

Bilan 8- DE L'ATMOSPHERE PRIMITIVE A L'ATMOSPHERE ACTUELLE

La Terre s'est formée il y a 4.6 Ga par accrétion de poussières stellaires et de corps de type **chondrites**¹ (météorites ayant la même composition globale que la Terre). Les chocs engendrés par les particules, ont libéré assez d'énergie pour entraîner la fusion de la planète en formation.

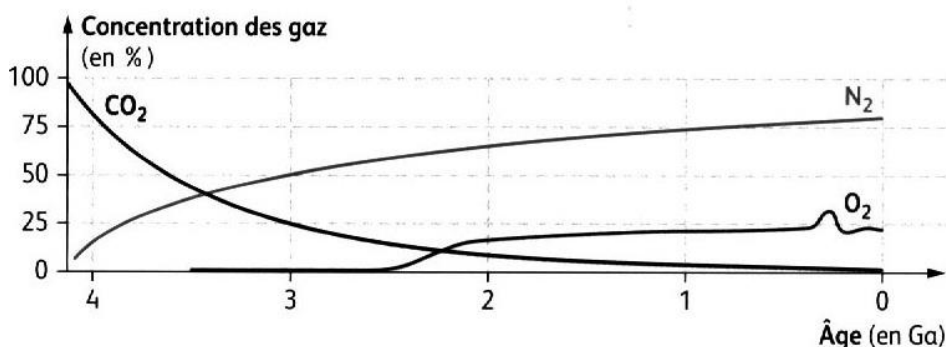
Le dégazage précoce de la **Terre magmatique**, lors de sa différenciation (migration des éléments en fonction de leur densité), serait à l'origine de l'**atmosphère primitive** (Les gaz les plus légers se sont échappés dans l'espace (ex : Hélium) et les plus lourds ont formé l'atmosphère). Cette atmosphère était différente de l'atmosphère actuelle. Sa transformation est la conséquence, notamment, du développement de la vie. L'histoire de cette transformation se trouve inscrite dans les roches, en particulier celles qui sont sédimentaires.

I- FORMATION DE L'ATMOSPHERE PRIMITIVE

La composition des gaz des chondrites et celle des gaz volcaniques actuels, permettent de supposer qu'une atmosphère s'est formée précocement entre -4,55 et -4,3 Ga -période de l'Hadéen-. Cette atmosphère primitive était essentiellement constituée d'eau de dioxyde de carbone et de diazote, elle ne contenait pas d'O₂ : l'atmosphère primitive était donc **réductrice**, au contraire de l'atmosphère actuelle, qui est **riche en dioxygène**, et **oxydante**. Après la vapeur d'eau, le CO₂ est le gaz le plus rejeté par les volcans mais sa concentration dans l'atmosphère actuelle représente moins de 0.04%.

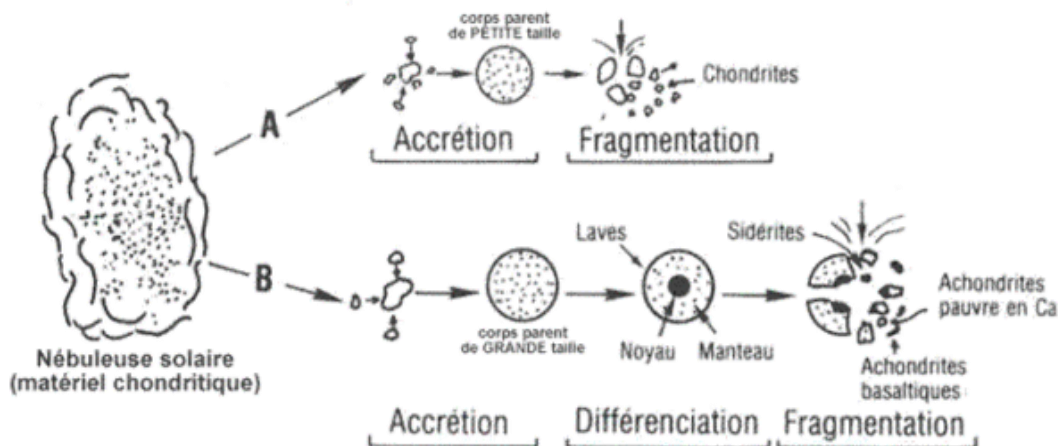
Gaz	Gaz chondritiques %	Gaz volcaniques terrestres %	Atmosphère actuelle %
H ₂ O	80 ± 10	83 ± 3	<1
CO ₂	20 ± 10	12 ± 4	0,04
N ₂	1 ± 5	5 ± 3	78
O ₂	0	0	21

Comparaison des gaz chondritiques, des gaz volcaniques et de l'atmosphère actuelle



Evolution de la composition chimique de l'atmosphère depuis 4 Ga

Remarque1 : Les chondrites sont des des météorites indifférenciées.



