

Travaux dirigés de Microbiologie
Master I
Sciences des Génomes et des Organismes
Année 2011-2012

C- Les Cycles Biogéochimiques

1. Tracez un schéma représentant **le cycle du carbone** en présence et en absence de dioxygène. Pour chaque étape, nommez au moins un microorganisme qui participe au processus.

Conditions d'aérobies :

fixation de CO₂=cyanobactéries, algues

respiration aérobie : *E. coli*, *Bacillus*

Conditions d'anaérobies:

fixation de CO₂=bactéries pourpres sulfureuses

respiration anaérobie=*Archaeoglobus*

fermentation=*Clostridium*, la levure

2. Les plantes sont composées principalement de cellulose, qui est un polymère du glucose. Cependant, il y a très peu de bactéries qui peuvent se nourrir de la cellulose. Pourquoi?

Pour se nourrir de la cellulose, il faut les enzymes (glucosidases) qui coupent les liaisons bêta-1,4 entre les molécules de glucose. Parce que les molécules de cellulose dans les plantes sont liées dans une structure recalcitrante, il faut d'autres enzymes (les cellulases) pour libérer les molécules de cellulose.

3. **Dans le cycle du soufre**, des microbes dégradent les composés organiques sulfurés tels....

Dans le cycle du soufre, des microbes dégradent les composés organiques sulfurés tels les acides aminés (méthionine et cystéine), libérant ainsi du H₂S, qui est lui-même oxydé par *Thiobacillus* en ions sulfate (SO₄²⁻). Cet ion est assimilé sous forme d'acides aminés par les plantes et les bactéries, ou réduit en H₂S par *Desulfovibrio*. Les bactéries autotrophes utilisent le H₂S comme un donneur d'électrons pour la synthèse de leurs carbohydrates (glucose et autres sucres). Le sous-produit contenant du soufre de ce processus métabolique est le soufre élémentaire.

4. **Pourquoi le cycle du phosphore** est-il important?

Le phosphore est un élément nutritif nécessaire à la synthèse de molécules telles que l'ATP (l'énergie cellulaire), les acides nucléiques (ADN et ARN), et les phospholipides. Sa disponibilité est donc essentielle pour tous les organismes et détermine parfois si une plante ou un autre organisme peut vivre dans un endroit donné. Il est donc primordial que le phosphore utilisé soit recyclé.

5. Classez les processus suivants dans l'ordre où ils se déroulent de façon à illustrer les étapes **du cycle de l'azote**: ammonification, dénitrification, fixation de l'azote, libération d'azote dans l'atmosphère, nitrification.

Fixation de l'azote : $N_2 \rightarrow NH_4$

Ammonification : N organique $\rightarrow NH_4$

Nitrification : $NH_4 \rightarrow NO_2$, $NO_2 \rightarrow NO_3$

Denitrification : $NO_3 \rightarrow N_2$

libération de l'azote dans l'atmosphère

6. Les cyanobactéries, les mycorhizes, *Rhizobium* et *Frankia* jouent un rôle important en tant que symbiotes de plantes et de mycètes. Décrivez la relation symbiotique de chacun de ces organismes avec son hôte.

Les cyanobactéries sont des algues qui sont en relation symbiotique avec un mycète pour former un lichen; les cyanobactéries photoautotrophes fournissent, grâce au processus de la photosynthèse, de la matière organique au mycète qui, à son tour, procure un environnement protecteur aux algues. Les mycorhizes sont des mycètes qui sont en relation symbiotique avec les plantes. Le mycète joue le même rôle que les racines, en ce sens que le mycète multiplie la surface par laquelle la plante peut absorber les éléments nutritifs, surtout le phosphore, qui est un ion peu mobile dans le sol. La relation symbiotique fournit au mycète un substrat et de la matière nutritive pour sa croissance.

