

Chapitre III

Structure et fonctionnement des écosystèmes

1. La biosphère et ses constituants

Biosphère signifie, littéralement, sphère de la vie, c'est-à-dire l'ensemble de la vie terrestre. Les êtres vivants sont localisés sur une couche étroite à la surface de la Terre. Celle-ci comprend **la basse atmosphère**, Les océans, mers, lacs et cours d'eau que l'on regroupe sous le nom d'**hydrosphère** et la mince pellicule superficielle des terres émergées appelés **lithosphère**.

L'épaisseur de la biosphère varie considérablement d'un point à un autre puisque la vie pénètre jusque dans les fosses océaniques au-delà de 10 000 m de profondeur alors que dans la lithosphère, on ne trouve guère trace de vie au-delà d'une dizaine de mètres. Dans l'atmosphère, par suite de la raréfaction de l'oxygène, les êtres vivants se font plus rares avec l'altitude et vivent rarement à plus de 10 000 m.

La source majeure d'énergie dans la biosphère est le soleil. L'autre source importante est l'énergie géothermique.

Grâce à la photosynthèse, les plantes transforment l'énergie solaire en énergie chimique, et les animaux en mangeant ces plantes ou en se mangeant entre eux, la récupèrent.

2. Organisation de la biosphère

Le niveau le plus élémentaire d'organisation du vivant est la cellule. Celle-ci est intégrée dans l'individu qui s'intègre dans une population. La population fait partie d'une communauté ou biocénose. La biocénose s'intègre à son tour dans l'écosystème. L'ensemble des écosystèmes forment la biosphère qui est le niveau le plus élevé du vivant.

Un écosystème est constitué par l'ensemble des êtres vivants (biocénose) et du milieu dans lequel ils vivent (biotope).

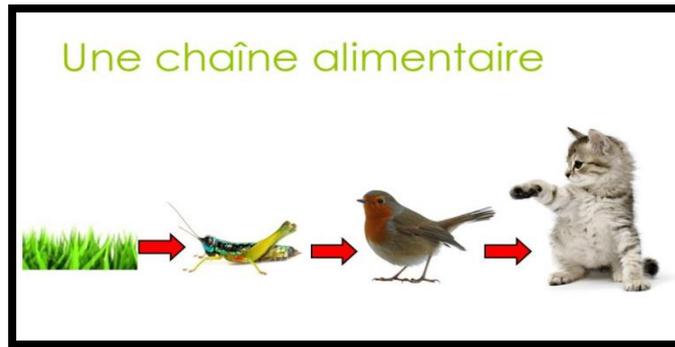
Le biotope fournit l'énergie, la matière organique et inorganique d'origine abiotique. La biocénose comporte trois catégories d'organismes : des **producteurs** de matières organiques, des **consommateurs** de cette matière et des **décomposeurs** qui la recyclent. Les végétaux captent l'énergie solaire et fabriquent des glucides qui seront transformés en d'autres catégories de produits, ils seront broutés par les **herbivores** qui seront dévorés par des **carnivores**. Les **décomposeurs** consomment les déchets et les cadavres de tous et permettent ainsi le retour au milieu de diverses substances. Par son unité, son organisation et son fonctionnement, l'écosystème apparaît comme le maillon de base de la biosphère.

3. La chaîne trophique

3.1. Définitions

Une chaîne trophique ou chaîne alimentaire est une succession d'organismes dont chacun vit au dépend du précédent.

Tout écosystème comporte un ensemble d'espèces animales et végétales qui peuvent être réparties en trois groupes : les **producteurs**, les **consommateurs** et les **décomposeurs**.



- **Les producteurs**

Ce sont les **végétaux autotrophes photosynthétiques** (plantes vertes, phytoplancton : cyanobactéries ou algues bleus : organisme procaryote). Ayant le statut de producteurs primaires, ils constituent le premier niveau trophique de l'écosystème. En effet, grâce à la photosynthèse ils élaborent la matière organique à partir de matières strictement minérales fournies par le milieu extérieur abiotique.

