

TD d'Ecologie Générale

Structure et fonctionnement des écosystèmes

1. Notion d'écosystème

Association d'un environnement physico-chimique spécifique (Biotope) avec une communauté vivante (Biocénose).

Ex. : Une forêt (**Ecosystème**) constituée simultanément d'arbres et de plantes herbacées (Phytocénose) et d'animaux (Zoocénose) (**Biocénose**) et d'un sol (**Biotope**).

La notion d'écosystème est multiscalaire (multi-échelle), elle peut s'appliquer à des portions de dimensions variables de la biosphère.

Ex. : Microécosystème (Ex. : Arbre), Mésoécosystème (Ex : Forêt), Macrosystème (Ex. : Région).

Les écosystèmes sont souvent classés par référence aux biotopes concernés :

- **Ecosystèmes continentaux (terrestres) :** écosystème forestier (forêt) ; écosystème prairial (prairie) ; agroécosystème (système agricole).
- **Écosystèmes des eaux continentales :** écosystème lentique (lacs, étangs) ; écosystème lotique (rivières, fleuves).
- **Écosystèmes océaniques :** mers, océans.

2. Principaux écosystèmes

a. Ecosystème forestier (Forêt) : Terre avec un couvert arboré supérieur à 10% et d'une superficie supérieure à 0,5 hectare (ha). Les arbres doivent être capables d'atteindre une hauteur minimum de 5 m à maturité.

b. Agro-écosystème : Écosystème modifié par l'Homme afin d'exploiter une part de la matière organique qu'il produit, généralement à des fins alimentaires.

c. Ecosystème prairial (Prairie) : Formations végétales composées de plantes herbacées appartenant principalement à la famille des graminées (herbe, céréales).

d. Ecosystème océanique (océan) : L'océan mondial constitue le plus vaste écosystème de la planète, tant par sa surface (plus de 71% de la surface du globe = 360 millions de km²) que par sa profondeur (3 800 m en moyenne).

e. Ecosystème lentique : Ensemble des eaux douces à circulations lentes ou nulles (mares, étangs, lacs,...).

f. Ecosystème lotique : Ensemble des eaux courantes continentales (fleuves, rivières...).

3. Structure des écosystèmes

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 : producteurs, consommateurs, décomposeurs (Fig.1).

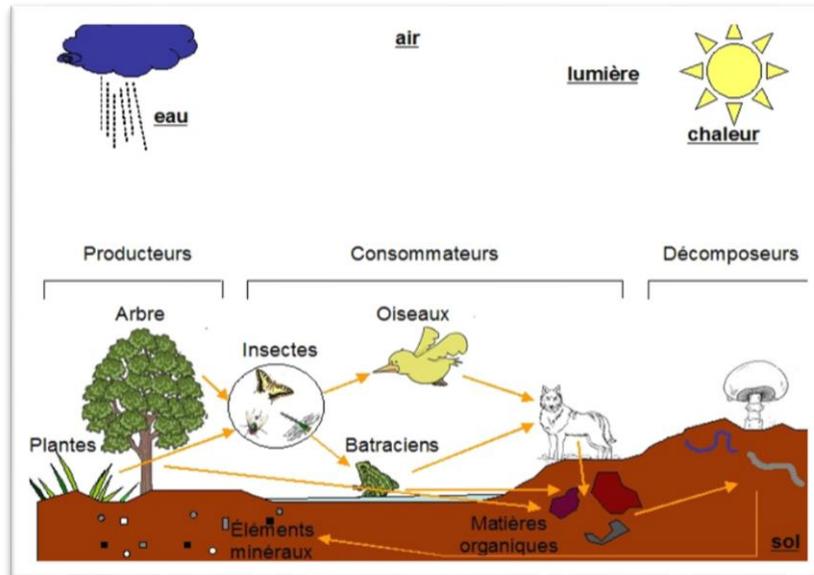


Figure 1 : Exemple de chaîne trophique.

3.1. Composants de la chaîne trophique

3.1.1. Producteurs autotrophes

-Constituent le **1^{er} niveau trophique** de l'écosystème (Producteurs primaires). Ce sont les végétaux autotrophes photosynthétiques (Phototrophes). **Ex.:** Plantes vertes, phytoplanctons, cyanobactéries. Grâce à la photosynthèse, ils élaborent la matière organique à partir de matières strictement minérales fournies par le milieu extérieur abiotique.