Rhizobium est une bactérie fixatrice d'azote qui est en relation symbiotique avec les racines des légumineuses sur lesquelles elle forme des nodules (ex. soja, haricots, pois, arachide, luzerne et trèfle). La plante fournit les conditions anaérobies et les nutriments nécessaires à la bactérie qui, en retour, fixe l'azote qui sera incorporé dans les protéines végétales. *Frankia* est une bactérie fixatrice d'azote, du genre Actinomycetes, qui vit en relation symbiotique avec les racines d'aunes, de rosiers et d'autres plantes, sur lesquelles elle forme des nodules. La relation est semblable à celle de *Rhizobium* avec ses hôtes

7. Décrivez dans ses grandes lignes le traitement des eaux usées visant à produire de l'eau potable.

1) Sédimentation: l'eau non traitée est laissée à sédimenter dans un réservoir; l'eau qui en sort subit l'étape suivante, soit la floculation.

2) Floculation: des flocculants sont mélangés à l'eau. À mesure que les flocculants s'associent aux particules colloïdales, ces dernières se déposent dans le fond du bassin; l'eau qui en sort subit l'étape suivante, soit la filtration.

3) Filtration: l'eau subit une filtration (sur sable ou sur charbon activé); l'eau qui en sort subit l'étape suivante, soit la désinfection.

4) Désinfection: l'eau est désinfectée par chloration ou par traitement à l'ozone ou aux UV; l'eau qui en sort est potable.

7. Expliquer en quoi les eaux usées représentent un danger pour la santé publique et un

8. Expliquer en quoi les eaux usées représentent un danger pour la santé publique et un problème écologique. Pourquoi évalue-t-on l'indice de coliformes de l'eau ?

Les eaux usées proviennent en grande partie des eaux d'égout, qui contiennent les déchets fécaux humains, et des eaux de ruissellement, qui charrient les déjections d'animaux. La contamination par des fèces est la forme de pollution aquatique la plus dangereuse parce qu'elle est la source de maladies et d'épidémies transmises par la voie orofécale, c'est-à-dire qu'un agent pathogène logeant dans les fèces humaines ou animales contamine une eau qui est bue. Sur le plan écologique, les eaux usées peuvent contenir des produits chimiques tels que des détergents synthétiques par exemple qui, même s'ils sont biodégradables, constituent souvent un problème environnemental majeur à cause de leur haute teneur en phosphates. De plus, le traitement des eaux usées requiert de la machinerie et des bâtiments qui occupent de grands espaces, et il y a un danger potentiel que les eaux de surface soient contaminées dans le cas de bris ou de déversement. On fait le décompte des coliformes parce que ces bactéries présentes dans les fèces sont utilisées comme organismes indicateurs pour mesurer la qualité de l'eau. Leur détection dans l'eau témoigne donc de la contamination de l'eau par des déjections humaines.

9. Pourquoi un système d'activation des boues est-il plus efficace qu'un digesteur pour l'élimination de la DBO ?

La demande biochimique en oxygène (DBO) est une mesure de la quantité de matière organique biologiquement dégradable contenue dans l'eau; plus elle est faible, plus l'eau est de bonne qualité. Le système d'activation des boues est un processus aérobie qui permet une oxydation complète de la matière organique en dioxyde de carbone et en eau. En éliminant le plus de matière organique possible, ce procédé réduit la DBO. À l'opposé, dans un digesteur anaérobie, la prolifération de bactéries anaérobies se trouve encouragée; ces bactéries dégradent la matière organique en substances solubles et en gaz.

10. Pourquoi les fosses septiques et les étangs d'oxydation ne peuvent-ils pas être utilisés dans les grandes villes ?

Pour être efficaces, les fosses septiques et les étangs d'oxydation requièrent de grandes étendues de terrain; dans les grandes villes, les surfaces exigées sont de trop grande superficie et cela pourrait entraîner la pollution du sol ou des eaux de surface dans le cas où il y aurait surcharge.

11. Expliquez les conséquences du rejet d'eaux usées non traitées dans un étang (eau stagnante) en ce qui a trait à la variation de la valeur de la DBO, du taux d'eutrophisation et de la quantité de dioxygène dissous. Les effets sont-ils les mêmes si les eaux usées ont subi un traitement primaire?

un traitement secondaire? Dans chaque cas, les effets seraient-ils les mêmes si les eaux usées étaient déversées dans un cours d'eau à fort débit ?

La DBO, le taux d'eutrophisation et la quantité de dioxygène dissous sont trois valeurs interreliées. L'eutrophisation est la surabondance de nutriments ou de matière organique biodégradable et la DBO en est sa mesure. Durant la décomposition de la matière organique, les bactéries consomment l'oxygène de l'eau, d'où la diminution de la quantité de dioxygène dissous.