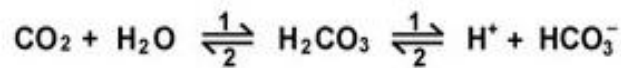
L'hypothèse de la formation de la Terre et des autres planètes telluriques est en accord avec la composition des chondrites (vestiges de la formation des planètes).

Celles-ci en sont les témoins dans le sens où elles sont les restes des chocs causés par l'accrétion, de ce fait elles comportent la même composition que les planètes du système solaire sans la structure différenciée.

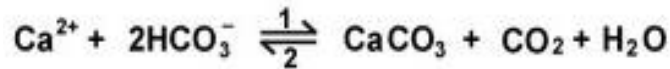
II- PRECIPITATION CHIMIQUE PUIS BIOCHIMIQUE DU CO₂ ATMOSPHERIQUE

Le **refroidissement** progressif de la planète a provoqué, vers -4Ga -période de l'**Archéen**-, la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique, formant les **océans primitifs**.

Du **CO₂ atmosphérique** est alors dissous dans les océans et converti en ion **hydrogénocarbonate HCO₃⁻**



L'ion **hydrogénocarbonate HCO₃⁻** (forme prédominante du CO₂ dissous) s'associe au **calcium** présent dans les océans et **précipite** en formant des roches **sédimentaires calcaires CaCO₃** (=carbonatées) :



Cette **précipitation chimique** a sans doute entraîné la disparition d'une partie importante du CO₂ de l'atmosphère et son piégeage² dans les roches carbonatées. Elle a du également contribuer à la diminution de l'effet de serre excessivement important au début de l'histoire de la Terre.

Remarque2 : la réaction de précipitation des carbonates, relâche 1CO₂ mais en consomme 2 (2HCO₃⁻), il y a donc globalement piégeage de 1 molécule de CO₂ chaque fois qu'une molécule de carbonate de calcium précipite.

II- L'ORIGINE BIOLOGIQUE DE L'O₂ ATMOSPHERIQUE

La précipitation chimique des carbonates est rapidement accompagnée d'une précipitation **biochimique** des carbonates océaniques, c'est-à-dire due à des êtres vivants. Cette précipitation biochimique des carbonates est à l'origine des premiers **calcaires construits** qui ont plus de **3,5Ga**. Si l'impact de cette activité biologique en termes de piégeage de CO₂ a été beaucoup moins important que la précipitation chimique des carbonates elle a quand même joué un rôle déterminant dans **l'évolution de l'atmosphère** puisqu'elle est à l'origine du **dioxygène atmosphérique**³.

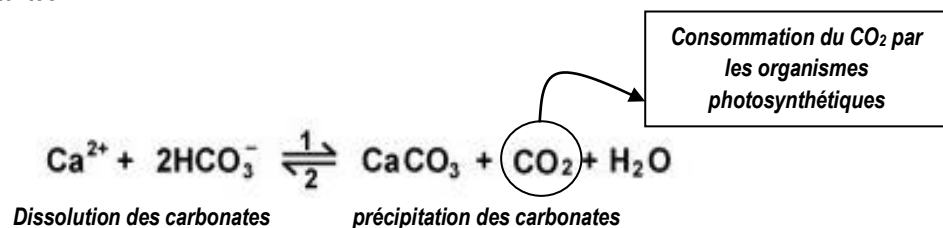
Les premières formes de vie ne sont pas connues, mais les roches sédimentaires les plus anciennes découvertes au Groenland (**3,8 Ga**) renferment des molécules organiques complexes qui permettent de penser que des **bactéries photosynthétiques** peuplent très tôt l'océan primitif. Les premiers **calcaires d'origine biologique** (construits) résultent de cette activité photosynthétique.

1-L'origine du dioxygène

L'O₂ est d'origine biologique. Les premiers **producteurs de dioxygène** réalisent la **photosynthèse**, ils apparaissent dans l'océan primitif et sont probablement des procaryotes, proches des **cyanobactéries** actuelles («algues bleues»). Ces organismes **consomment du CO₂** pour fabriquer de la matière organique et libèrent du dioxygène (*voir photosynthèse*).

Des constructions carbonatées **fossiles** très proches des **stromatolites** actuels et datés de **3,5Ga**, attestent de cette activité photosynthétique. Elles permettent de penser qu'il existe à cette époque, des « **oasis de vie photosynthétiques** » comme des tapis de cyanobactéries, qui forment des zones **localement oxydées** dans l'océan encore massivement réducteur (*voir schéma page suivante*)

La photosynthèse des cyanobactéries en prélevant du CO₂ entraîne un déplacement vers la droite de l'équilibre chimique dissolution / précipitation des carbonates en milieu marin. Elle induit donc localement, la formation de boues carbonatées qui une fois consolidées formeront les stromatolites :



2-Des témoins sédimentaires de l'arrivée du dioxygène dans l'océan et dans l'atmosphère

Des sédiments oxydés d'origine très ancienne formés en milieu marin ou aérien, prouvent indirectement la présence de dioxygène d'abord dans les océans puis dans l'atmosphère.