3.1.2. Consommateurs hétérotrophes

-Êtres vivants se nourrissant des matières organiques complexes déjà élaborées qu'ils prélèvent sur d'autres êtres vivants. Ils se considèrent comme étant des producteurs secondaires.

Les consommateurs occupent un niveau trophique différent en fonction de leur régime alimentaire.

a. Consommateurs de matière fraîche

-**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 (supraprédateurs) qui capturent leurs proies, soit des parasites d'animaux.

b. Consommateurs de cadavres d'animaux

-**Les charognards ou nécrophages** désignent les espèces qui se nourrissent des cadavres d'animaux frais ou décomposés (matière organique morte). Ils terminent souvent le travail des carnivores. **Ex. :** Chacal, Vautour,...

3.1.3. Décomposeurs et détritivores

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.

a. Détritviores : Individus qui se nourrissent de débris animaux ou végétaux. Leur action marque la 1^{ère} étape de la transformation de la matière organique morte (Fragmentation des débris en éléments plus fins rejetés dans les fèces par hydrolyse enzymatique au cours du transit intestinal). On distingue plusieurs catégories de détritviores :

-Nécrophages : Ne se nourrissent que de cadavres d'animaux. **Ex.** : Nécrophore, insecte coléoptère souvent associé au bout de quelques jours à d'autres insectes adultes ou à des asticots de mouches sur les cadavres d'oiseaux ou de mammifères.

-Saprophages : Désigne les êtres vivants qui mangent des éléments végétaux en décomposition. **Ex.** : Cloportes.

-Géophages : Animaux du sol qui assurent un rôle primordial dans l'humification. **Ex.** : Vers de terre qui « mangent leur chemin en avançant ». Ainsi, ils digèrent les fragments de matière végétale enfouis ou tombé sur le sol.

-Coprophages : Organisme mangeant des excréments. **Ex.** : Bousier.

b. Décomposeurs : La première étape de dégradation de la matière organique morte, assurée par les détritviores, permet à des êtres microscopiques, des bactéries, des champignons ou des protozoaires d'accomplir la seconde étape de cette transformation. Ces micro-organismes sont les responsables de la minéralisation proprement dite. Le caractère cyclique de la chaîne est assuré par les décomposeurs.

3.2. Différents types de chaînes trophiques

A. Chaîne de prédateurs (de consommateurs)

-Commence par un végétal (vivant).

-Le nombre d'individus diminue d'un niveau trophique à l'autre, mais leurs tailles augmentent (Règle d'Elton énoncée en 1921).

-Ex. : (100) Carottes + (5) Lièvres + (3) Loups.

B. Chaîne de parasites

-Organismes de grandes tailles vers des organismes plus petits, mais de plus en plus nombreux (Règle d'Elton n'est pas vérifiée).

- Des espèces éloignées peuvent évoluer chacune à l'intérieur du corps de l'autre (hôte/parasite).

-Ex.: (1) Sapin (Producteur)/(10) Chenille (Herbivore)/(40) Braconides (Parasite)/(80) Chalcidiens (Hyperparasites).

C. Chaîne de détritviores (saprophytiques)

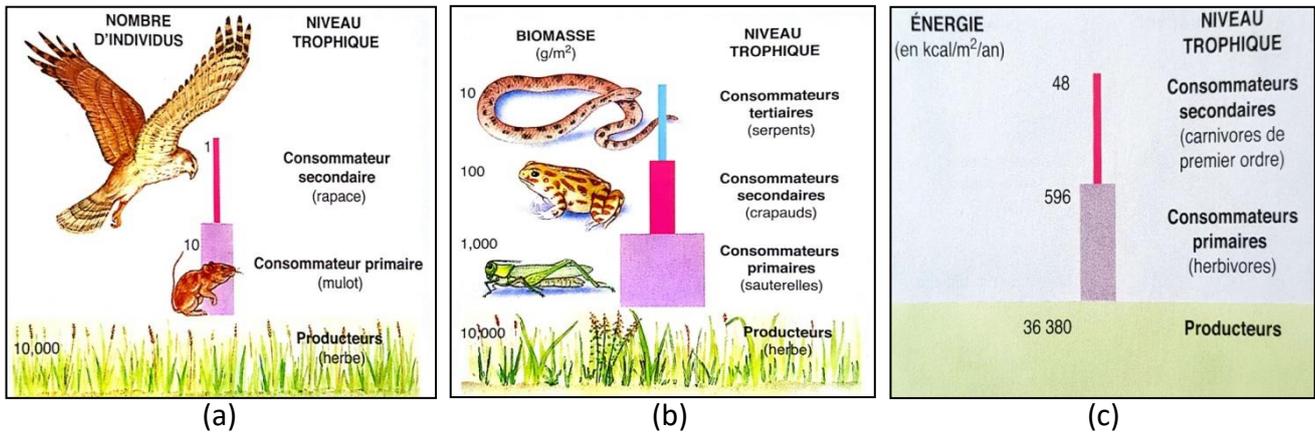
-La circulation de matière est à prédominance détritviorique.