Considérant que les signes + représentent une valeur, alors on peut dire que, dans un étang stagnant, il n'y a pas ou il y a peu de mouvement d'eau et l'aération est faible. Alors, si des eaux usées contenant beaucoup de matière organique sont déversées dans un étang stagnant, la valeur de la DBO va augmenter (3 +), le taux d'eutrophisation va augmenter en proportion (3 +) et la quantité de dioxygène va diminuer (+), ce qui entraîne la détérioration de la qualité de l'eau. Si les eaux usées subissent préalablement un traitement primaire, la valeur de la BDO va être moins forte (2 +) que celle provoquée par les eaux non traitées; de la même façon, le taux d'eutrophisation sera moins élevé (2 +) et la quantité de dioxygène dissous sera un peu plus forte (2 +). Si un traitement secondaire a eu lieu, alors les valeurs de la DBO et du taux d'eutrophisation seront moins élevées (+) et la quantité de dioxygène dissous sera plus élevée (3 +), valeurs qui constituent de bons indices de la qualité de l'eau.

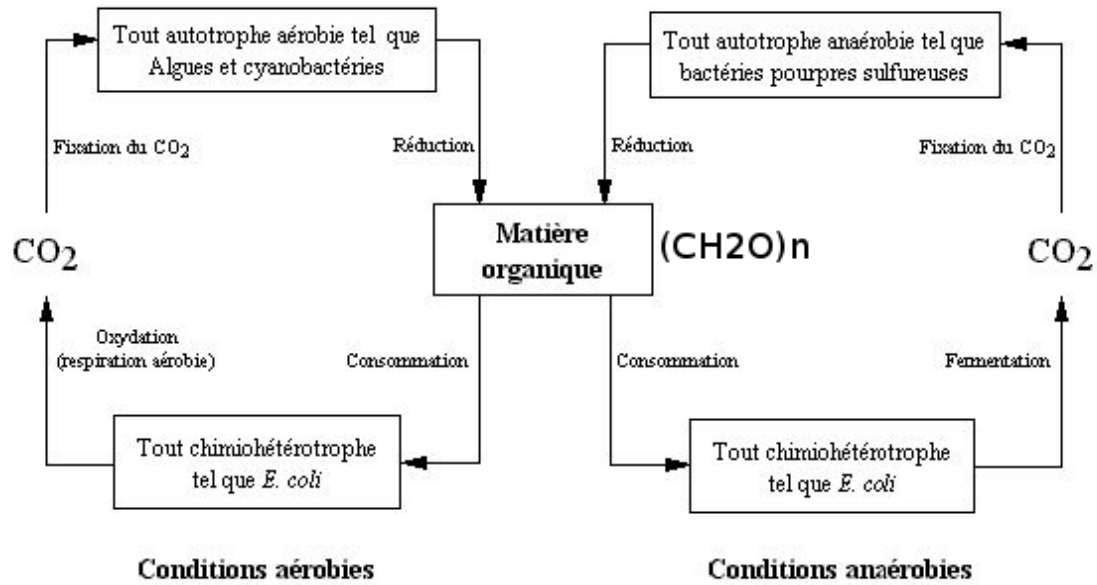
Si les eaux usées sont déversées dans une rivière dont le courant est rapide, l'augmentation de la DBO et la diminution de la quantité d'oxygène dissous sont moins fortes à cause du brassage et de l'aération de l'eau qui entraînent une rapide oxydation de la matière organique.

12. Définissez le terme biorhéhabilitation et donnez trois exemples.

La bioréhabilitation consiste à utiliser les microbes pour dégrader les polluants ou détoxifier les sols contaminés afin que ces derniers puissent être à nouveau habilités à remplir leurs fonctions écologiques essentielles. Ce concept implique le retour à des conditions naturelles qui existaient avant le désastre.

Exemples: extraction de pesticides, de produits chimiques (tel le pétrole) et de solvants radioactifs de sites (rivières, fleuves, océans, sol) contaminés.

