

# COURS D'ÉCOLOGIE GÉNÉRALE

2<sup>ÈME</sup> ANNÉE TRONC COMMUN DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA  
D<sup>R</sup> BELABED A.I.



## **CHAPITRE V : FLUX D'ENERGIE ET NOTION DE PRODUCTIVITE**

### **1. Le flux solaire**

Unique entrant dans la biosphère, il conditionne toute production de matière vivante car c'est de lui que dépend toute activité photosynthétique. Seule une fraction de la lumière solaire qui atteint l'environnement immédiat de notre planète (Ionosphère) arrive à la surface terrestre.

Si l'on définit le flux solaire comme le taux d'énergie de toute longueur d'onde qui traverse une unité de surface par unité de temps, on peut l'évaluer à 2 cal/cm<sup>2</sup>/min dans la haute stratosphère. Cette énergie est à 99% concentrée dans une étroite bande spectrale de longueur d'onde comprise entre 0,2μ et 4μ, dont près de la moitié se situe dans le spectre visible (0,38μ à 0,77μ) et le reste est surtout compris soit dans l'ultraviolet proche, soit dans l'infrarouge.

Plus de 30% du flux solaire qui atteint la haute stratosphère est directement réfléchi dans l'espace par l'atmosphère elle-même et les nuages ; 8% l'est par les poussières en suspension dans l'air. De plus, 10% du rayonnement global est absorbé par la vapeur d'eau, l'ozone et d'autres gaz.

Finalement, seuls 52% des rayons solaires parviennent au sol. Mais à ce niveau se produiront encore des pertes par réflexion, de l'ordre de 10% (Albedo) et près de la moitié seront utilisés comme source de chaleur dans les processus d'évapotranspiration. Enfin, sur les 40% qui restent disponibles, à peine le quart est employé par les végétaux pour la photosynthèse.

La chlorophylle et d'autres pigments apparents absorbent surtout l'énergie contenue dans les longueurs d'ondes comprises entre 0,4 – 0,5 μ (bleu) et entre 0,61 – 0,69 μ (rouge). En réalité, seulement 10% environ de l'énergie reçue par les plantes (dans le spectre visible) est réellement transformée en biomasse. Si l'on rapporte la quantité d'énergie convertie en substances organiques par les végétaux chlorophylliens au flux total qui atteint le sol, le rendement photosynthétique effectif apparaît très faible. Il est en général compris entre 0,1 et 1,6%.

### **2. Notion de Biomasse**

Le terme de biomasse désigne normalement la matière vivante, la nécromasse constitue la matière organique morte. Il est difficile de distinguer la biomasse de la nécromasse car cette dernière est liée à la première.

#### **2.1. Composition de la biomasse**

La biomasse est constituée de protides, lipides et glucides qui baignent dans un milieu riche en eau. La proportion des éléments diffère selon les types d'organismes et surtout entre les animaux et les végétaux.

Pour les zootechniciens, leur composition moyenne est selon la formule suivante : C<sub>148</sub>, H<sub>296</sub>, O<sub>146</sub>, N<sub>16</sub>, P<sub>13</sub>, S<sub>1</sub>. (ce sont les proportions des éléments chimiques dans le poids sec des organismes).

Pour les océanographes, ils utilisent la formule de **REDFIELD** : C<sub>106</sub>, H<sub>263</sub>, O<sub>110</sub>, N<sub>16</sub>, P<sub>1</sub>.

