



Guy MAURIN

Le climat de notre planète : les premiers jours

1. Introduction

Notre planète existe depuis 4,6 milliards d'années ou 4,6 Ga. Nous disposons de mesures météorologiques de notre planète depuis 150 ans ce qui est vraiment peu et incite à chercher comment le climat a évolué avant. Les mesures des premiers jours de notre planète sont rares mais dans l'espace, plus on regarde loin, plus on observe un passé lointain. Nous allons donc découvrir les théories qui font l'objet d'un certain consensus car elles sont supportées par les observations, mais restent ouvertes à la discussion et au doute scientifique.

2. Avant la naissance de notre planète

Au tout début, au moment du big bang, il y a 13,7 milliards d'années, il n'y avait que des particules élémentaires, avant qu'elles ne composent les protons, neutrons et électrons de nos atomes. Elles constituaient un milieu très dense et très chaud. Elles se sont combinées pour créer des atomes légers et émettre de la lumière, des photons dont le Rayonnement Fossile Micro-ondes est toujours visible. L'univers a commencé son expansion et l'a poursuivie.

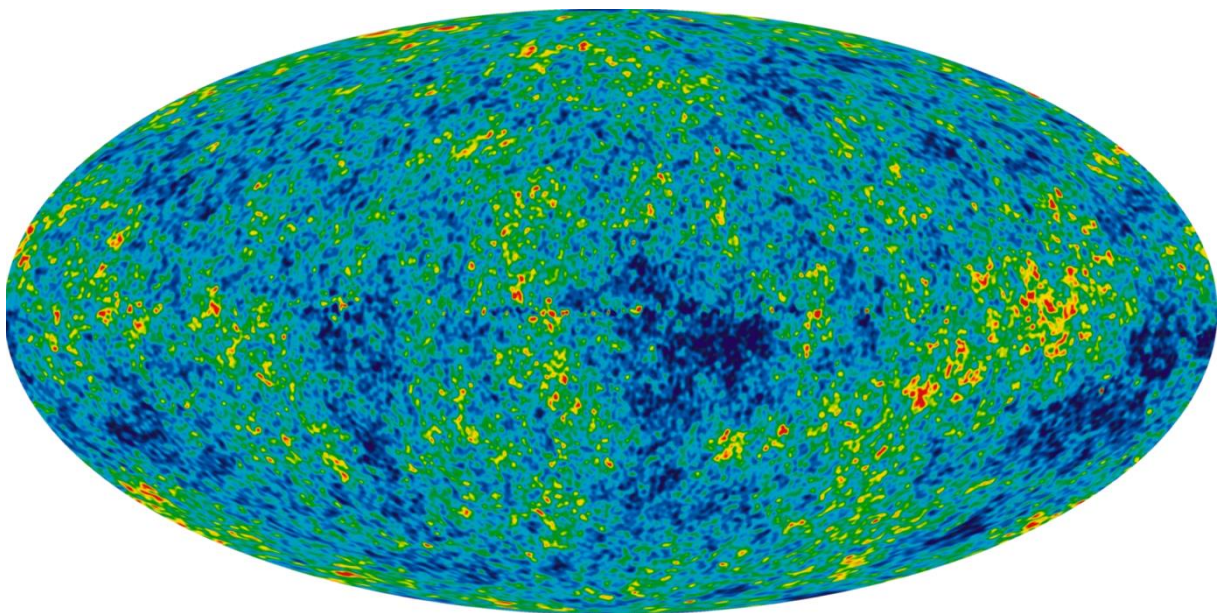


Figure 1 : Fonds Cosmologique Micro-onde Satellite WMAP NASA

Lors de cette nucléosynthèse primordiale, les atomes les plus simples, l'hydrogène et l'hélium ont été créés, dans une proportion en masse de 75% pour H et 25% pour He ; ces 2 atomes légers sont toujours les atomes les plus abondants dans l'univers dont la composition a peu évolué : 74% H et 24% He.