Le Cycle du Carbone



La photosynthese aérobie (les cyanobactéries)
 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + \text{O}_2$

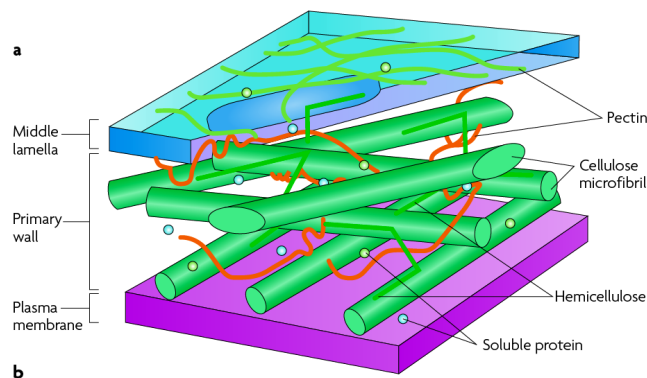
La photosynthese anaérobie (les bactéries pourpres sulfureuses)
 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + \text{S}$

La respiration aérobie
 $(\text{CH}_2\text{O})_n + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

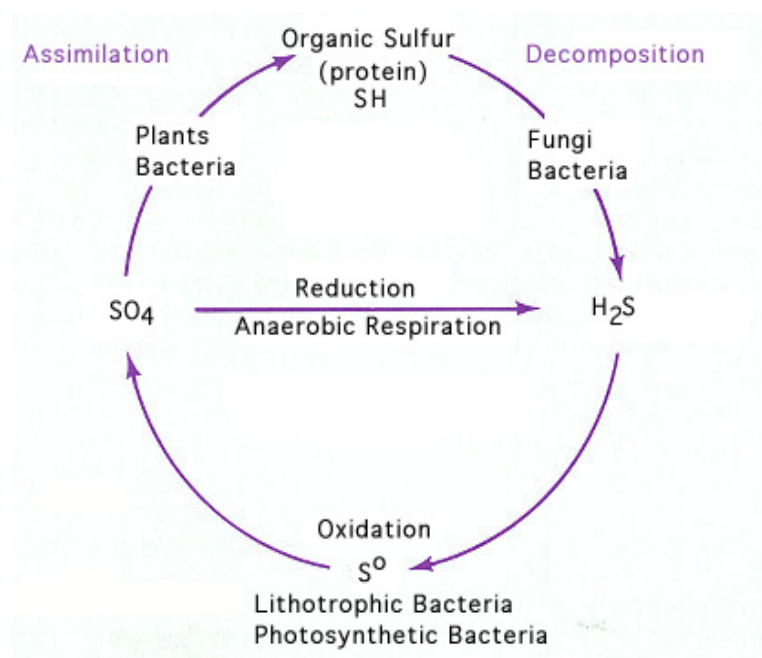
La respiration anaérobie (accepteur d'électron alternative : NO_3 , SO_4 , S)
 $(\text{CH}_2\text{O})_n + \text{SO}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{S}$

La fermentation (ici alcoolique)
 $(\text{CH}_2\text{O})_n \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CO}_2$