- **Les consommateurs**

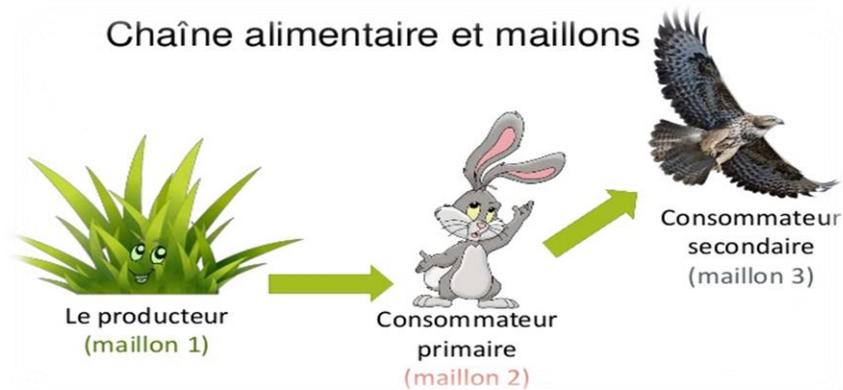
Il s'agit d'êtres vivants, dits **hétérotrophes**, qui se nourrissent des matières organiques complexes déjà élaborées qu'ils prélèvent sur d'autres êtres vivants. Les consommateurs occupent un niveau trophique différent en fonction de leur régime alimentaire. On distingue les consommateurs de matière fraîche et les consommateurs de cadavres.

a- Les consommateurs de matière fraîche, il s'agit de :

- **Consommateurs primaires (C1)**: Ce sont les **phytophages** qui mangent les producteurs. Ce sont en général des animaux, appelés herbivores (mammifères herbivores, insectes, crustacés : crevette), mais aussi plus rarement des parasites végétaux et animaux des plantes vertes.
- **Consommateurs secondaires (C2) : Prédateurs de C1**. Il s'agit de carnivores se nourrissant d'herbivores (mammifères carnassiers, rapaces, insectes,...).
- **Consommateurs tertiaires (C3) : Prédateurs de C2**. Ce sont donc des carnivores qui se nourrissent de carnivores (oiseaux insectivores, rapaces, insectes,...).

Le plus souvent, un consommateur est omnivore et appartient donc à plusieurs niveaux trophiques.

Les **C2** et les **C3** sont soit des **prédateurs** qui capturent leurs proies, soit des **parasites** d'animaux.



b- Les consommateurs de cadavres d'animaux

Les **charognards** ou **nécrophages** désignent les espèces qui se nourrissent des cadavres d'animaux frais ou décomposés. Ils terminent souvent le travail des carnivores. **Exemple** : Chacal, Vautour,...

- **Les décomposeurs ou détritivores**

Les décomposeurs sont les différents organismes et microorganismes qui s'attaquent aux cadavres et aux excréta et les décomposent peu à peu en assurant le retour progressif au monde minéral des éléments contenus dans la matière organique.

- ✓ **Saprophyte** : Organisme végétal se nourrissant de matières organiques en cours de décomposition. **Exemple**: Champignons.
- ✓ **Saprophage** : Organisme animal qui se nourrit de matières organiques en cours de décomposition. **Exemple** : Bactéries.
- ✓ **Détritivore** : Invertébré qui se nourrit de débris ou débris d'animaux et/ou de végétaux. **Exemple** : Protozoaires, lombrics, nématodes, cloportes.
- ✓ **Coprophage** : Animal qui se nourrit d'excréments. **Exemple** : Bousier.

Producteurs primaires, consommateurs et décomposeurs sont liés par une chaîne alimentaire. Le caractère cyclique de la chaîne est assuré par les décomposeurs.

3.2. Différents types de chaînes trophiques

Il existe trois principaux types de chaînes trophiques linéaires :

- **Chaîne de prédateurs**

Dans cette chaîne, le nombre d'individus diminue d'un niveau trophique à l'autre, mais leurs tailles augmentent

Exemple : (100) Producteurs + (3) Herbivores + (1) Carnivore.

- **Chaîne de parasites**

Cela va au contraire d'organismes de grandes tailles vers des organismes plus petits, mais de plus en plus nombreux.

Exemple : (50) Herbes + (2) Mammifères herbivores + (80) Pucés + (150) Leptomonas.