En fait, les théories élaborées pour expliquer l'expansion accélérée de l'univers font appel à de la matière et à de l'énergie noires (invisibles) qui représenteraient 95% de la masse de l'univers contre 5% pour la partie visible.

Nous allons nous concentrer sur l'univers visible : le fait que H et He soient si majoritaires est en faveur de la théorie du big bang et de la naissance de l'univers à partir de particules élémentaires puis d'atomes légers.

Comme notre planète Terre est une planète tellurique, ce qui signifie rocheuse par opposition à gazeuse, des atomes plus lourds se sont formés avant la naissance du système solaire. Ces atomes lourds se sont formés dans des étoiles.

Comme on peut l'observer sur la figure 1 du Fonds Cosmologique Micro-onde, la densité de matière dans l'univers est variable. Les zones plus denses s'agglomèrent par gravité et attirent la matière de leur voisinage, cela s'appelle l'accrétion ; lorsque la masse d'hydrogène est assez élevée, la densité et la température deviennent suffisantes pour que la fusion des atomes d'hydrogène se déclenche et qu'une étoile naisse. Cette fusion de l'hydrogène produit de l'hélium et beaucoup d'énergie. C'est ce que fait notre soleil. Ultérieurement, l'hélium va aussi participer aux réactions de fusion et donner naissance à des atomes plus lourds et augmenter la puissance produite.

Lorsqu'il n'y a plus assez d'hydrogène, l'étoile devient une géante rouge puis explose. Les étoiles qui sont suffisamment massives explosent en supernova qui produisent par fusion des atomes plus lourds, jusqu'au fer. Seules les étoiles super massives produisent les atomes plus lourds que le fer. Plus les étoiles sont massives, plus elles consomment leur hydrogène rapidement et terminent vite leur carrière.

Donc, pendant les 9 milliards d'années qui ont précédé la naissance du système solaire, des étoiles sont nées, ont brillé en enrichissant l'univers d'une grande diversité d'atomes et se sont dispersées en nébuleuses ; plusieurs générations d'étoiles se sont succédées, les restes d'anciennes étoiles se regroupant par gravité pour donner naissance à de nouvelles.

A titre d'illustration, la Figure 2 représente le cycle de vie du soleil commencé il y a 4,6 milliards d'années.

La puissance du soleil croit actuellement de 7% chaque milliard d'année. C'est la cause d'un réchauffement climatique qui finira par nous griller complètement. Nous avons tout de même quelques milliards d'années pour trouver un endroit plus frais.

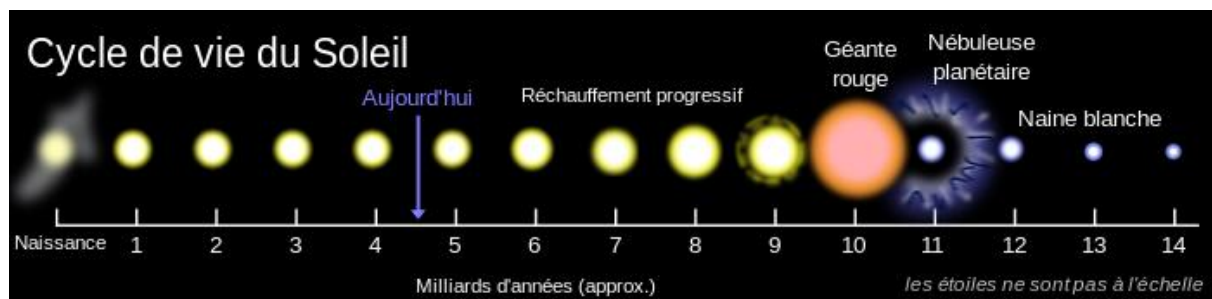


Figure 2 : Cycle de vie du Soleil

3. La naissance du système solaire

La formation et l'évolution du système solaire sont expliquées par le modèle de la nébuleuse solaire qui fut développé pour la première fois au 18^{ème} siècle par E.Swedenborg, E.Kant et P.S. De Laplace.

