

Activité 8: De l'atmosphère primitive à l'atmosphère actuelle - Correction

On suppose que l'atmosphère terrestre s'est formée par dégazage du manteau. On peut donc, à partir de l'analyse des chondrites (météorites ayant la même composition globale que la Terre), ou à partir de l'analyse des inclusions fluides des roches volcaniques, déterminer la composition de l'atmosphère initiale.

En comparant la composition supposée de l'atmosphère initiale à la composition actuelle, on met en évidence l'évolution de l'atmosphère au cours des temps géologiques. On observe ainsi:

- Une diminution de la concentration en H₂O gazeux
- Une diminution de la concentration en CO₂
- Une augmentation de la concentration en O₂ (qui était absent de l'atmosphère initiale)
- Une augmentation de la concentration en N₂ (bien que la quantité de N₂ n'ait pas évolué)

Comment expliquer les variations de la composition atmosphérique au cours des temps géologiques ?

I: Évolution de la concentration en O₂: d'une atmosphère réductrice à une atmosphère oxydante

L'ensemble des documents montre un changement majeur de l'atmosphère entre 3,5 et 2 Ga : l'atmosphère réductrice va devenir oxydante.

- Des sédiments continentaux (formés au contact de l'atmosphère) datés de 4 Ga contiennent de la pyrite et de l'uraninite. Or la pyrite et l'uraninite sont instables en présence d'O₂ et s'oxydent respectivement en hydroxyde de fer et en UO₃ solubles. On en déduit que l'atmosphère ne contenait pas d'O₂ il y a 4 Ga. L'atmosphère était donc réductrice.
- On observe des structures fossiles datées de 3,8 Ga très similaires aux stromatolites actuelles. Ces structures renferment des organismes vivants fossiles très similaires aux cyanobactéries actuelles. Les cyanobactéries sont des procaryotes photosynthétiques qui vivent en milieu océanique à faible profondeur. En utilisant le principe d'actualisme, on en déduit que la photosynthèse et donc la production d'O₂ sont apparus il y a 3,8 Ga en milieu océanique.
- A partir de 3,8 Ga jusque vers 2,5 Ga on observe l'augmentation du dépôt océanique des fers rubanés (BIF). Or ils contiennent une forme oxydée du fer (hématite). C'est donc que l'océan contenait de l'O₂ dissous.
- A partir de 2,5 - 2,2 Ga on observe:
 - Une augmentation de la formation de sols rouges en milieu continental. Or les sols rouges contiennent de l'hématite (forme oxydée du fer) qui est stable uniquement en présence de O₂. On observe aussi une diminution puis un arrêt de la formation des gisements de pyrite et d'uraninite. On en déduit que l'atmosphère contient du O₂ à partir de 2,5 Ga. L'atmosphère est devenue oxydante.
 - Une diminution puis un arrêt de la formation des gisements de fer rubanés en milieu océanique. On en déduit que tout le fer océanique a été oxydé par l'O₂ produit par photosynthèse

L'atmosphère était dépourvue d'O₂ il y'a 4 Ga comme en atteste la présence de pyrite et d'uraninite datées de cette époque. A partir de 3,8 Ga, la production d' O₂ par les cyanobactéries s'effectue dans les océans. L'O₂ produit, permet d'oxyder le fer des océans, ce qui conduit à la formation des fers rubanés. A partir de 2,5 Ga, tout le fer océanique ayant été oxydé, la quantité de fers rubanés formés diminue. L'O₂ produit par la photosynthèse n'étant plus piégé dans les océans, il passe dans l'atmosphère qui devient alors oxydante. La présence d'O₂ dans l'atmosphère explique l'arrêt de la formation des gisements de pyrite et d'uraninite qui ne peuvent se former qu'en absence d'O₂ et la formation des sols rouges au contact de l'atmosphère, qui ne peuvent se former qu'en présence d'O₂.

II: Évolution des concentrations en H₂O, CO₂, et N₂

À partir de 4,5 Ga, le refroidissement de la terre provoque la condensation de la vapeur d'eau qui précipite et forme ainsi les océans. La concentration en H₂O gazeux diminue.

La présence d'eau liquide, et le refroidissement se poursuivant, le CO₂ est de plus en plus soluble, il se dissout dans l'eau où il précipite (précipitation chimique) pour former des carbonates: $2\text{HCO}_3 + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

L'altération des reliefs favorise cette précipitation chimique en libérant des ions HCO₃ et Ca²⁺

Le développement de la vie favorise la précipitation biologique du CO₂ ainsi que son stockage dans les "puits" biosphérique et lithosphérique (photosynthèse et piégeage du carbone). La concentration en CO₂ atmosphérique diminue donc.

La quantité d' H₂O et de CO₂ ayant diminué, la pression atmosphérique diminue aussi, et la concentration en N₂ augmente de manière relative bien que l'on estime que sa masse atmosphérique n'ait pas changé.

Conclusion: Les changements majeurs observés sont donc le résultat d'interactions entre l'atmosphère, l'hydrosphère, et la lithosphère, liées à l'évolution de la vie sur Terre.