

Activité 1: Origine de l'atmosphère et des océans terrestres.

Il est possible d'estimer la composition de l'atmosphère primitive par différentes méthodes (analyse des chondrites ou des inclusions fluides des roches volcaniques d'origine mantellique). La comparaison de la composition de l'atmosphère primitive et de l'atmosphère actuelle montre que les concentrations en H_2O et CO_2 ont diminué au cours du temps tandis que les concentrations en N_2 et O_2 ont augmenté.

Comment expliquer l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours de l'histoire de la Terre ?

Hypothèse: L'évolution de la composition de l'atmosphère serait due à des interactions entre l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère et la lithosphère.

Évolution de la concentration en O_2

Les premiers gisements de fers rubanés (BIF) apparaissent en milieu océanique il y a 3,8 Ga. Ces gisements contiennent de l'hématite (forme oxydée du fer) qui ne peut se former qu'en présence de O_2 . On en déduit que le O_2 serait apparu en milieu océanique il y a 3,8 Ga.

L'augmentation de ces gisements jusqu'à -2,5 Ga s'interprète comme un enrichissement de l'hydrosphère en O_2 .

On observe des structures fossiles datées de -2,5 à -3,8 Ga très similaires aux stromatolites actuels. Ces structures renferment des organismes vivants fossiles eux aussi 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 l'apparition du O_2 en milieu océanique il y a 3,8 Ga serait liée à l'activité photosynthétique des cyanobactéries.

Des gisements de pyrite / uraninite se forment en milieu continental de -3,8 à -2,2 Ga. Or la pyrite et l'uraninite ne peuvent se former qu'en l'absence de O_2 . On en déduit que l'atmosphère ne contenait pas de O_2 entre -3,8 et -2,2 Ga. L'atmosphère était réductrice.

À partir de -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 ne peut se former qu'en présence de O_2 . On observe aussi un arrêt de la formation des gisements de pyrite et d'uraninite qui ne peuvent se former qu'en l'absence de O_2 . On en déduit que l'atmosphère contient du O_2 à partir de -2,2 Ga. L'atmosphère est devenue oxydante.

À partir de -2,5 Ga, on observe une diminution puis un arrêt de la formation des gisements de fers rubanés en milieu océanique. On en déduit que tout le fer océanique a été oxydé par l' O_2 produit par la photosynthèse. Le fer continental étant directement oxydé en milieu continental à partir de -2,2 Ga, l'érosion ne réapprovisionne plus les océans en fer ce qui explique l'arrêt de la formation des gisements de fers rubanés en milieu océanique.

L'atmosphère était dépourvue d' O_2 il y a 4 Ga comme en atteste la présence de pyrite et d'uraninite datées de cette époque. À partir de 3,8 Ga, la production d' O_2 par les cyanobactéries s'effectue dans les océans. L' O_2 produit, permet d'oxyder le fer des océans, ce qui conduit à la formation des fers rubanés. À partir de 2,5 Ga, tout le fer océanique ayant été oxydé, la quantité de fers rubanés formés diminue. L' O_2 produit par la photosynthèse n'étant plus piégé dans les océans, il passe dans l'atmosphère qui devient alors oxydante. La présence d' O_2 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' O_2 et la formation des sols rouges au contact de l'atmosphère, qui ne peuvent se former qu'en présence d' O_2 .

Évolution des concentrations en H_2O , CO_2 , et N_2 .

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 H_2O gazeux diminue.

La présence d'eau liquide, et le refroidissement se poursuivant, le CO_2 est de plus en plus soluble, il se dissout dans l'eau ($2 CO_2 + 2 H_2O \rightarrow 2 H^+ + 2 HCO_3^-$) où il précipite (précipitation chimique) pour former des carbonates: $2 HCO_3^- + Ca^{2+} \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$. Ainsi, pour 2 CO_2 atmosphériques prélevés, l'un se retrouve dissous dans l'eau, et l'autre piégé dans un carbonate $CaCO_3$.

L'altération des reliefs favorise cette précipitation chimique en libérant des ions HCO_3^- et Ca^{2+} , ce qui déplace l'équilibre précipitation / dissolution des carbonates dans le sens de la précipitation piégeant ainsi le CO_2 .

Le développement de la vie favorise la précipitation biologique du CO_2 ainsi que son stockage dans les "puits" biosphérique et lithosphérique (photosynthèse et piégeage du carbone). La concentration en CO_2 atmosphérique diminue donc.

La quantité d' H_2O et de CO_2 ayant diminué, la pression atmosphérique diminue aussi, et la concentration en N_2 augmente de manière relative bien que l'on estime que sa masse atmosphérique n'ait pas changé.