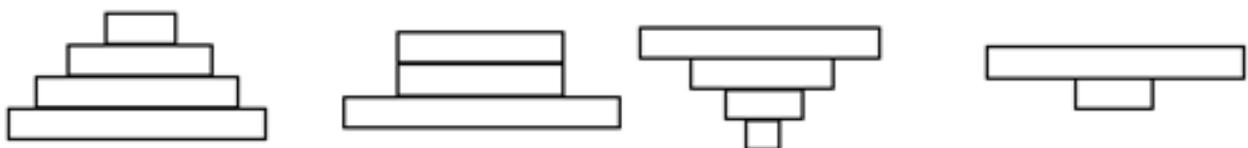
- **Chaîne de détritivores**

Va de la matière organique morte vers des organismes de plus en plus petits (microscopiques) et nombreux.

Exemple : (1) Cadavre + (80) Nématodes + (250) Bactéries.

3.3. Représentation graphique des chaînes trophiques

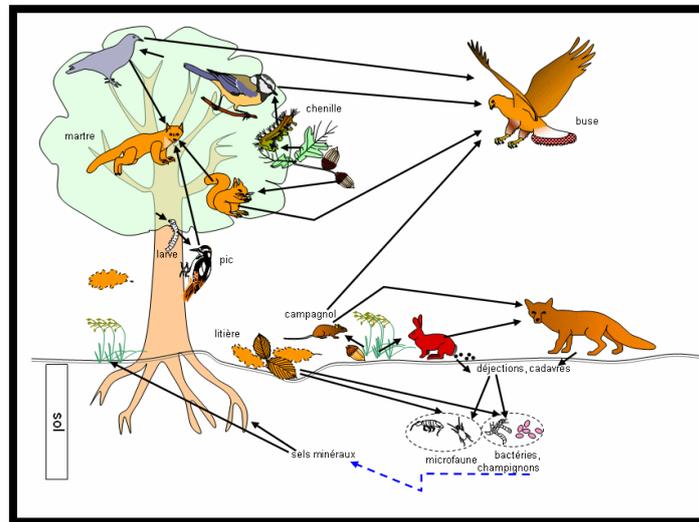
La schématisation de la structure des biocénoses est généralement conçue à l'aide de pyramides écologiques, qui correspondent à la superposition de rectangles horizontaux de même hauteur, mais de longueurs proportionnelles au nombre d'individus, à la biomasse ou à la quantité d'énergie présentes dans chaque niveau trophique. On parle alors de **pyramide des nombres**, des **biomasses** ou des **énergies**.



Diverse schématisation des pyramides écologiques.

3.4. Le réseau trophique

Le réseau trophique se définit comme un **ensemble de chaînes alimentaires** reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la matière circulent. Il se définit également comme étant l'ensemble des relations trophiques existant à l'intérieur d'une biocénose entre les diverses catégories écologiques d'êtres vivants constituant cette dernière (producteurs, consommateurs et décomposeurs).



4. Transfert d'énergie et rendements

4.1. Définitions

- **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.

4.2. 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 (II)**.

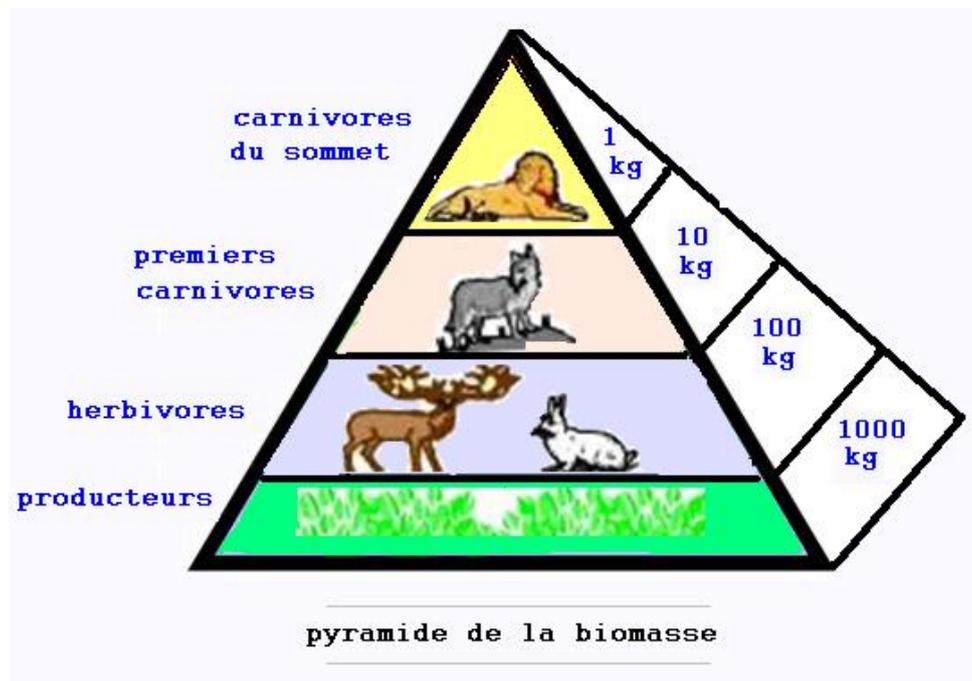
- La quantité d'énergie ingérée (**I1**) correspond à ce qui réellement utilisé ou Assimilé (**A1**) par l'herbivore, plus ce qui est rejeté (Non Assimilée) (**NA1**) sous la forme d'excréments et de déchets : $I1 = A1 + NA1$
- La fraction assimilée (**A1**) sert d'une part à la Productivité Secondaire (**PS1**) et d'autre part aux dépenses Respiratoires (**R2**).
- On peut continuer le même raisonnement pour les carnivores.

