord accompagné le développement de la vie mais ensuite, avec l'oxygène, c'est la vie qui change la Terre. Elle devient de plus en plus propice à l'évolution de la vie.

Notre planète change de visage, elle devient la planète verte, la couleur de la chlorophylle. Une fois adaptée à l'oxygène, la vie va maintenant tirer parti de ce nouveau super carburant.





C'est ici qu'il y a un chaînon manquant pour expliquer le passage de simples molécules organiques aux organismes multicellulaires très complexes. On ne retrouve pas de fossiles prouvant toute l'évolution qui a dû être nécessaire, comme par exemple un début de poisson ou de coquillage, pour parvenir finalement à un être achevé.

Les scientifiques émettent l'hypothèse que l'oxygène étant très énergétique, c'est lui qui aurait permis l'apparition des organismes multicellulaires. Ceux-ci vont pouvoir évoluer grâce à cette nouvelle source d'énergie capable de faire fonctionner des machineries biologiques de plus en plus complexes. Des organes comme les muscles, le foie ou le cerveau nécessitent beaucoup d'énergie pour se former mais si cette hypothèse était confirmée, toutes les conditions seraient réunies pour que l'évolution puisse se débrider et inventer de nouvelles formes de vie.



Le tarsier, un mini primate

Cette évolution va façonner notre planète et sa diversité, elle est indissociable de la vie terrestre. C'est un monde très beau qui se développe mais impitoyable, c'est un monde plein d'interactions entre différents types d'organismes et l'on comprend pourquoi Darwin a imaginé sa théorie de la sélection naturelle en découvrant la nature. On y voit à l'œuvre ces mécanismes de sélection tous les jours.

Notre écosystème est l'aboutissement d'un long dialogue entre la vie et l'environnement et ce dialogue est orchestré par les lois de l'évolution. Cela veut dire que lorsque les individus sont presque identiques, ils vont se trouver dans des circonstances diverses et variées et puis, dans la population de ces individus, certains sont porteurs d'une petite particularité et cette petite particularité peut leur donner un avantage compétitif pour l'accès à la nourriture ou à la reproduction et donc ils vont se reproduire plus vite et petit à petit, ils vont supplanter ceux qui ne portent pas cette particularité.

C'est l'environnement qui a sélectionné les individus les mieux adaptés aux circonstances dans lesquelles ils se trouvent.

Puis l'environnement lui-même va être modifié par l'activité biologique de ces individus.

L'évolution c'est un aller-retour permanent entre le milieu et ses habitants.

Elle ne mène nulle part, il n'y a pas une ligne droite disant que l'évolution va de la bactérie à l'homme. Elle va de la bactérie à l'homme mais elle va aussi de la bactérie à la bactérie c'est-à-dire que **l'évolution, c'est une espèce d'éventail qui va dans toutes les directions possibles, l'évolution explore l'espace des possibles biologiques**. On est dans un mouvement permanent et ça, c'est un processus qui fait, à la fin, quelque chose d'absolument unique.

C'est une dynamique riche qui anime la Terre depuis les origines.

Stimulé par la diversité des environnements et des climats, **la vie invente en permanence**. D'un continent à l'autre, les espèces vont évoluer, trouvant de nouvelles stratégies.

Si on relançait l'évolution depuis l'origine de la vie, est-ce qu'on arriverait au même résultat ? On dit que l'histoire se répète. En réalité, non. Il y a des choses qui se répètent dans l'histoire mais l'histoire est toujours différente. Pareil pour la vie. Si on relançait les dés, il y a peu de chance qu'on trouverait les animaux, les plantes comme on les trouve aujourd'hui.

L'évolution sur Terre, c'est la rencontre entre les hasards de la génétique et l'environnement. Un environnement qui, lui-même, est le résultat d'une suite de hasards.

Du hasard multiplié par du hasard ferait de la Terre une planète unique, encore faut-il croire au hasard ! Mais hasard ou pas, notre planète Terre n'en reste pas moins unique.

Les écosystèmes dans lesquels nous nous trouvons, que ce soit la neige, le désert, le sable, la mer, on ne les retrouve jamais ailleurs. L'écosystème terrestre est le résultat d'un processus qui paraît aléatoire, les probabilités pour que l'évolution ait abouti à un résultat similaire sur une autre planète semblent donc très faibles.