## 2.2. Mesure de la biomasse

La biomasse est en principe une quantité de matière vivante mesurée en unité de masse de substance fraîche ou de poids frais, cependant on utilise plus souvent des unités de mesure qui sont différentes mais proportionnelles à ce poids frais. Ainsi, on exprimera la quantité de matière vivante dans les unités suivantes :

- **Le poids sec** : C'est le poids qui élimine l'environnement aqueux dans lequel baignent les tissus. Il est généralement obtenu par dessiccation dans une étuve à 90°-100° pendant 24h à 48h ou encore par macération dans l'alcool absolu. On peut également estimer la quantité de matière organique (eau et sels minéraux exclus) en faisant la différence entre un poids sec et ce qui reste de l'échantillon après calcination au four. On définit alors un poids sec sans cendres.
- **Le biovolume** : Il est souvent considéré comme proportionnel au poids frais puisque la densité de la matière organique est à peu près invariable. Le biovolume est surtout utilisable pour les organismes de taille moyenne que l'on mesure par immersion dans un volume d'eau connu.
- **Le nombre d'individus** : C'est une bonne estimation de la quantité de biomasse à condition que les individus soient de même taille.

Ainsi, les quantités de biomasse sont ramenées à une surface déterminée ou à un volume, à une espèce ou à un peuplement d'une surface déterminée d'un biotope ou une population ou une cohorte.

## 3. Transfert d'énergie et rendements (Notion de productivité)

### 3.1. La productivité primaire

C'est la quantité de biomasse végétale produite par l'activité photosynthétique des végétaux sous forme de matière organique pouvant constituer soit un incrément (biomasse pour les végétaux), soit être utilisée comme aliment par les consommateurs.

#### 3.1.1. La production brute (PB)

Elle s'exprime en quantité de carbone fixé par unité de temps par une biomasse végétale donnée. C'est le produit total de la photosynthèse, c'est-à-dire l'ensemble de toutes les matières organiques produites y compris les assimilats brutes dans la respiration. Cette PB assure :

- La maintenance des organes existants.
- La constitution d'organes nouveaux.
- L'élaboration et le stockage de réserves.
- La création d'énergie dissipée pour la reproduction.

### 3.1.2. La production nette (PN)

C'est la photosynthèse apparente c'est-à-dire l'ensemble de tous les tissus formés par unité de temps et de toutes les matières nouvellement stockées dans tous les organes, c'est donc la différence de biomasse entre  $T_1$  et  $T_2$ .

$$PN = \frac{B_2 - B_1}{T_2 - T_1} = PB - R \quad R : \text{Respiration.}$$

Tout être vivant qui fabrique des tissus et se reproduit utilise une certaine quantité d'énergie pour :

- Assurer les dépenses d'entretien.
- Permettre l'effort musculaire.
- Assurer la croissance.
- Constituer des réserves.
- l'élaboration des éléments nécessaires à la création d'un nouvel organisme (Reproduction).

### 3.2. La productivité secondaire

Au sens large, le terme de productivité secondaire désigne le taux d'accumulation de matière vivante (Biomasse donc d'énergie) au niveau des hétérotrophes : consommateurs et décomposeurs.

Finalement :

- **Productivité brute (PB)** : Quantité de matière vivante produite pendant une unité de temps, par un niveau trophique donné.
- **Productivité nette (PN)** : Productivité brute moins la quantité de matière vivante dégradée par la respiration.

$$PN = PB - R.$$

- **Productivité primaire** : Productivité nette des autotrophes chlorophylliens.
- **Productivité secondaire** : Productivité nette des herbivores, des carnivores et des décomposeurs.

## 4. Transfert d'énergie

Les relations trophiques qui existent entre les niveaux d'une chaîne trophique se traduisent par des transferts d'énergie d'un niveau à l'autre.

- Une partie de la lumière solaire absorbée par le végétal est dissipée sous forme de chaleur.
- Le reste est utilisé pour la synthèse de substances organiques (photosynthèse) et correspond à la **Productivité primaire Brute (PB)**.
- Une partie de **(PB)** est perdue pour la **Respiration (R1)**.
- Le reste constitue la **Productivité primaire Nette (PN)**.