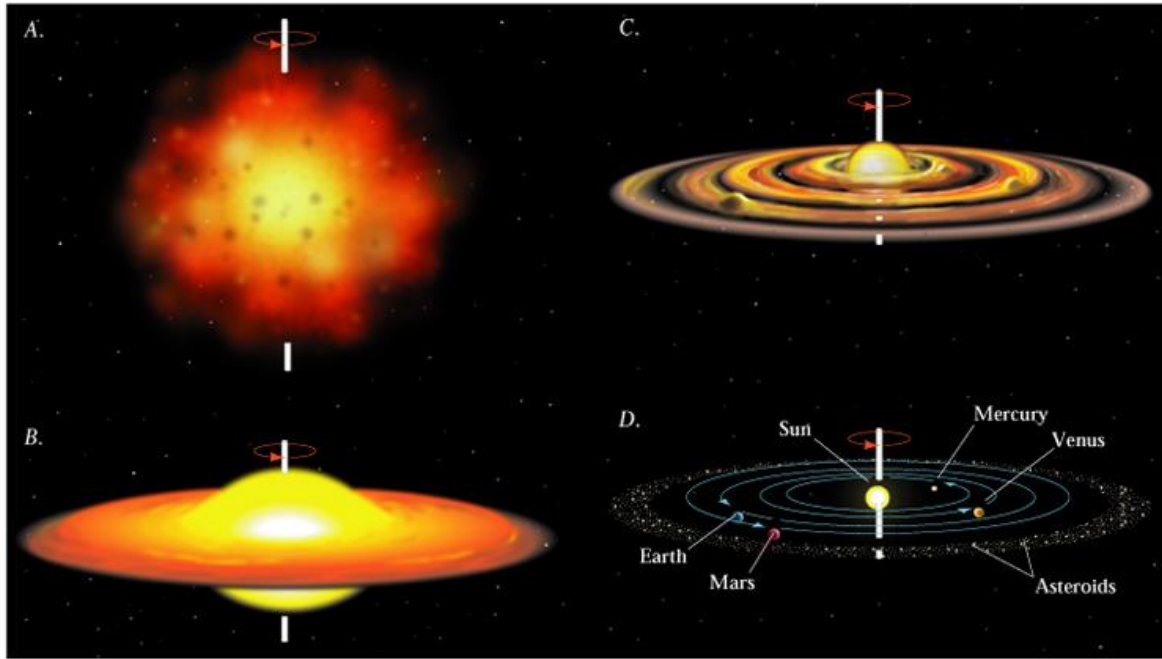
Une nébuleuse de gaz interstellaires, principalement constituée d'hydrogène et d'hélium et de quelques atomes plus lourds (~2%) s'est agrégée sous l'effet de la gravité. Ces gaz étaient en rotation et leur concentration a entraîné une augmentation de leur vitesse de rotation, ce qui explique la formation en 100 000 ans d'un disque autour du Soleil (Figure 3). Comme le moment d'inertie J diminue, la conservation du moment angulaire de rotation $J\omega$ entraîne l'augmentation de la vitesse de rotation ω . Ceci entraîne aussi la rotation des planètes qui sont toutes dans le plan de l'écliptique, résidu du disque initial. La croissance du soleil et celle des planètes ont commencé simultanément. Les grains de poussières du disque ont commencé par former des agrégats de 200m qui se sont eux-mêmes réunis en planétésimaux de 10km de diamètre.