Depuis 25 ans, les astronomes ont découvert de nombreuses planètes dans notre galaxie et ils ont acquis la certitude qu'autour de la majorité des étoiles, il y a des planètes. Le nombre de planètes dans l'univers doit donc être inimaginable. C'est toujours l'argument que l'on oppose à ce changement de paradigme, cette idée de Terre unique. On dit qu'il y a des milliards de planètes dans une galaxie et il y a des milliards de galaxies dans l'univers.

C'est vrai. Mais il y a des milliards d'êtres humains sur Terre, pourtant personne ne s'étonne qu'on soit tous différents. Donc la question n'est pas qu'il y ait des milliards de galaxies, c'est que, en termes de probabilités, il se peut très bien que des milliards de milliards ne soient pas suffisants pour que les planètes puissent exister à l'identique. Donc dans tous les cas, si l'on découvre une forme de vie, autre part dans l'univers, elle sera vraisemblablement surprenante et fondamentalement différente de la vie terrestre.

On ne doit pas s'attendre à trouver un arbre sur une autre planète et un écosystème à l'identique au nôtre. Même si la vie est apparue sur une autre planète, basée sur une chimie équivalente, il n'est pas sûr qu'il y ait les mêmes animaux et plantes, s'il y en a !

Ne pensons pas que l'on puisse retrouver notre environnement sur une autre planète, c'est totalement illusoire. Est-ce qu'il y a une planète B, la réponse est très dure mais c'est non, il n'y

a pas de plan B. Et c'est criminel de le faire croire : il n'y a qu'un seul vaisseau spatial pour l'écosystème terrestre, c'est la Terre et il n'y en aura pas d'autre.



Au fil de ses quatre milliards d'années d'existence, la Terre a abrité une vie de plus en plus diversifiée, inventant sans cesse de nouvelles stratégies pour survivre aux cataclysmes et aux changements du milieu. La vie semble aller toujours de l'avant, comme si elle cherchait à perdurer sous une forme ou une autre.

« *Chaque chose s'efforce, autant qu'il est en elle, de persévérer dans son être* » a écrit Spinoza !

Aujourd'hui l'écosystème terrestre, cette belle machine, paraît sur le point de s'enrayer par les attaques brutales et répétées de notre espèce, mais nous faisons partie de cet écosystème, de cette biodiversité. Si on la détruit, on va peut-être disparaître mais ce n'est pas nous qui partirons en dernier. Nous disparaîtrons bien longtemps avant les bactéries. Nous ne sommes qu'une feuille au bout d'une tige, longue de millions et de milliards d'années avec d'autres feuilles comme toutes les bactéries, comme tous les arbres, comme toutes les plantes, comme tous les micro-organismes qu'il y a sur la planète.

En fait, le fondement même de la vie est le changement, l'évolution, les choses évoluent toujours. Nous ne sommes plus aujourd'hui ce que nous étions hier et ne sommes pas encore ce que nous serons demain. Le changement c'est la vie, ce qui est inerte est mort. Comme pour tout sur Terre, notre salut dépend de notre évolution, donc de notre capacité à nous adapter. Nous ne sommes qu'un élément de la biodiversité. Rien de plus.



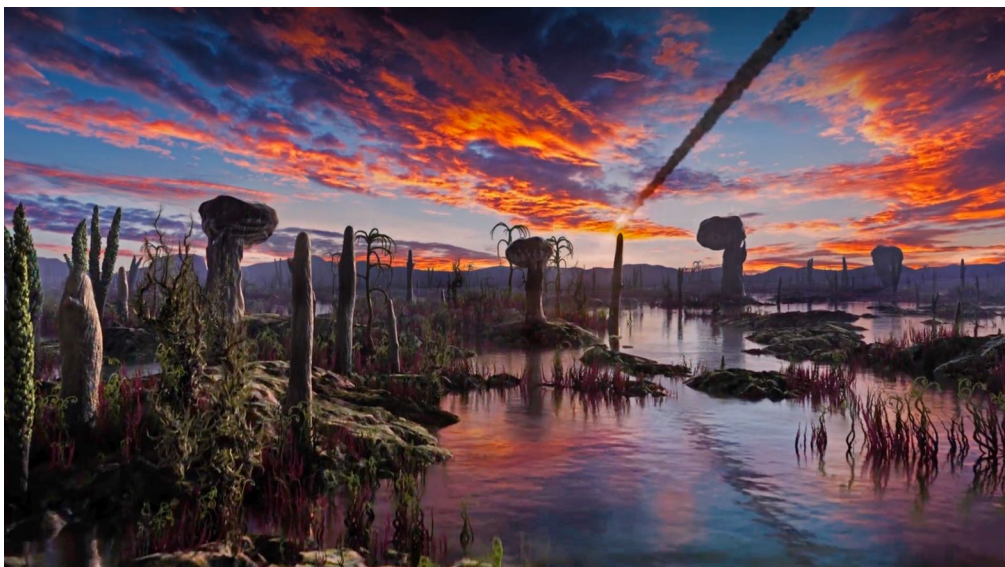
Petit aperçu chronologique, pour mémoire :