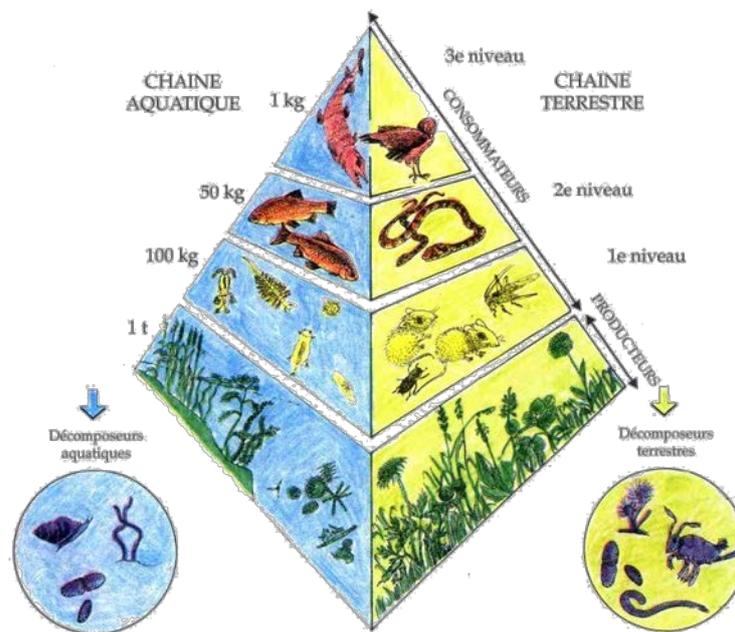
- Une partie de (**PN**) sert à l'augmentation de la biomasse végétale avant d'être la proie des bactéries et des autres décomposeurs.
- Le reste de (**PN**), sert d'aliment aux herbivores qui absorbent ainsi une quantité d'énergie Ingérée (**I1**).
- La quantité d'énergie ingérée (**I1**) correspond à ce qui est réellement utilisé ou Assimilé (**A1**) par l'herbivore, plus ce qui est rejeté (Non Assimilé) (**NA1**) sous la forme d'excréments et de déchets :  
**I1 = A1 + NA1**
- La fraction assimilée (**A1**) sert d'une part à la Productivité Secondaire (**PS1**) et d'autre part aux dépenses Respiratoires (**R2**).
- On peut continuer le même raisonnement pour les carnivores.

Ainsi, du soleil aux consommateurs (1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ordre), l'énergie s'écoule de niveau trophique en niveau trophique, diminuant à chaque transfert d'un chaînon à un autre. On parle donc de flux d'énergie. Le flux d'énergie qui traverse un niveau trophique donné correspond à la totalité de l'énergie assimilée à ce niveau, c'est-à-dire à la somme de la productivité nette et des substances perdues par la respiration.

Dans le cas des producteurs primaires, ce flux est : **PB = PN + R1**.

Le flux d'énergie qui traverse le niveau trophique des herbivores est : **A1 = PS1 + R2**.

Plus on s'éloigne du producteur primaire, plus la production de matière vivante est faible (**Fig. 03**).



**Figure (04) :** Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire : le passage d'un niveau alimentaire à un autre entraîne une perte de matière considérable.

#### 4.1. Les rendements

A chaque étape du flux, de l'organisme mangé à l'organisme mangeur et à l'intérieur de chacun d'eux, de l'énergie est perdue. On peut donc caractériser les divers organismes du point de vue bioénergétique, par leur aptitude à diminuer ces pertes d'énergie. Cette aptitude est évaluée par les calculs de rendements :

- **Rendement écologique** : C'est le rapport de la production nette du niveau trophique de rang (n) à la production nette du niveau trophique de rang (n-1) :  $(PS1/PN \times 100)$  ou  $(PS2/PS1 \times 100)$ .
- **Rendement d'exploitation** : C'est le rapport de l'énergie ingérée (I) à l'énergie disponible. C'est la production nette de la proie :  $(I1/PN \times 100)$  ou  $(I2/PS1 \times 100)$ .
- **Rendement de production nette** : Qui est le rapport de la production nette à l'énergie assimilée :  $(PS2/A2 \times 100)$  ou  $(PS1/A1 \times 100)$ . Ce rendement intéresse les éleveurs, car il exprime la possibilité pour une espèce de former la plus grande quantité possible de viande à partir d'une quantité donnée d'aliments.