Ainsi, du soleil aux consommateurs (1er, 2ème ou 3ème 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.



Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire :

Le passage d'un niveau alimentaire à un autre entraîne une perte de matière considérable.

4.3. 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 :

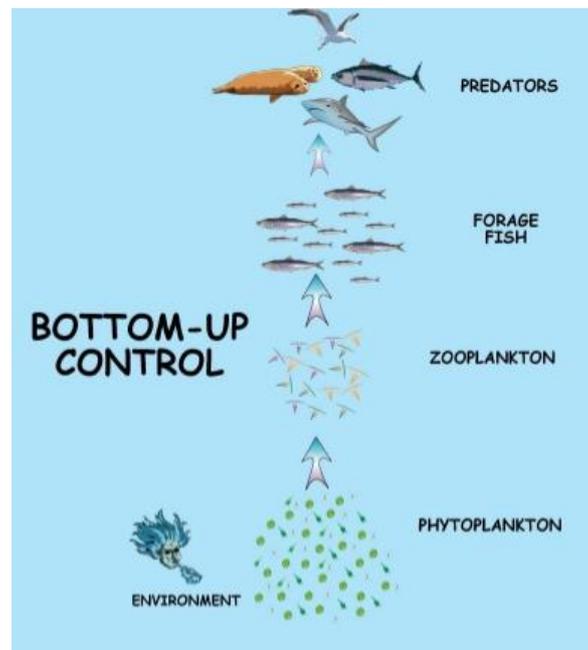
- **Rendement écologique :** C'est le rapport de la production nette du niveau trophique de rang (n) à la production nette du niveau trophique de rang (n-1) : $(PS1/PN \times 100)$ ou $(PS2/PS1 \times 100)$.
- **Rendement d'exploitation :** C'est le rapport de l'énergie ingérée (**I**) à l'énergie disponible. 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.

4.4. 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.

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.).