-Ca va de la matière organique morte vers des organismes de plus en plus petits (microscopiques) et nombreux (Règle d'Elton n'est pas vérifiée).

-Ex. : (1) Cadavre (renard) + (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 définies comme superposition de rectangles horizontaux de même hauteur, mais de longueurs proportionnelles au nombre d'individus, à la biomasse ou à la quantité d'énergie présents dans chaque niveau trophique. On parle alors de pyramide des nombres (a), des biomasses (b) et/ou des énergies (c).



3.4. 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.

4. Fonctionnement des écosystèmes

4.1. Productivité

Dans chaque écosystème, une partie du flux d'énergie qui pénètre dans le réseau trophique n'est pas dissipée mais stockée sous forme de substances organiques. Cette production ininterrompue de matière vivante (Biomasse) constitue un des processus fondamentaux de la biosphère. C'est en effet cette productivité des écosystèmes qui assure le renouvellement des ressources de la biosphère (Production primaire et secondaire).

-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 et flux 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 (Fig.2).

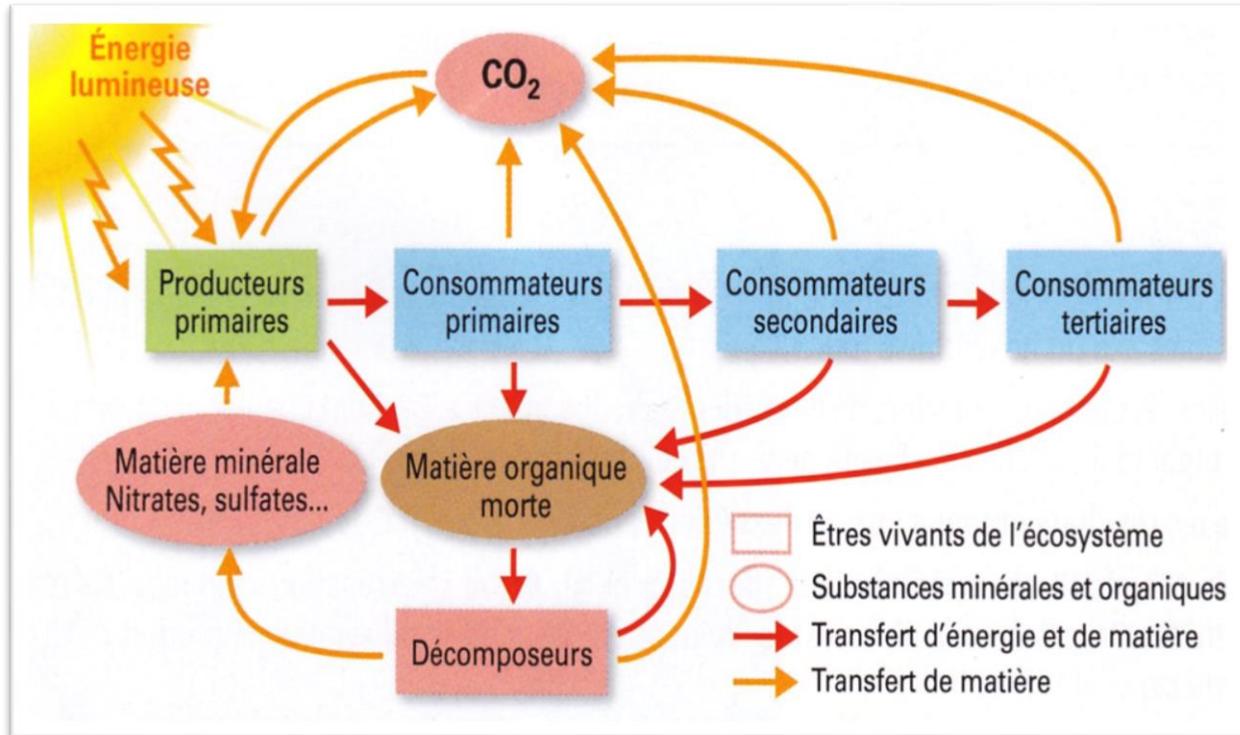


Figure 2 : Schéma de transfert d'énergie.

Le transfert de l'énergie à travers un réseau trophique s'effectue toujours avec d'énormes pertes lorsque l'on passe d'un niveau de production au suivant. Ainsi, dans chaque maillon le flux correspond à la quantité d'énergie assimilée par les êtres qui le composent. Il tient compte non seulement de l'énergie fixée dans la matière organique vivante, mais aussi des pertes cataboliques qui ont permis cette fixation (Fig. 3,4).

❖ Flux d'énergie au niveau des producteurs primaires (P1)

- 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)**. Nous pouvons donc écrire : **PB=PN+R1**
- Une partie de **(PN)** sert à l'augmentation de la biomasse végétale.
- Le reste de **(PN)** est utilisé par le niveau trophique suivant.