Le Soleil s'est échauffé et a commencé à briller en consommant de l'hydrogène en 50 Millions d'années. La puissance dégagée par le soleil a échauffé les embryons de planète du système solaire interne, Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Ils ont perdu leurs éléments légers, l'hydrogène et l'hélium, qui ont été éjectés par le vent solaire au-delà de la limite des glaces, dans le système solaire externe. C'est ainsi que se sont formés les planètes telluriques, comme la Terre, composées de métaux et de roches. Si la Terre avait conservé ses gaz légers, elle serait 120 fois plus lourde.

La Terre a perdu son atmosphère initiale provenant de la nébuleuse comme en attestent les concentrations actuelles en gaz rares He, Ne qui sont très faibles. Comme nous le verrons au chapitre 6 sur le volcanisme, l'intérieur de notre planète s'est échauffé assez rapidement ce qui a provoqué un dégazage qui a émis une atmosphère primaire composée principalement de H_2 et CH_4 , le Fer créant un milieu réducteur dans le manteau.

Par la suite, le Fer s'est séparé du manteau en formant le noyau, le manteau est devenu oxydant et les émissions volcaniques ont émis dans l'atmosphère H_2O , CO_2 , CO et N_2 , comme maintenant (Référence 8.4). Après l'hydrogène et l'eau, le carbone et le CO_2 sont les plus abondants à la surface de la Terre ; il y a suffisamment de CO_2 dans la croûte terrestre pour produire une atmosphère de 70 bar de CO_2 . Ainsi, une atmosphère de 10 bar de CO_2 et CO avec 1 bar de N_2 semble possible.

En même temps, au-delà de la limite des glaces se sont formés les planètes gazeuses géantes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. La ligne des glaces définit la frontière au-delà de laquelle les molécules simples (H_2O , H_2 , N_2 , CO_2 , CH_4 , NH_3 , ...) se condensent en glace solide. Elle se situe à 5 U.A (Unités Astronomiques, distance Terre-Soleil) du Soleil, un peu avant l'orbite de Jupiter. La pression étant de quelques centaines de Pa, inférieure au point triple de l'eau (611Pa), l'eau ne peut y être que solide ou vapeur.



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Figure 3 : la naissance du système Solaire

4. La migration des planètes Uranus et Neptune

Uranus et Neptune, les géants de glace, ne sont pas au bon endroit, car la faible densité de la nébuleuse et la longueur et la durée de leurs orbites y rendent leur formation improbable. On pense donc qu'elles se sont formées plus près du Soleil sur des orbites plus proches de celles de Jupiter et Saturne et qu'elles ont migré ultérieurement. C'est Jupiter et Saturne qui auraient poussé Uranus et Neptune vers le grand large. Elles auraient atteint leurs orbites actuelles en 600 Millions d'années. En arrivant, Uranus et Neptune ont éjecté un grand nombre de planétésimaux vers l'intérieur du système solaire. Cela a provoqué le Grand Bombardement Tardif qui dura quelques centaines de millions d'années et cribla de météorites les planètes internes dont la Terre, Mercure et la Lune.

5. Les météorites

La bordure externe de la région tellurique, entre 2 et 4UA, est appelée la ceinture d'astéroïdes. Pour certains astrophysiciens, le Grand Bombardement Tardif aurait apporté sur Terre la majorité de l'eau des océans. Les comètes ont y ont aussi contribué mais plus faiblement.

La surface de la Terre est en constante évolution à cause de l'érosion due à l'eau mais aussi à cause du volcanisme et de la tectonique des plaques. C'est pourquoi il est difficile d'y trouver des roches très anciennes. Les météorites ne sont pas soumises à ces évolutions et leur analyse permet de connaître la matière originale qui a constitué les planètes. L'âge des plus anciennes roches terrestres atteint 4 Milliards d'années alors que les météorites sont âgées de 4,6 Milliards d'années. C'est sur ces bases que l'on attribue 4,6 Milliards d'années au système Solaire. On date les roches en mesurant les rapports isotopiques de plusieurs éléments radioactifs.

Sur la Lune et sur Mercure, on peut observer les cratères laissés par les impacts des météorites du Grand Bombardement Tardif.