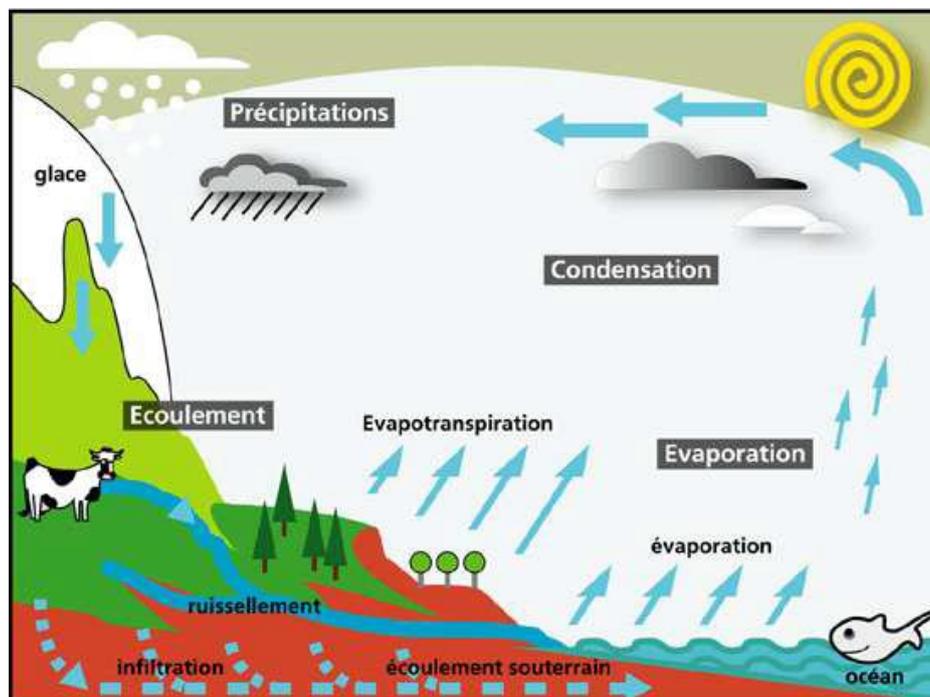
5.1. Le cycle de l'eau

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.

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.



Cycle de l'eau.

5.2. Le cycle du carbone

Lors de la **respiration**, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du CO_2 dans l'atmosphère après **combustion d'un carburant**, en présence d'oxygène. Les éruptions volcaniques sont également considérées comme **source naturelle de CO_2** .

Le CO_2 est absorbé par les plantes (**photosynthèse**) et l'eau (**dissolution**). Photosynthèse et dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique.

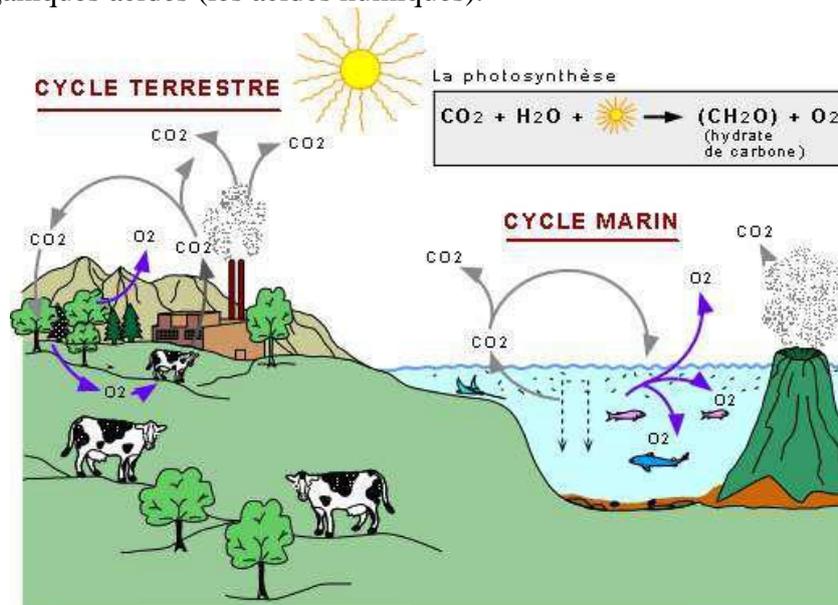
Après la photosynthèse, le carbone se combine avec d'autres éléments pour former des molécules complexes, qui après la mort de la plante seront dégradées très lentement en charbon. Lors de leur combustion, ces combustibles fossiles formeront à nouveau du CO_2 .

Le CO_2 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_2 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).



Cycle du carbone.

Cependant, nous produisons trop de dioxyde de carbone et notre Terre n'arrive plus à le recycler. Le taux de CO_2 dans l'atmosphère augmente et le climat se réchauffe. En effet, le CO_2 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_2 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.

5.3. 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 **ammoniaque**, grâce à une enzyme spécifique, la **nitrate-réductase**.

Ensuite, l'ammoniaque est transformée en **azote aminé** puis en **protéines**.