#### 4.2. Stabilité des écosystèmes

Les ressources disponibles, régulées par les facteurs physico-chimiques du milieu, contrôlent les chaînes trophiques depuis les producteurs jusqu'aux prédateurs. C'est la théorie du contrôle des communautés par les ressources (éléments nutritifs), ou **contrôle bottom-up** (du bas vers le haut).

**Exemple** : La relation existante entre la teneur en phosphates des océans + la quantité des planctons + taille des poissons qui s'en nourrissent.

A l'inverse, le fonctionnement d'un écosystème dépend de la prédation exercée par les niveaux trophiques supérieurs sur les niveaux trophiques inférieurs. **C'est le contrôle top-down.**

**Exemple** : Effet régulateur d'une population de carnivores (loups) sur une population de proies (lièvres).

Les deux contrôles interviennent simultanément dans les écosystèmes et peuvent être complémentaires. Les modifications par l'homme d'un niveau trophique peuvent amplifier l'un ou l'autre des deux contrôles et entraîner une instabilité de l'écosystème.

#### Exemples :

- Augmentation des ressources en éléments nutritifs (amplification du contrôle bottom-up). Cas de la pollution organique des eaux ou eutrophisation.
- Diminution d'abondance d'un prédateur de haut niveau (amplification du contrôle top-down). Cas de la chasse ou de la pêche.

#### 5. Les cycles biogéochimiques

Il existe une circulation de la matière dans chaque écosystème où des molécules ou des éléments chimiques, reviennent sans cesse à leur point de départ et que l'on peut qualifier de cyclique, à la différence des transferts d'énergie. Le passage alternatif des éléments, ou molécules, entre milieu inorganique et matière vivante, est appelé cycle biogéochimique. Celui-ci correspond à un **cycle biologique** (cycle interne à l'écosystème qui correspond aux échanges entre les organismes) auquel se greffe un **cycle géochimique** (cycle de grandes dimensions, pouvant intéresser la biosphère entière et qui concernent les transports dans le milieu non vivant).

On peut distinguer trois principaux types de cycles biogéochimiques :

- Le cycle de l'eau.
- Le cycle des éléments à phase gazeuse prédominante (carbone, oxygène, azote).
- Le cycle des éléments à phase sédimentaire prédominante (phosphore, potassium etc.).

### 5.1. Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau consiste en un échange d'eau entre les différents compartiments de la Terre : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère (**Fig. 05**).

Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore. **L'évapotranspiration** joue un rôle également important dans le cycle de l'eau. Elle est accélérée par les végétaux qui transpirent de grandes quantités d'eau par leur système foliaire. De plus, leurs racines, accélèrent ces mouvements ascendants de l'eau dans le sens sol-atmosphère. Cette eau rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau (nuages). Les nuages sont poussés par le vent. Lorsqu'ils traversent des régions froides, la vapeur d'eau se condense. Elle retombe sur le sol, sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Les 7/9 du volume total de ces précipitations retombent à la surface des océans et les 2/9 seulement sur les continents. La circulation de l'eau dans la lithosphère emprunte trois voies :

- **Le ruissellement** : phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols.
- **L'infiltration** : phénomène de pénétration des eaux dans le sol, à travers les fissures naturelles des sols et des roches, assurant ainsi l'alimentation des nappes phréatiques.
- **La percolation** : phénomène de migration de l'eau à travers les sols (jusqu'à la nappe phréatique).

Ruissellement, infiltration et percolation assurent l'alimentation des cours d'eau qui restituent en dernier lieu l'eau à l'hydrosphère.