La structure des plantes



Le Cycle du Soufre

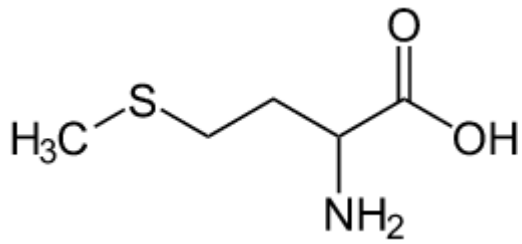


Processus clé et procaryotes impliqués dans le cycle du soufre

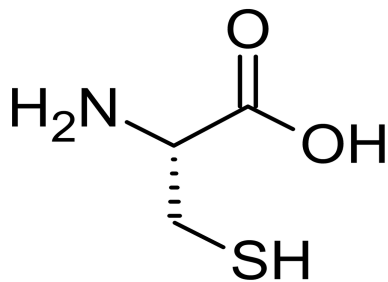
| Processus | Organismes types |
|---|--|
| Oxydation du soufre/sulfure ($H_2S \rightarrow S^0 \rightarrow SO_4^{2-}$) | |
| Aérobie | Chimolithotrophes sulfo-oxydants (<i>Thiobacillus</i> , <i>Beggiatoa</i> , et beaucoup d'autres) |
| Anaérobie | <i>Bacteria</i> phototrophes pourpres et vertes ; quelques chimolithotrophes |
| Réduction du sulfate (anaérobie) ($SO_4^{2-} \rightarrow H_2S$) | <i>Desulfovibrio</i> , <i>Desulfobacter</i> |
| Réduction du soufre (anaérobie) ($S^0 \rightarrow H_2S$) | <i>Desulfuromonas</i> , nombreux <i>Archaea</i> hyperthermophiles |
| Dismutation du soufre ($S_2O_3^{2-} \rightarrow H_2S + SO_4^{2-}$) | <i>Desulfovibrio</i> , et d'autres |
| Oxydation ou réduction de composés organiques sulfurés ($CH_3SH \rightarrow CO_2 + H_2S$) ($DMSO \rightarrow DMS$) | De nombreux organismes effectuent ce processus |
| Désulfurylation (S-organique $\rightarrow H_2S$) | De nombreux organismes effectuent ce processus |

Les acide amines

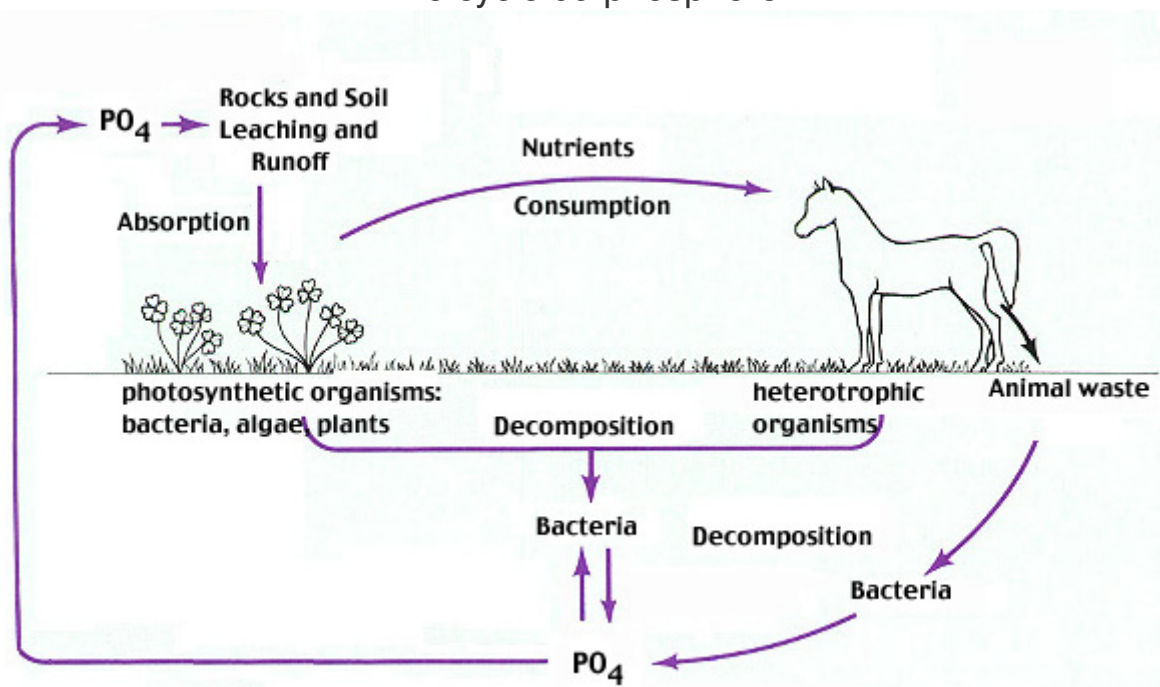
Methionine (ATG : le premier acide aminé dans chaque protéine)



Cysteine (la source de ponts disulfures)



