

Contrôle du lundi 13 novembre 2006
Géobiologie (L3) Durée 1h30

1 : Représentez schématiquement un arbre du vivant dans lequel vous indiquerez:

- les trois grands domaines que vous nommerez

Bactéries, archées, eucaryotes

- LUCA que vous définirez

L'ancêtre commun à tous les êtres vivants. Last Universal Common Ancestor

- les zones de l'arbre particulièrement riches en organismes thermophiles et hyperthermophiles dont vous expliquerez la localisation

Beaucoup d'organismes thermophiles et hyperthermophiles sont proches de LUCA, tant chez les bactéries que chez les archées, ce qui pourrait suggérer que la vie très ancienne se développait dans des conditions de haute température

- les mitochondries,

Chez les bactéries, loin de la racine

- les chloroplastes,

Chez les bactéries, loin de la racine

- les végétaux supérieurs

Chez les eucaryotes, loin de la racine

- les animaux.

Chez les eucaryotes, loin de la racine

Vous indiquerez, sur l'arbre même, les âges géologiques supposés pour l'apparition

- des eucaryotes

Environ -2.5 à -2 Ga

- des mitochondries

Les mitochondries sont d'anciennes bactéries, endosymbiotes des eucaryotes. Elles sont probablement apparues au même moment que les eucaryotes ou après cette apparition sans que l'on puisse préciser quand.

- des chloroplastes

Les chloroplastes, en tant que bactéries (proches des cyanobactéries) endosymbiotes de certains eucaryotes, sont apparus après l'apparition des eucaryotes sans que l'on puisse préciser quand.

- des organismes pluricellulaires.

Environ -1 Ga. On les voit vraiment à la fin du précambrien vers -0.6 Ga.

2 :

- a. Donnez les compositions isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$) des principaux réservoirs de carbone terrestre.

Le manteau (CO_2 des gaz volcaniques) : -5‰

L'atmosphère (CO_2) : -8‰

L'océan (HCO_3^-) : -0,1‰

Les carbonates : entre 0 et 2‰

La matière organique (biomasse, sols, kerogènes) : -25‰

- b. Donnez la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates pendant la majeure partie de l'histoire de la Terre. Citez les principales périodes pendant lesquelles cette valeur a augmenté (ainsi que la valeur moyenne atteinte) et proposez une hypothèse permettant de les expliquer.

La valeur moyenne du $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates est de 0‰ pendant la majeure partie de l'histoire de la Terre. On note cependant des excursions ponctuelles du $\delta^{13}\text{C}$ vers des valeurs plus positives (environ +5‰) aux périodes suivantes : 2,3, 0,7-0,6 et 0,3 Ga.

Cette augmentation du $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates traduit une augmentation du $\delta^{13}\text{C}$ du système océan-atmosphère (diminution de l'abondance relative de ^{12}C), et est confirmée par une augmentation similaire du $\delta^{13}\text{C}$ des kérogènes qui passent de -25‰ en moyenne à -20‰. On interprète cela comme le résultat d'un enfouissement plus important de matière organique qui soustrait préférentiellement le ^{12}C au système océan atmosphère.

- c. En utilisant l'équation de bilan massique et isotopique, calculez les fractions de carbone fossilisé sous forme de matière organique dans les deux cas.

Si on considère que tout le carbone qui est entré dans le système océan atmosphère en provenance du dégazage du manteau (-5‰) a été soustrait sous forme soit de carbonates soit de kérogène, on peut écrire le bilan massique et isotopique suivant :

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{entrant}} = X_{\text{ker}}\delta^{13}\text{C}_{\text{ker}} + X_{\text{carb}}\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$$

avec X_{ker} la fraction de carbone stocké dans le kérogène et X_{carb} la fraction de carbone stockée dans les carbonates. $X_{\text{ker}} + X_{\text{carb}} = 1$

Quand $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}} = 0\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{ker}} = -25\text{‰}$

l'application numérique donne :

$$-5\text{‰} = X_{\text{ker}}(-25\text{‰}) + (1 - X_{\text{ker}}) \cdot 0\text{‰}. \text{ Soit } X_{\text{ker}} = 1/5$$

Quand $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}} = 5\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{ker}} = -20\text{‰}$

l'application numérique donne :

$$-5\text{‰} = X_{\text{ker}}(-20\text{‰}) + (1 - X_{\text{ker}}) \cdot 5\text{‰}. \text{ Soit } X_{\text{ker}} = 10/25 = 2/5$$

Soit deux fois plus que pendant le reste du temps.