❖ Flux d'énergie au niveau des consommateurs herbivores (C1)

- Une partie seulement de la production végétale est ingérée par les herbivores qu'on appellera **Partie Ingérée (PI1)**.
- Tout le reste est mis à la disposition des détritivores et décomposeurs à la mort des végétaux. Comme il n'est pas utilisé par les herbivores nous le nommerons **(NU1)**.
- La quantité d'énergie ingérée (**Partie Ingérée (PI1)**) correspond à ce qui est réellement utilisé ou **Assimilé (A1)** par l'herbivore (Par digestion), plus ce qui est rejeté (**Non Assimilée (NA1)**) sous 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)** : **A1=PS1+R2**

❖ Flux d'énergie au niveau des consommateurs carnivores (C2)

Une partie seulement de l'énergie fixée par les consommateurs primaires sera ensuite utilisée pour le fonctionnement des organismes carnivores ou consommateurs secondaires. Nous l'appellerons **Partie Ingérée 2 (PI2)**.

-Bon nombre de proies mourront de vieillesse et leurs cadavres seront livrés au bon vouloir des décomposeurs (**NU2**).

Une partie seulement de la biomasse consommée sera assimilée, soit (**A2**).

-Tout ce qui sera éliminé par les fèces et les sécrétions diverses correspondra à (**NA2**).

-Comme dans le niveau précédent, une bonne partie de l'énergie fixée par la digestion va servir au métabolisme des carnivores et sera éliminée sous forme de pertes respiratoires (**R3**).

-Si (**PS2**) représente l'énergie gagnée qui s'ajoute à celle de la biomasse existante, le flux au niveau des carnivores est alors le suivant : **A2 = PS2+R3**.

- Le processus se poursuit de la même manière si la chaîne trophique s'allonge à des niveaux supérieurs. Au vu des énormes pertes qui apparaissent à chaque niveau trophique, il est clair que les réseaux alimentaires sont toujours courts.

Ainsi, du soleil aux consommateurs (1^{er}, 2^{ème} ou 3^{ème} 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 (Ecoulement) 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.