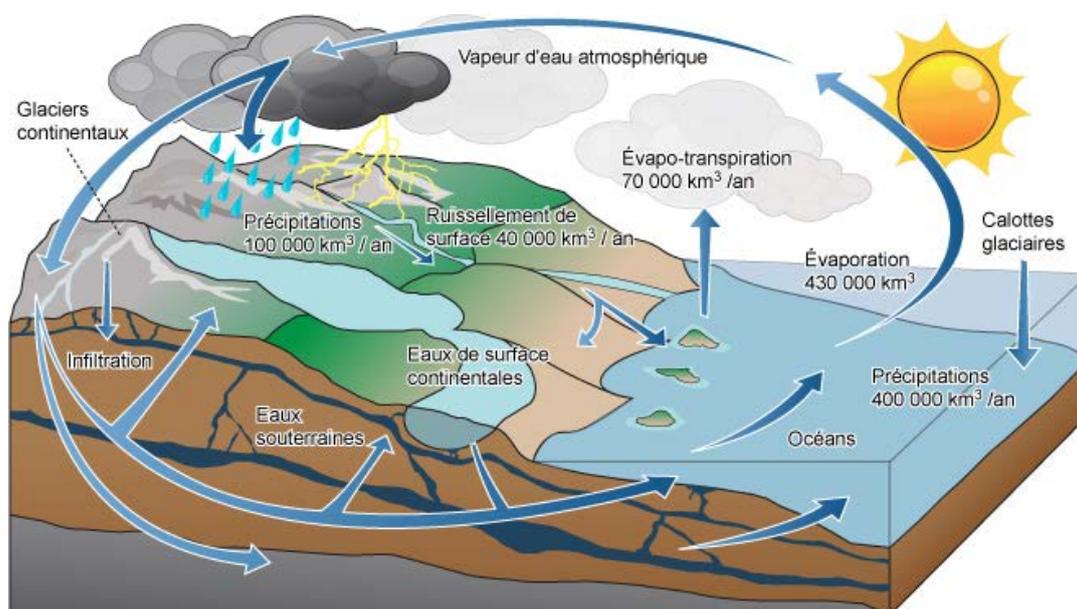


Figure (05): Cycle de l'eau (Source : US Geographical Survey.)

## 5.2. Le cycle du carbone

Lors de la respiration, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère après combustion d'un carburant, en présence d'oxygène. Les éruptions volcaniques sont également considérées comme source naturelle de CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> est absorbé par les plantes (photosynthèse) et l'eau (dissolution). Photosynthèse et dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique (**Fig. 06**).

Après la photosynthèse, le carbone se combine avec d'autres éléments pour former des molécules complexes, qui après la mort de la plante seront dégradées très lentement en charbon. Lors de leur combustion, ces combustibles fossiles formeront à nouveau du CO<sub>2</sub>.

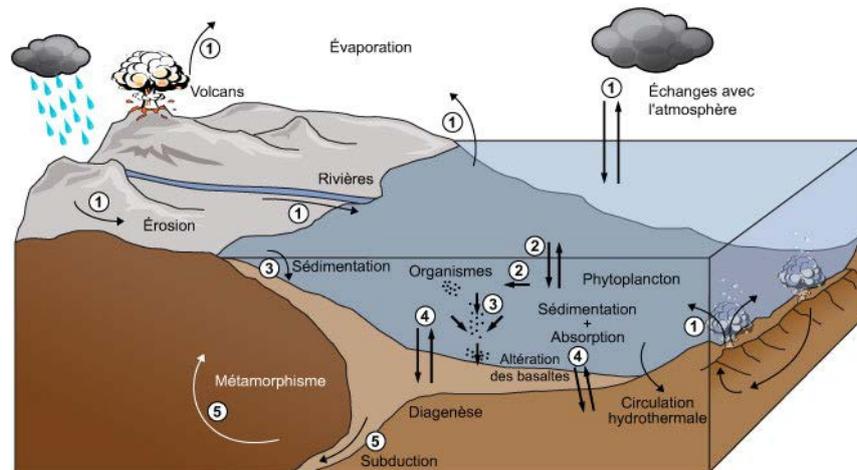
Le CO<sub>2</sub> de l'air et celui dissous dans l'eau constituent la seule source de carbone inorganique à partir de laquelle s'élaborent toutes les substances biochimiques constituant la cellule vivante (grâce à l'assimilation chlorophyllienne).