3 : Les BIF (Banded Iron Formations) sont d'immenses gisements de fer formés par l'alternance de bancs siliceux et de bancs riches en fer. Ces formations datent essentiellement de -2,7 à -1,9 Ga. Les bancs riches en fer sont constitués de sidérite (FeCO_3), magnétite (Fe_3O_4) et hématite (Fe_2O_3).

- a. Reprendre les formules des minéraux riches en fer entrant dans la composition des BIF et spécifier dans chaque cas les degrés d'oxydation du fer

Sidérite : $\text{Fe}^{\text{II}}\text{CO}_3$

Magnétite : $\text{Fe}^{\text{II}}(\text{Fe}^{\text{III}})_2\text{O}_4$

Hématite : $\text{Fe}^{\text{III}}_2\text{O}_3$

- b. Quelle pouvait être la principale source de Fe^{2+} pour ces formations ?

Il existe principalement deux sources : une source mantellique (le volcanisme des dorsales et l'hydrothermalisme, ainsi que le volcanisme de point chaud) et une source continentale (érosion continentale).

- c. Comment expliquer l'oxydation du Fe^{2+} en Fe^{3+} dans les conditions régnant sur Terre à cette époque ?

A cette époque, l'atmosphère est dépourvue d'oxygène. L'oxydation du Fe^{2+} en Fe^{3+} peut être expliquée par :

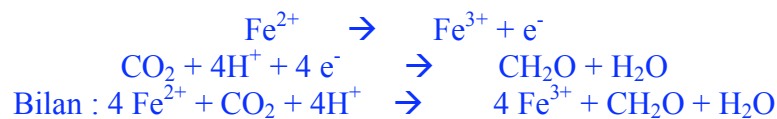
- des processus photochimiques abiotiques
- des réactions inorganiques utilisant l' O_2 produit par des organismes photosynthétiques (dans le cas d'une photosynthèse oxygénique).
- l'activité de bactéries ferro-oxydantes.

d. Dans l'hypothèse d'une oxydation biologique du Fe^{2+} , quel type de microorganismes pourrait avoir participé à la formation des BIF ?

Il s'agirait de bactéries ferro-oxydantes. Dans ce cas, plusieurs possibilités envisageables :

- bactéries lithotrophes anaérobies : oxydation du Fe^{2+} couplée à la réduction de composés inorganiques, par exemple les nitrates.
- bactéries lithotrophes aérobies.
- bactéries photosynthétiques anoxygéniques : oxydation du Fe^{2+} , couplée à la réduction du CO_2 , la lumière étant utilisée comme source d'énergie.

e. Ecrivez les demi-équations électroniques et l'équation bilan correspondant à l'activité de bactéries ferro-oxydantes phototrophes. Vous spécifierez le donneur et l'accepteur d'électrons. Quel est le rendement énergétique de ce type de métabolisme par rapport aux autres métabolismes producteurs de matière organique que vous connaissez sur la Terre actuelle ?



Le Fe^{2+} est donc le donneur d'électrons et le CO_2 l'accepteur d'électrons. Ceci est le cas d'un métabolisme autotrophe au C. On pouvait aussi envisager un métabolisme hétérotrophe.

Ce type de métabolisme a un rendement énergétique beaucoup plus faible que la photosynthèse oxygénique. On pouvait par exemple se reporter à la figure suivante vue en cours pour discuter plus en détail la position du couple $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ dans l'échelle redox:

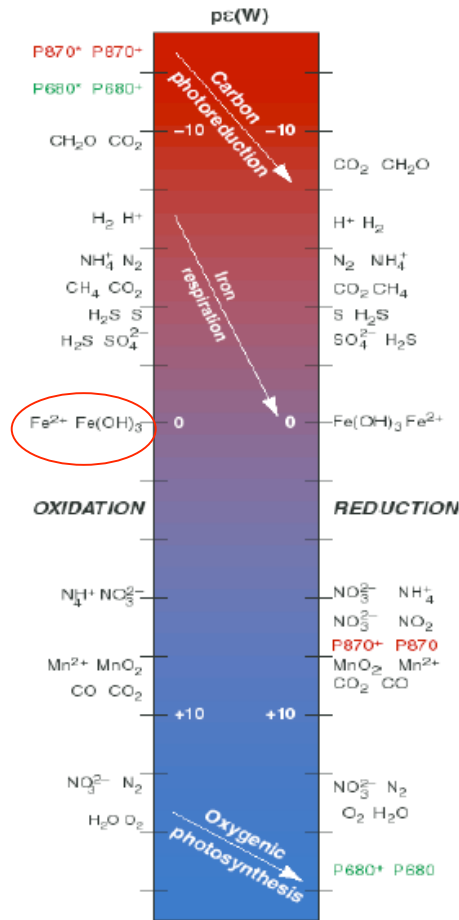
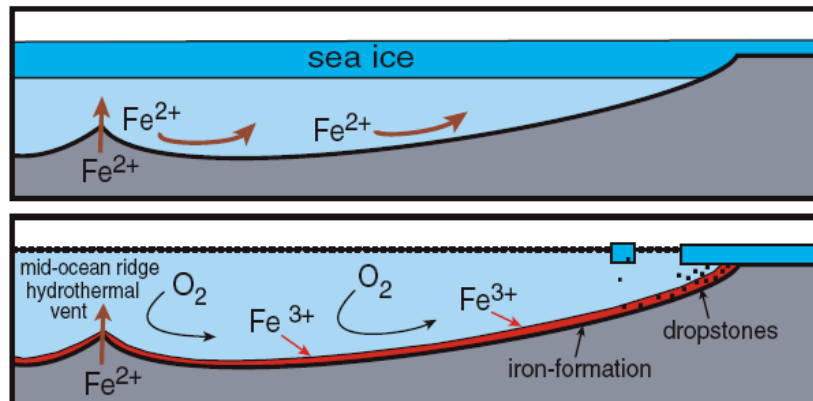


Figure 7 du cours 6 : Echelle redox

- f. On retrouve des BIF datant de -0.6 Ga, époque de la Snowball Earth. Quel est l'état d'oxygénation de l'atmosphère à cette époque ? Proposez un mécanisme de formation des BIF datant de cette époque.

A cette époque, l'atmosphère est oxygénée. Dans ce contexte, la formation de BIF peut être expliquée par le modèle suivant, vu en TD :

Terre Snowball: océan anoxique



Déglaçiation : océan ventilé

D'après Hoffman et Schrag, 1999

Pendant la période Snowball, la couche de glace isole l'océan de l'atmosphère oxygénée. L'océan devient donc anoxique. Le Fe^{2+} émis au niveau des dorsales s'accumule sous forme dissoute dans l'océan. Lors de l'épisode de déglaciation, l'oxygène atmosphérique se dissout dans l'océan et oxyde en masse le Fe^{2+} en Fe^{3+} , conduisant à la formation des BIF.

4 : Quelle caractéristique environnementale flagrante coïncide avec la limite Permo-Trias ? Décrivez un milieu actuel qui présente cette caractéristique, et proposez en une explication.

La caractéristique environnementale principale de la limite Permo-trias est l'anoxie et plus précisément l'euxinie (présence de H_2S) des océans. Cette dernière est attestée dans les roches sédimentaires actuelles par la présence de biomarqueurs spécifiques des microorganismes faisant de la photosynthèse anoxygénique en utilisant le H_2S comme donneur d'électron.

Les environnements actuels qui peuvent être considérés comme des analogues de l'océan à la limite Permo-Trias sont la Mer noire et le Lac Pavin. Ils sont euxiniques jusque dans la zone photique.

Une telle euxinie implique que la colonne d'eau soit stratifiée, c'est à dire que les eaux du fond ne soient pas réoxygénées par une circulation profonde qui les réapprovisionne en oxygène en les mélangeant aux eaux de surface oxiques.

Cette euxinie de l'océan a probablement fortement contribué à l'extinction Permo-Trias en exterminant toute vie animale ou végétale des masses d'eau anoxiques. Il est également probable que le CH_4 et le H_2S de la colonne d'eau puissent s'être en partie échappés dans l'atmosphère, induisant de forts dérèglements climatiques.