Le fer par exemple, est soluble dans les eaux dépourvues d'O₂ mais précipite en présence d'O₂ pour former des oxydes de fer : **fer rubané en milieu marin (BIF)** et **sols rouges** (dit paléosols rouges) **en milieu aérien**. L'étude de l'âge des formations de fer rubanés et des paléosols rouges, permet de situer dans le temps la **transition entre atmosphère réductrice (dépourvue d'O₂) et l'atmosphère oxydante**.

Ainsi, la **présence d'O₂ dans les océans, couplée à l'absence d'O₂ dans l'atmosphère**, est nécessaire au **dépôt marin des fers rubanés**. En effet il y a du avoir, **transport continental du fer réduit** (impossible en présence d'O₂ atmosphérique) et **précipitation dans les océans**, en présence de dioxygène dissous (oasis oxydés schéma ci-dessous).

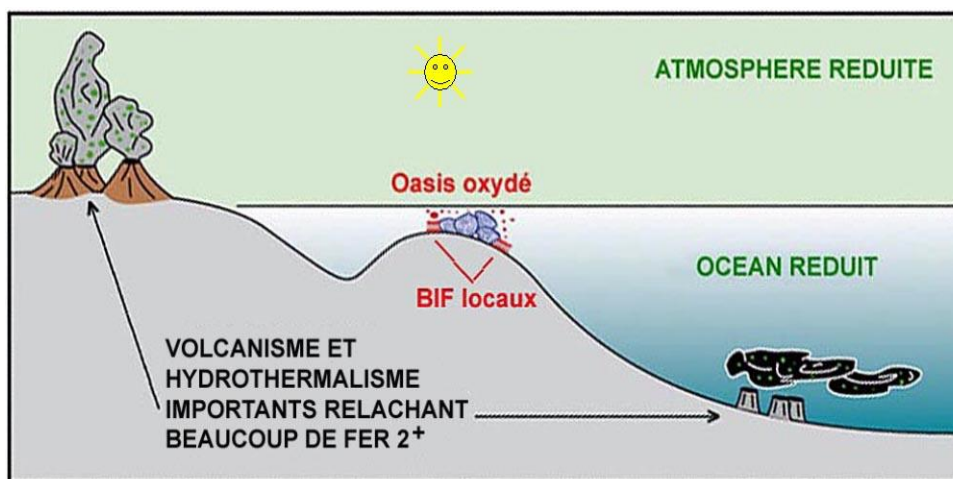


Schéma proposant une explication à la genèse des premiers fers rubanés

Droits réservés © 2011 D'après Jean-François Moyen, modifié

La très grande majorité des BIF retrouvés date de **- 3,5 à - 2,2 Ga**, ce qui suggère la présence de dioxygène libre dans l'océan, au moins localement, depuis 3,5 Ga.

Les paléosols rouges riches en oxydes de fer, apparaissent en domaine continental à partir de **- 2,2Ga**. Cela montre que les ions Fe²⁺ issus de l'altération des continents pouvaient alors être oxydés **avant d'atteindre l'océan**, le dioxygène ayant fait son apparition dans l'atmosphère. La **chute de la production de fers rubanés** au même moment, indique que l'océan n'est plus alimenté en fer soluble depuis les continents.

Vers -500millions d'années, des indices permettent d'envisager l'**apparition d'ozone (=O₃)** dans l'atmosphère, **formée à partir de l'O₂** (doc.3 p 87) **Cette couche d'ozone, protège les organismes des radiations ultraviolettes très intenses (mutagènes) et permet l'explosion de la vie sur Terre.**

Remarque3 :

*L'accumulation de l'O₂ dans l'atmosphère s'explique par la photosynthèse. Cependant lors de la dégradation des molécules organiques par les décomposeurs, la **respiration** consomme une partie de l'O₂ accumulé dans l'atmosphère.*

*De ce fait, l'**enfouissement** de la matière organique morte suivie de sa **fossilisation** sous forme de **roches carbonées -charbon, pétrole, gaz naturel**, constituent une cause indirecte de l'augmentation de l'O₂ atmosphérique (elle participe également à la diminution du CO₂ atmosphérique, car sans cette fossilisation, le carbone organique dégradé par des décomposeurs serait retourné à l'atmosphère sous forme de CO₂).*