Les chutes de météorites sont beaucoup plus rares de nos jours mais elles se poursuivent, le cratère Barringer (Figure 4) en est un exemple. On estime que la masse de météorites tombant sur Terre représente 100t/jour.



Figure 4 : cratère de météorite Barringer, Arizona. Diamètre 1,2 km, profondeur 190m
Créé il y a 50 000 ans par un météorite de 50m de diamètre

6. La tectonique des plaques et le volcanisme

La création de la Terre par accréation de planétésimaux s'est faite assez brutalement (Figure 5). Les impacts ont créé de la chaleur qui a réchauffé notre planète.

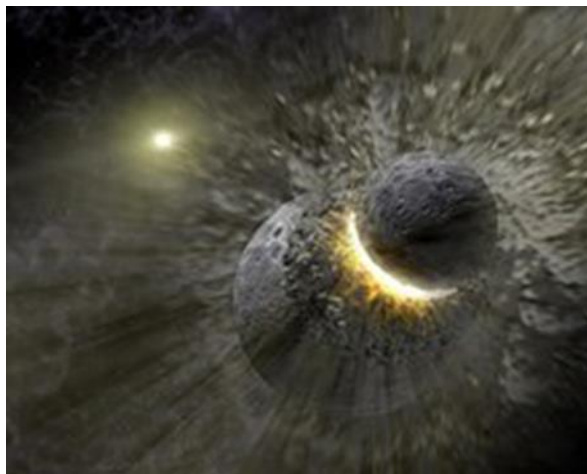


Figure 5 La naissance de la Terre

De plus, il y avait de nombreux éléments radioactifs produisant plus de chaleur qu'aujourd'hui. La Terre était composée, comme maintenant, de roches (silicates) et de métaux (Fer). Ces roches n'ayant pas une bonne conductivité thermique, la chaleur s'évacue mal et la température interne est élevée, plusieurs milliers de degrés au centre. Le Fer, qui est le plus dense, a constitué le noyau central. Comme la surface de la Terre rayonne vers l'espace, elle se refroidit, ce qui crée une croûte solide en surface et induit des boucles de convection dans le manteau (Figure 6). Les roches froides, plus denses descendent vers le noyau alors que le manteau chaud remonte dans des panaches.

Sous forte pression, le manteau est solide et très visqueux, les mouvements sont lents. Les panaches de magma chaud débouchent à la surface terrestre au niveau des volcans où il apparaît du magma liquide (en rouge) par décompression.

Les dorsales océaniques sont de grandes failles au milieu des océans où il apparaît par décompression du magma provenant du manteau supérieur. Ce magma remplace les roches qui plongent vers le noyau dans les zones de subduction, sous une plaque continentale, à la frontière avec une plaque océanique. C'est ainsi que les plaques continentales s'éloignent et

les océans s'agrandissent. Les mouvements relatifs des plaques provoquent aussi des séismes, des tsunamis et créent des montagnes.