- Formation de la Terre, il y a 4,6 milliards d'années
- L'eau liquide est présente sur Terre depuis 4,4 milliards d'années
- Les plus anciennes traces de vie connues datent de 3,8 milliards d'années.
- Début de la photosynthèse et donc de l'oxygène, il y a 2,5 milliards d'années
- Insectes depuis 425 millions d'années
- Mammifères dont les dinosaures, depuis 230 millions d'années
- Météorite avec extinction des dinosaures, il y a 65 millions d'années
- Premiers grands primates, il y a 7 millions d'années
- Le genre Homo, il y a 2,8 millions d'années
- Homo Sapiens, il y a 300 000 d'années

Pour le plaisir, quelques images « imaginaires » !



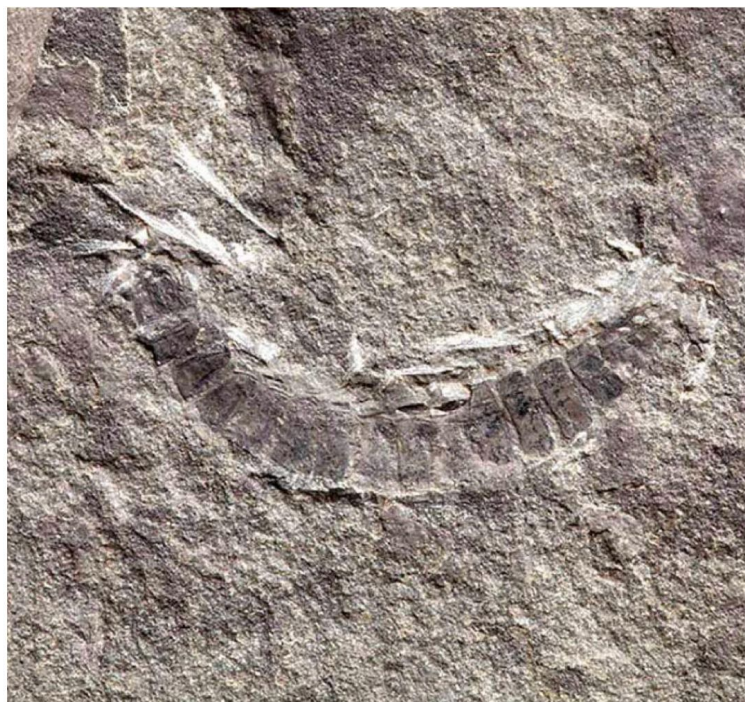
Météorite et extinction des dinosaures





Les premiers grands primates, les hominidés, viendront 60 millions d'années plus tard.





^ L'âge de ce diplopode a été établi grâce à la datation au zircon, plus précise que la technique de l'horloge moléculaire.

PALÉONTOLOGIE

CE FOSSILE EST LE PLUS VIEIL ANIMAL TERRESTRE CONNU

Avec ses airs de mille-pattes, ce petit diplopode de l'espèce éteinte *Kampecaris obanensis* est le plus vieux fossile connu d'arthropode (la branche des insectes, araignées, crustacés...) et, plus largement, d'animal terrestre ! Découvert sur l'île écossaise de Kerrera par des paléontologues américains, l'animal aurait vécu il y a 425 millions d'années, durant le Paléozoïque. Le fossile a été daté grâce au zircon, un minéral qui reste intact plusieurs milliards d'années. "Cette datation donne l'âge réel, tandis que la méthode habituelle, par horloge moléculaire, peut être faussée", précise Michael Brookfield, l'un des membres de l'équipe. Ainsi, le fossile serait 75 millions d'années plus jeune que ce qui avait d'abord été estimé. Ce qui bouscule les connaissances sur l'évolution des espèces du Paléozoïque : "Les premières communautés ont évolué plus tard et plus rapidement que ce que nous pensions", avoue le chercheur. Majoritairement aquatiques, elles auraient donc évolué en écosystèmes forestiers complexes en seulement 40 millions d'années ! **M.A.**

TAKESHI INOMATA - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY