

8 Importance géologique de la diversité métabolique

8.1. Qu'est ce qui détermine la masse totale de la biomasse ?

Le réservoir de carbone organique total (kérogènes essentiellement) est assez constant au cours des temps géologiques.

Cela veut dire que ce qui l'alimente, c'est à dire la sédimentation organique, est en moyenne constante (malgré les crises et les excursions).

Une hypothèse est de postuler que ce flux de sédimentation organique est proportionnel à la masse de biomasse. Si c'est le cas, il est possible que cette masse soit grosso-modo la même depuis 3.5 milliards d'années, ce qui est évidemment contre-intuitif mais pas impossible.

En effet, la masse de la biomasse n'est pas globalement limitée par le carbone mais par l'azote et le phosphore bio-disponibles. C'est un concept très important, bien connu en agronomie, qui illustre le couplage du cycle du carbone avec les cycles de l'azote et du phosphore.

Il faut en effet aussi de l'azote et du phosphore pour faire de la biomasse : $C_{100}H_{200}O_{100}N_{15}P$.

Notion de rapport de Redfield :



La masse de la biomasse pourrait être liée aux quantités de N et de P biodisponibles qui n'ont peut être pas tellement changé depuis 3.5 milliards d'années. Donc, malgré les conditions très changeantes de la Terre, la biomasse se maintient potentiellement (ou du moins maintient-elle le flux de sédimentation organique) et cela c'est un résultat géologique direct de la diversité métabolique.

Deux remarques sur ce couplage :

Remarque (1)

Dans l'équation ci-dessus, on a $101.25 O_2$ au lieu de $100 O_2$.

Ce calcul laborieux illustre un concept simple : un changement global de composition chimique de la matière biologique va changer le taux d'oxygénation de la Terre. Exemple : invention du bois (on fait plus de biomasse avec moins d'azote et de phosphore). C'est un exemple spectaculaire d'action potentielle de l'évolution biologique sur les conditions géologiques.

Peut être que des études isotopiques et géologiques couplées permettront un jour de remonter aux rapports de Redfield et à la composition chimique moyenne de la biomasse dans les temps anciens de la Terre. On n'en est pas encore à ce degré de finesse et on doit se contenter d'indications déjà importantes mais pas aussi détaillées (cf cours et TD précédents).

Remarque (2)

On remarque que l'activité humaine actuelle conduit à augmenter les teneurs en azote et en phosphore biodisponibles (engrais azotés et phosphatés, oxydes d'azote liés à l'industrie et aux transports). Cela se traduit par une augmentation globale de biomasse (eutrophisation

globale, surtout au niveau des estuaires) que l'on peut évaluer grâce aux flux anthropiques d'azote et de phosphore biodisponibles.

Estimation : $1.5 \cdot 10^{13}$ moles par an de N et 10^{12} moles par an de P biodisponibles directement liés aux activités humaines.

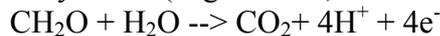
D'après les rapports de Redfield, cela correspond à une biomasse supplémentaire correspondant à 10^{14} moles de carbone par an.

8.2. Impact de la diversité métabolique sur la dégradation de matière organique

Rappel : le flux de sédimentation organique est petit (1/1000 du flux photosynthèse/respiration) car la Vie respire efficacement la biomasse produite. La diversité métabolique est essentielle à cette dégradation efficace (minéralisation ou re-minéralisation de la matière organique).

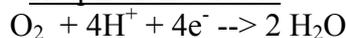
Séquence de dégradation

Oxydation (dégradation, reminéralisation) de la matière organique

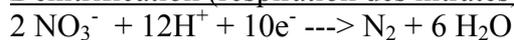


Rappel : cela se passe principalement au niveau de la chaîne respiratoire constituée d'enzymes et co-enzymes membranaires transporteurs d'électrons (exemple cytochromes), ATP-ases etc... Couplage avec la formation d'ATP. Membrane des procaryotes ; membrane des mitochondries chez les eucaryotes. Importance des métaux (Fe, systèmes Fe-S). Les accepteurs d'électrons arrivent à proximité de la membrane.