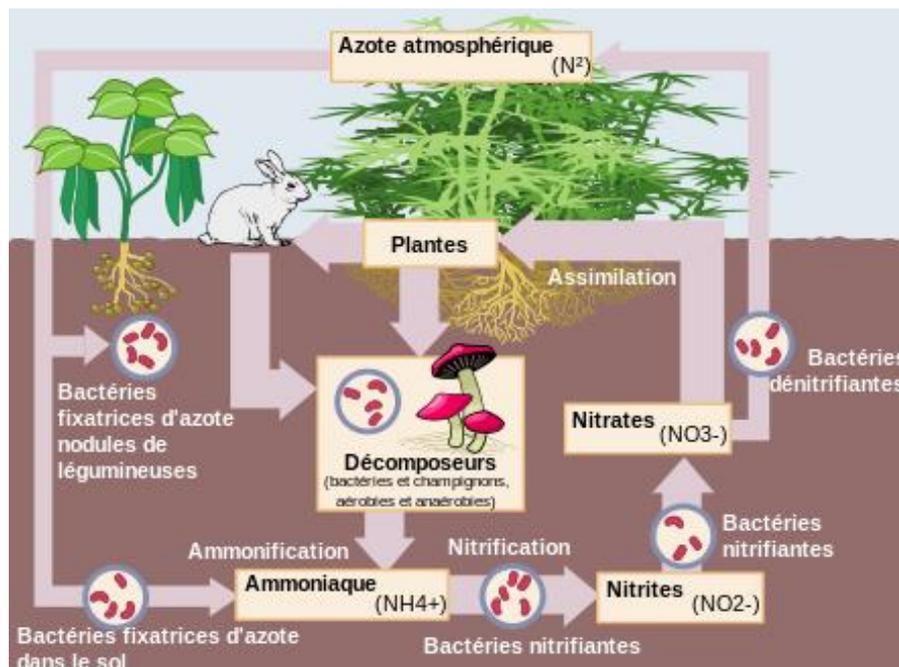
Les protéines et autres formes de l'azote organique contenues dans les cadavres, excréta et déchets organiques vont être attaquées par des microorganismes bioréducteurs (bactéries et champignons) qui produisent l'énergie dont ils ont besoin par la décomposition de cet **azote organique** qui est ensuite transformé en **ammoniaque**, 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** NH_4^+ en **nitrite** NO_2^- , c'est la **nitritation**, puis les Nitrobacter le transforment en NO_3^- , c'est la **nitratation**.

L'**ion nitrate** 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** NO_3^- en 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.



Cycle de l'azote.

5.4. 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.

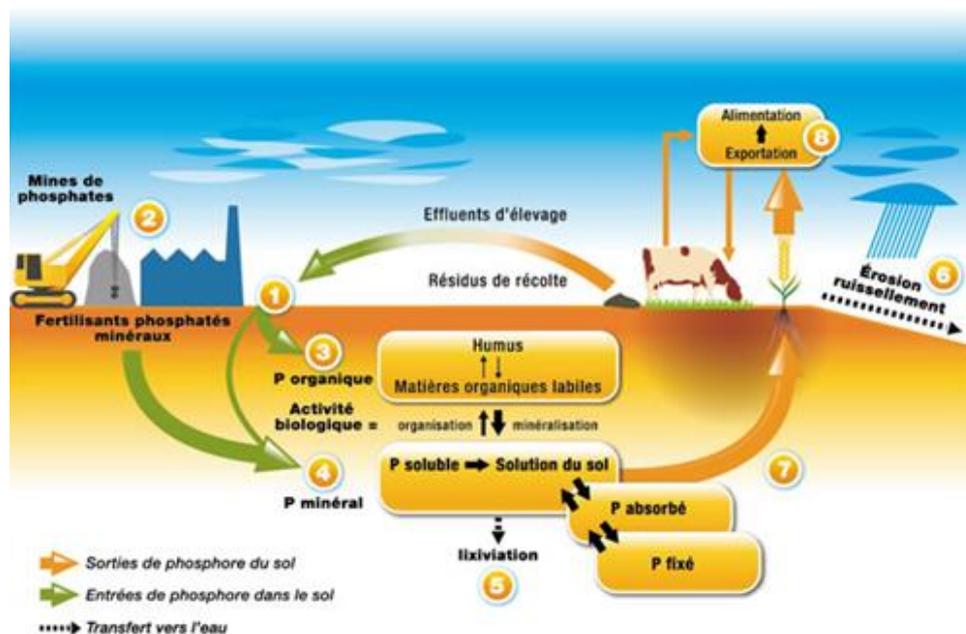
Le phosphore est introduit dans les écosystèmes aquatiques par les eaux de ruissellement. Celles-ci vont ensuite rejoindre les océans, permettant ainsi le développement du phytoplancton et des animaux des divers maillons de la chaîne trophique.

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).

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



Cycle de phosphore