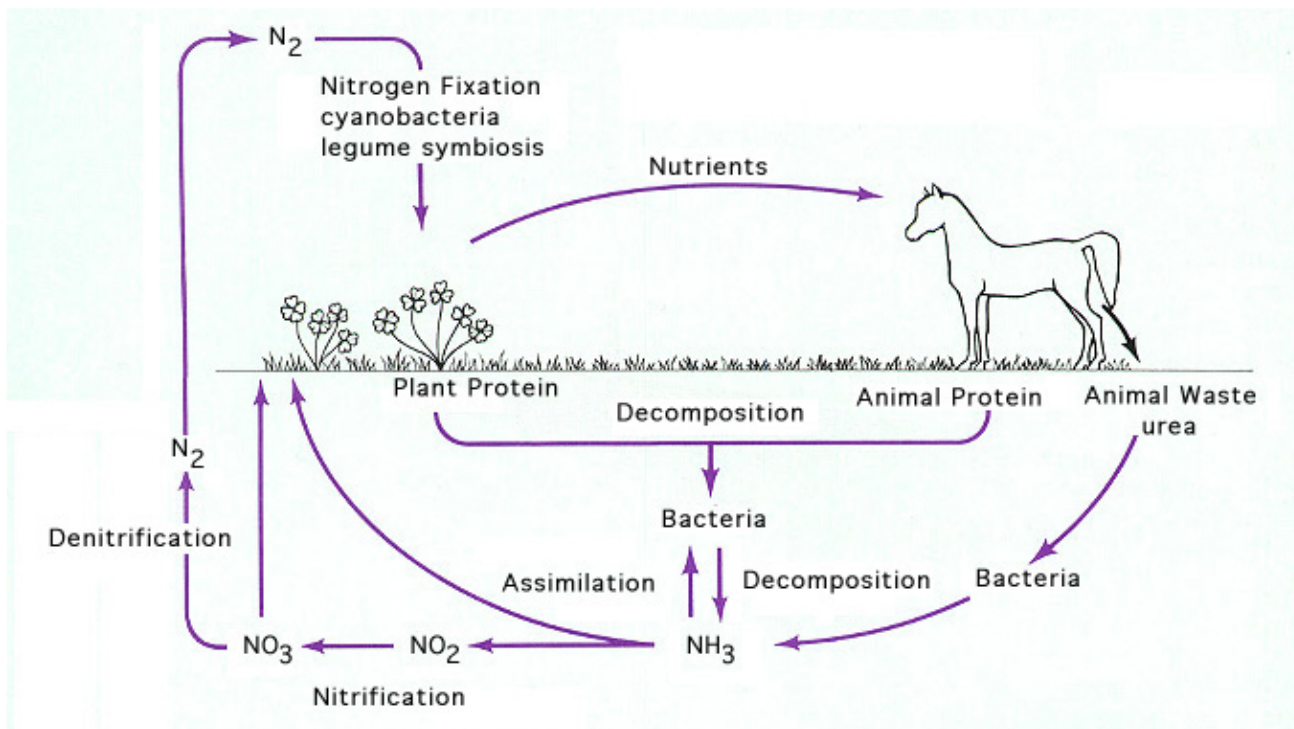
Le cycle du phosphore



inorganique : PO₄

organique : ADN, ARN, ATP, phospholipid (les membranes)

Le cycle d'azote



| Processus clé et procaryotes impliqués dans le cycle de l'azote | |
|---|---|
| Processus | Organismes types |
| Nitrification ($NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$) | |
| $NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$ | <i>Nitrosomonas</i> |
| $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ | <i>Nitrobacter</i> |
| Dénitrification ($NO_3^- \rightarrow N_2$) | <i>Bacillus, Paracoccus, Pseudomonas</i> |
| Fixation du N_2 ($N_2 + 8H \rightarrow NH_3 + H_2$) | |
| Libre | |
| Aérobie | <i>Azotobacter</i> Cyanobactéries |
| Anaérobie | <i>Clostridium</i> , bactéries vertes et pourpres |
| Symbiote | <i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i> <i>Frankia</i> |
| Ammonification (N-organique $\rightarrow NH_4^+$) | De nombreux organismes ammonifient |
| Anammox ($NO_2^- + NH_3 \rightarrow 2N_2$) | <i>Brocadia</i> |

Denitrification : les bacteries qui utilisent NO_3 comme accepteur des electrons pour la respiration

Nitrification (lithotrophie): NH_3 est une source réduite d'énergie pour la fixation du carbone

$\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2$ (*Nitrosomonas*)

$\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$ (*Nitrobacter*)