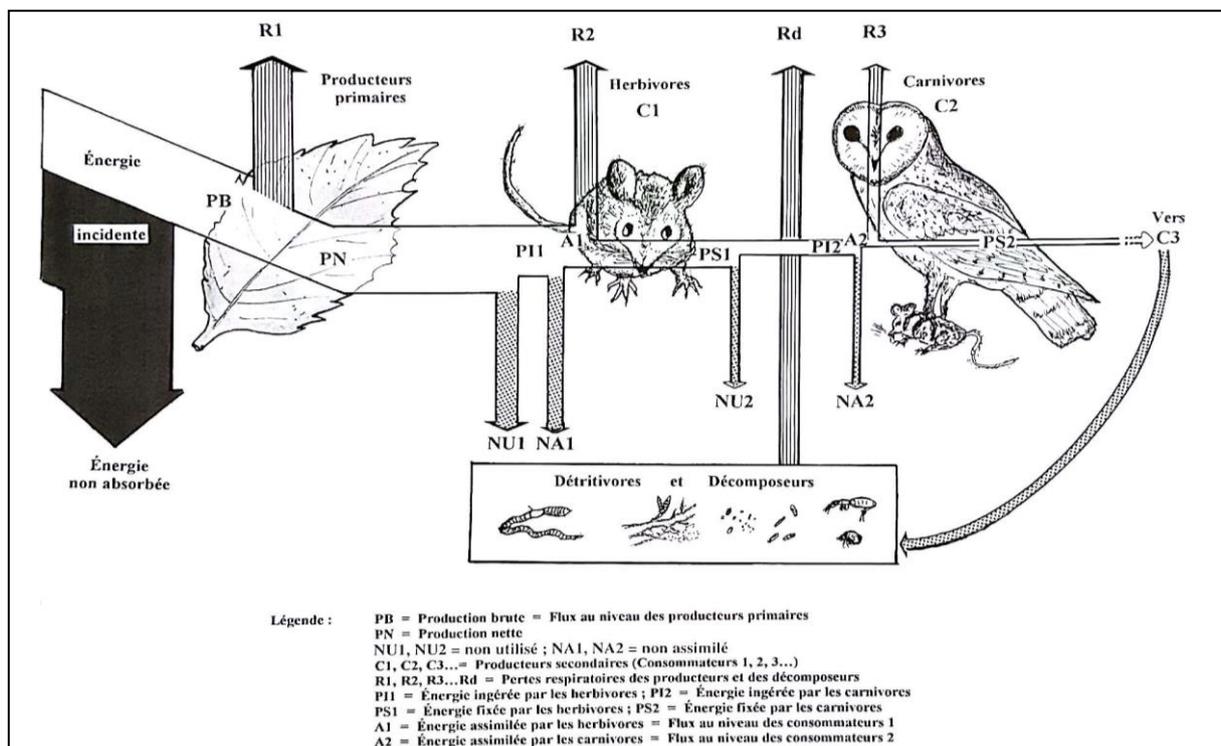


Figure 3 : Flux d'énergie à travers un réseau trophique (Faurie et al., 2012).