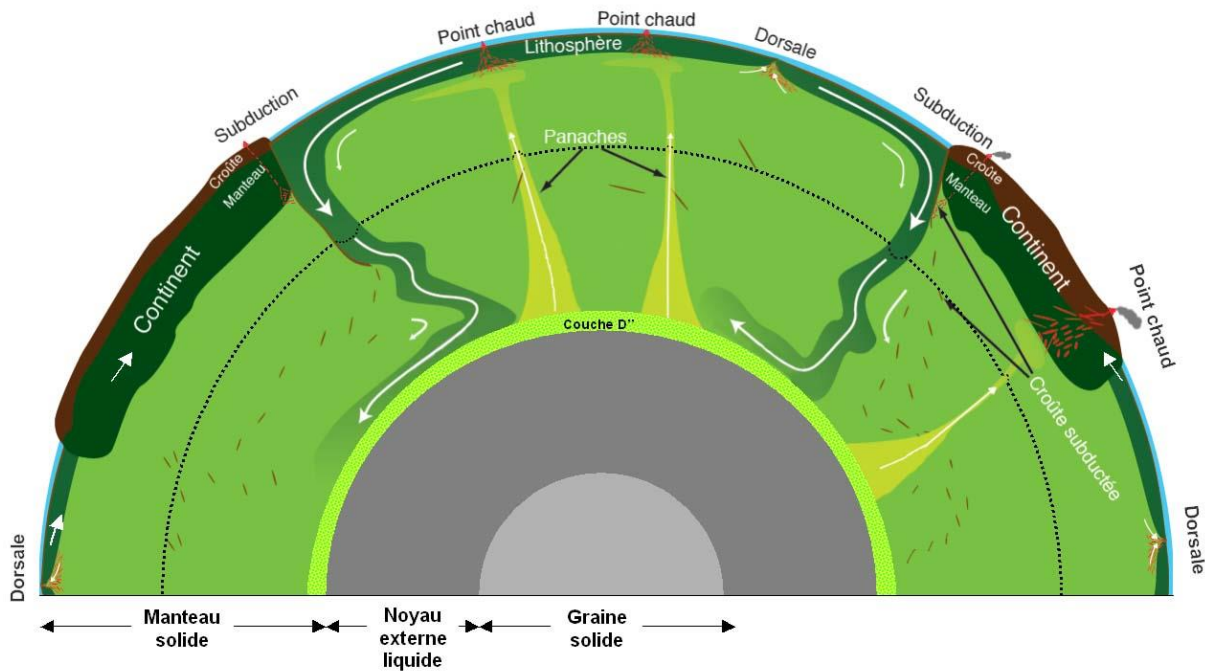


Figure 6 : convection mantellique simplifiée

La tectonique des plaques et le volcanisme ont toujours été actifs sur notre planète provoquant une évolution lente mais continue de la croûte terrestre. De plus, beaucoup de calcaire, du carbonate, s'accumule au fond des océans. Lorsque ce calcaire plonge dans les zones de subduction, il alimente les volcans en CO_2 .

7. Le climat des premiers jours

Pour revenir au climat Terrestre, le Soleil était faible, rayonnant 30% de moins qu'aujourd'hui, ce qui implique une température moyenne de -23°C . Dans ces conditions, l'eau serait majoritairement glacée et son albédo atteindrait 0,6 contre 0,07 pour les autres planètes telluriques. Avec la réduction par la glace de la puissance reçue du Soleil, la température tomberait à -70°C et la terre serait complètement couverte de glace.

Cependant, les roches très anciennes, qui sont peu nombreuses, ne montrent pas de traces de glaciation qui n'apparaissent que 2 Milliards d'années plus tard. C'est le « paradoxe du jeune Soleil faible ». Certains pensent que c'est l'effet de serre dû à l'eau H_2O , au CO_2 , au méthane CH_4 et peut être d'autres gaz qui a compensé la faiblesse du Soleil. Il n'y avait pas d'oxygène.

Donc, il y a 4 milliards d'années, notre planète Terre était un amas de rochers mal chauffés par un Soleil juvénile emmitoufflés dans une épaisse couverture de CO_2 . Il n'y avait pas d'oxygène à respirer, des volcans ne cessaient de déverser des laves et des gaz irrespirables et il pleuvait des météorites.

Dans les prochains épisodes, nous verrons comment notre planète est devenue si accueillante.

8. Références

8.1 Astronomes.com Olivier Esslinger

8.2 Formation and evolution of the Solar System Wikipedia

8.3 La convection mantellique, moteur de la tectonique des plaques, si souvent évoquée, si souvent mal comprise. Pierre Thomas ENS Lyon 2010

8.4 Earth's Early Atmosphere James F.Kasting Dept of Geosciences The Pennsylvania State University