Respiration aérobie



Dénitrification (respiration des nitrates)



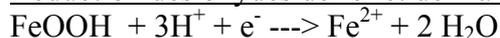
NO_3^- : azote biodisponible

N_2 : azote non biodisponible (sauf via les bactéries fixatrices de N_2)

effets agricoles adverses

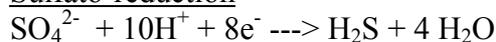
dans les eaux, dépollution des nitrates

Réduction des oxydes de fer et de manganèse



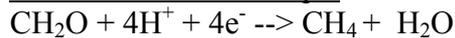
Les oxy-hydroxydes de fer portent souvent de nombreux polluants qui sont libérés à cette occasion. Exemple : pollutions à l'arsenic, en particulier Bangladesh. *Shewanella Putrefaciens*.

Sulfato-réduction



Possibilité de respirer du méthane. Consortium possibles avec des méthanogènes. Comme il y a basification, transformation (piégeage du méthane en carbonates solides).

Fermentation méthanique

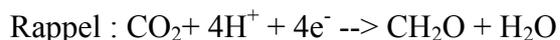


C'est techniquement une fermentation car de la matière organique n'est pas intégralement transformée en CO_2 .

On rappelle l'étagement lié aux potentiels d'oxydo-réduction décroissants.

Chacun de ces métabolismes a des signatures isotopiques que l'on peut rechercher dans l'enregistrement géologique (en recherche, on en est encore à les comprendre et à les calibrer).

8.3. Impact de la diversité métabolique sur la production primaire

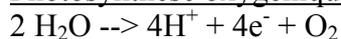


La production primaire est une réduction du CO_2 .

Notion d'autotrophie.

Du point de vue enzymatique : fixation de CO_2 et réduction. Utilisation d'ATP. Cela se passe dans le cytoplasme ; les électrons du donneur d'électrons vont transiter au niveau de la membrane plasmique (membrane plasmique du procaryote, membrane des chloroplastes, thylakoides).

Photosynthèse oxygénique



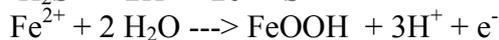
Rôle des chlorophylles.

Inventée quand ? Il y a -3.5 milliards d'années ? Premiers stromatolites ? Modèle standard (stromatolites à -3.5 Ga liés à des cynaobactéries).

Inventée il y a -2.3 milliards d'années ?

Réflexion par rapport aux stromatolites (liés à n'importe quelle production primaire ?) et aux BIF.

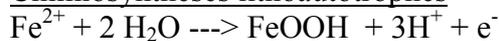
Photosynthèses anoxygènes



Rôle potentiel dans la formation de BIF sans oxygène.

Les premières formes de production primaire ?

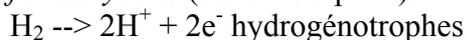
Chimiosynthèses lithoautotrophes



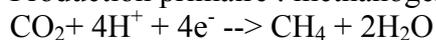
Métabolisme ferro-oxydant. Importance pour l'altération des basaltes de la croûte océanique.



Métabolismes ferro-oxydant et sulfo-oxydant. Importance pour les pollutions d'origine minière et naturelles (cf Bangladesh). Acidification favorisant l'altération. *Thiobacillus ferrooxydans* (travaille à pH 1).



Production primaire : méthanogenèse (archae).



Importance globale pour les écosystèmes hydrothermaux dans la Terre actuelle (faible contribution actuelle à la production primaire), pour la biosphère profonde (et autres planètes ?) et dans la Terre anoxygène ancienne.

NB souvent les électrons ne sont pas donnés seulement ni même majoritairement au CO_2 mais à d'autres accepteurs présents dans le milieu tels que O_2 ou sulfates pour produire de l'énergie.

8.4. Impact de la diversité métabolique sur la formation des roches

Carbonates, roches siliceuses, phosphates.

cf cours Biominéraux pour ceux qui le suivront en M1 Biogeomedia.