Au cours de la respiration des autotrophes, des hétérotrophes et de divers autres organismes, le gaz carbonique est dégagé parallèlement à la consommation d'oxygène.

Le dégagement de CO<sub>2</sub> a lieu également au cours des fermentations qui conduisent à une décomposition partielle des substrats dans des conditions anaérobies.

Dans les sols, il se produit souvent un ralentissement du cycle du carbone : les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées mais transformées en un ensemble de composés organiques acides (les acides humiques). Dans certains cas les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées et elles s'accumulent dans diverses formations sédimentaires. Il se produit une stagnation et même un blocage du cycle du carbone. C'est le cas actuellement de la formation de tourbe ou par le passé de la constitution de grands dépôts de houille, de pétrole et d'autres hydrocarbures fossiles.

Cependant, nous produisons trop de dioxyde de carbone et notre Terre n'arrive plus à le recycler. Le taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère augmente et le climat se réchauffe. En effet, le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère permet de piéger la chaleur du soleil qui rend la vie possible sur Terre. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre. En augmentant la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, l'équilibre de notre écosystème est perturbé. Le climat se réchauffe et cela peut avoir des conséquences graves sur la vie sur Terre : les calottes glaciaires pourraient fondre et augmenter le niveau des mers en certains points provoquant des inondations, augmentation des conditions climatiques extrêmes comme les tempêtes, les raz de marée, la sécheresse... etc.



**Figure (06):** Cycle du carbone (Source : Adapté de Giasson, Marc-André, thèse de doctorat, Université Laval, et celui adapté de Sarmiento et Gruber, 2002 "Sinks for anthropogenic carbon").

### 5.3. Le cycle du phosphore

En dépit de la rareté du phosphore minéral dans la biosphère, cet élément reste important pour la matière vivante (c'est un constituant de l'ADN, de l'ARN et de l'ATP). Son réservoir principal est constitué par diverses roches qui cèdent peu à peu leurs phosphates aux écosystèmes.

Dans le milieu terrestre, la concentration en phosphore assimilable est souvent faible et joue le rôle de facteur limitant. Ce phosphore est mis en circulation par lessivage (ou érosion) et dissolution et introduit ainsi dans les écosystèmes terrestres où il est absorbé par les végétaux. Ceux-ci l'incorporent dans diverses substances organiques et le font ainsi passer dans les réseaux trophiques. Puis les phosphates organiques sont restitués au sol avec les cadavres, déchets et excréta produits par les êtres vivants, attaqués par les micro-organismes et retransformés en orthophosphates minéraux, à nouveau disponibles pour les plantes vertes et autres autotrophes.

Le phosphore est introduit dans les écosystèmes aquatiques par les eaux de ruissellement. Celles-ci vont ensuite rejoindre les océans, permettant ainsi le développement du phytoplancton et des animaux des divers maillons de la chaîne trophique.

Le passage du phosphore de l'état organique à l'état inorganique est assuré par des bactéries et des champignons.

Un retour partiel des phosphates des océans vers les terres émergées s'effectue par l'intermédiaire des oiseaux marins **ichtyophages** ou **piscivores** par le biais de gisements de guano.

Cependant, dans les océans, le cycle du phosphore se fait avec des pertes, puisqu'une partie importante des phosphates entraînée en mer se retrouve immobilisée dans les sédiments profonds (fragments de

cadavres de poissons, non consommés par les détritivores et les décomposeurs). Lorsqu'il n'existe pas de courants ascendants permettant la remontée des eaux en surface, la pénurie de phosphore est un facteur limitant. Le cycle du phosphore est donc incomplet et ouvert. Du fait de sa rareté et en raison de ces pertes pour le cycle, le phosphore constitue donc le principal facteur limitant qui contrôle la majeure partie de la production primaire.

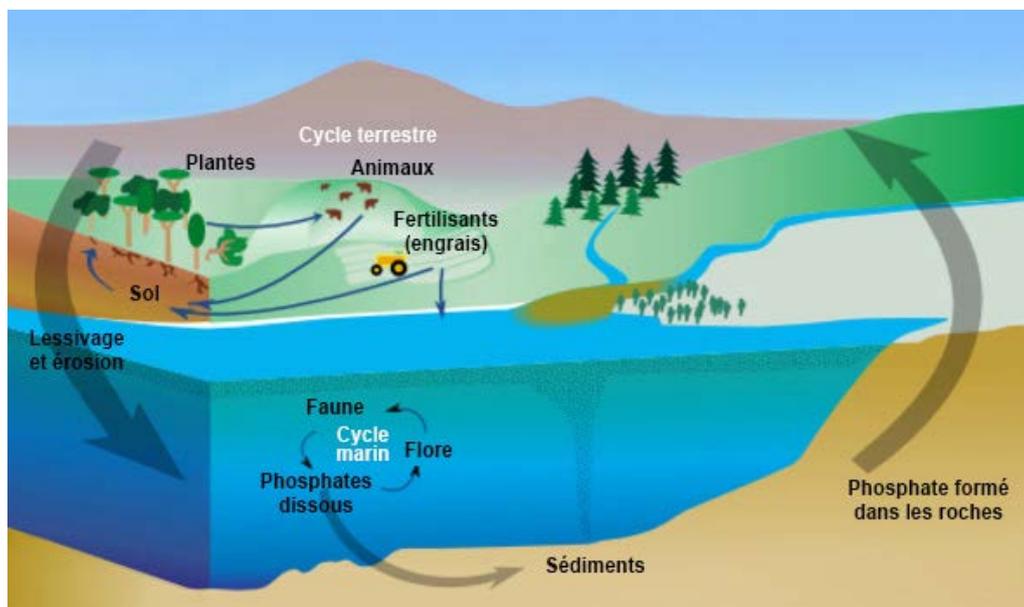


Figure (07): Cycle du phosphore (Source : By Bonniemf Incorporates work by NASA Earth Science Enterprise).

#### 5.4. Le cycle de l'azote

Le principal réservoir de l'azote est l'atmosphère qui en renferme 79% en poids. La formation de nitrates par voie inorganique s'effectue sans cesse dans l'atmosphère par suite des décharges-électriques lors des orages. Mais, elle ne joue qu'un rôle secondaire par rapport à celui des micro-organismes nitrifiants. Ces derniers sont surtout représentés par des bactéries, soit libres (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhodospirillum*), soit symbiotiques (*Rhizobium*). Dans le milieu aquatique ce sont surtout les algues cyanophycées (algues bleues) qui sont fixatrices de l'azote gazeux.

L'azote nitrique ainsi élaboré par ces nombreux micro-organismes terrestres ou aquatiques est finalement absorbé par les végétaux, amené dans les feuilles et transformé en ammoniacque, grâce à une enzyme spécifique, la nitrate-réductase. Ensuite, l'ammoniacque est transformée en azote aminé puis en protéines. Les protéines et autres formes de l'azote organique contenues dans les cadavres, excréta et déchets organiques vont être attaquées par des microorganismes bioréducteurs (bactéries et champignons) qui produisent l'énergie dont ils ont besoin par la décomposition de cet azote organique qui est ensuite transformé en ammoniacque, c'est l'ammonification.

Une partie de cet azote ammoniacal peut être absorbé directement par les végétaux, mais il peut être aussi

utilisé par des bactéries nitrifiantes (les Nitrosomonas) pour produire leur énergie métabolique. Celles-ci transforment l'ammoniaque  $\text{NH}_4^+$  en nitrite,  $\text{NO}_2^-$ , c'est la nitrification, puis les Nitrobacter le transforment en  $\text{NO}_3^-$ , c'est la nitrification. L'ion nitrate  $\text{NO}_3^-$  est alors absorbé par les végétaux.

L'azote retourne constamment à l'air sous l'action des bactéries dénitrifiantes (Pseudomonas) qui sont capables de décomposer l'ion  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{N}_2$  qui se volatilise et retourne à l'air ; mais le rôle de ces bactéries est heureusement peu important.

Une partie non négligeable des nitrates peut être lessivée par les eaux de ruissellement et entraînée en mer. L'azote peut alors être immobilisé par incorporation aux sédiments profonds. Cependant, il est en grande partie repris par les organismes du phytoplancton et il entre dans une chaîne alimentaire aboutissant à des oiseaux qui le ramènent, par leurs déjections, au milieu terrestre sous la forme de guano.

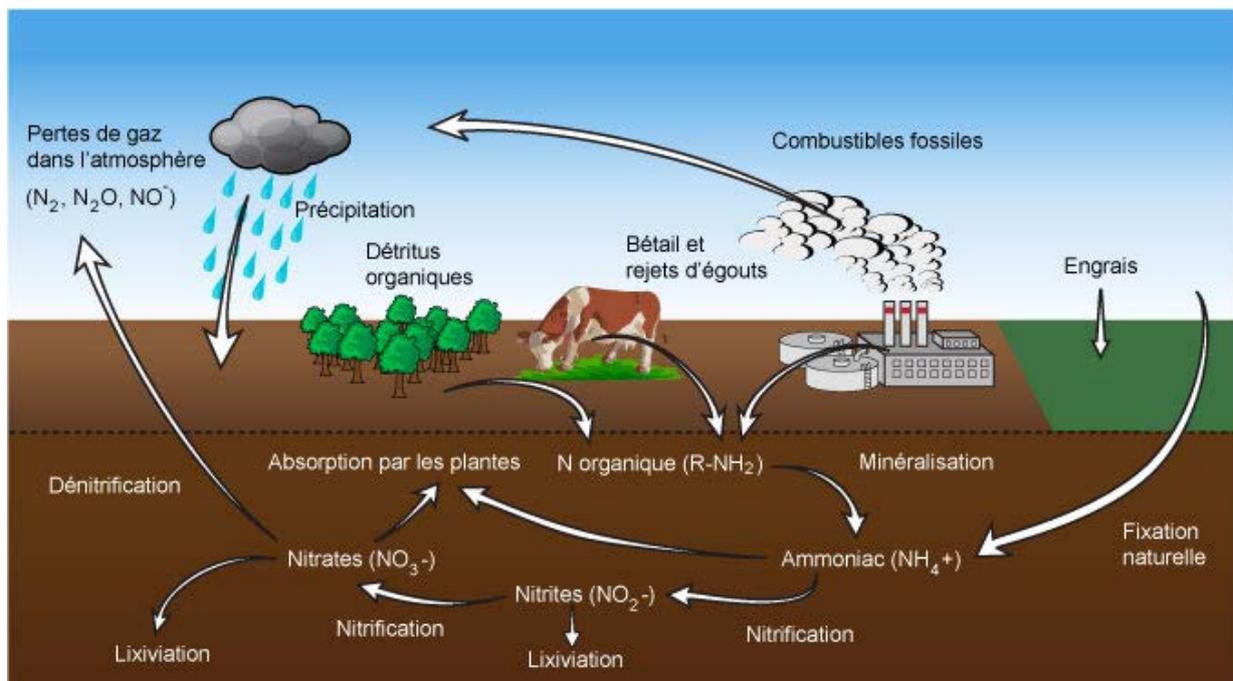


Figure (08): Cycle de l'azote.