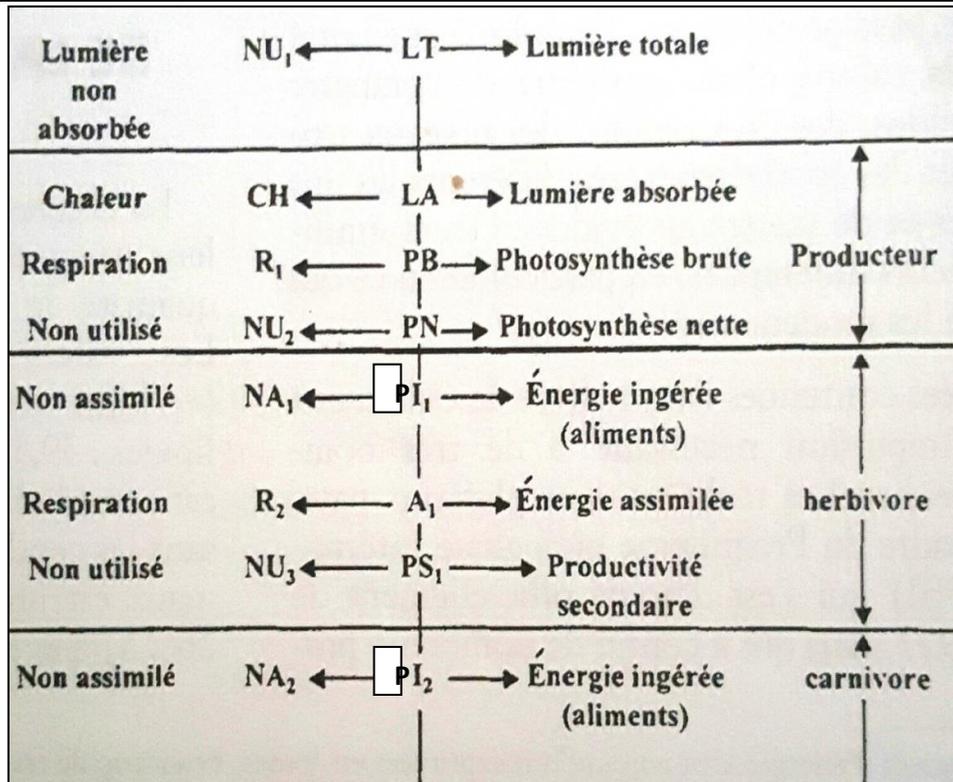


Figure 4 : Schéma de transfert d'énergie.

Plus on s'éloigne du producteur primaire, plus la production de matière vivante est faible (Fig.5).

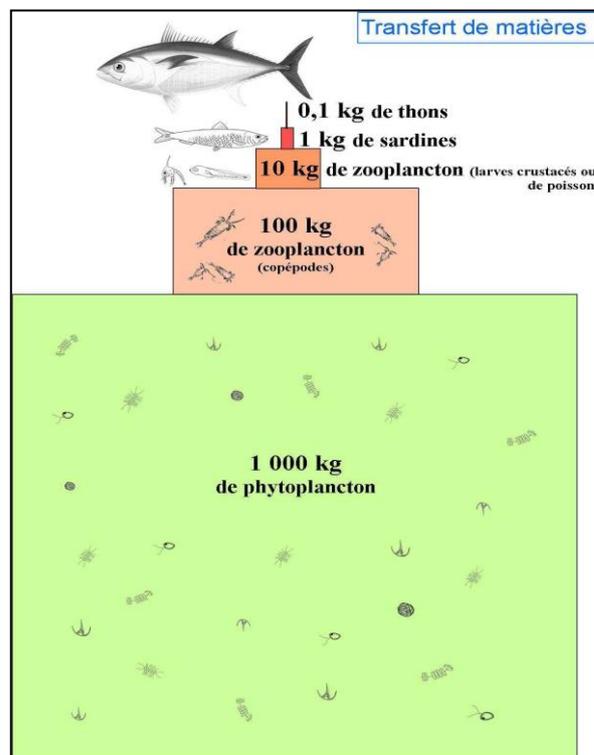


Figure 5 : Transfert de matière au sein d'un écosystème aquatique.

4.3. Rendements bioénergétiques

Le rendement énergétique (Ou efficience) est défini pour un niveau trophique comme le rapport entre le flux énergétique retenu et le flux entrant, c'est-à-dire le rapport « énergie fixée/ énergie reçue ». 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 :

4.3.1. Rendement écologique

C'est le rapport de l'énergie fixée dans la production nette d'un consommateur à la production nette contenue dans l'aliment consommé (niveau trophique consommé) :

$$(PS1/PN) \times 100 \text{ ou } (PS2/PS1) \times 100$$

4.3.2. Rendement d'exploitation

C'est le rapport de l'énergie (Partie) ingérée (I) par un consommateur et celle contenue dans la nourriture dont il dispose (Energie disponible).

$$(PI1/PN) \times 100 \text{ ou } (PI2/PS1) \times 100$$

4.3.3. Rendement de production nette

C'est le rapport de la production nette à l'énergie assimilée. 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.

$$(PS2/A2) \times 100 \text{ ou } (PS1/A1) \times 100$$

4.4. Stabilité des écosystèmes

-La théorie du contrôle des communautés par les ressources (éléments nutritifs) : **Contrôle bottom-up (du bas vers le haut)**.

Ex. : Relation entre la teneur en phosphates des océans, la quantité des planctons et la 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 : **Contrôle top-down**.

Ex. : 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.

4.5. 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. Le passage alternatif des éléments ou molécules entre milieu inorganique et matière vivante est appelé cycle **biogéochimique**.

4.5.1. Cycle de l'eau

Consiste en un échange d'eau entre les différents compartiments de la Terre : hydrosphère, atmosphère et lithosphère :

-Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore.

-L'eau transpirée par les végétaux (évapotranspiration) s'évapore également.

-Cette eau rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau (nuages).

-Lorsque les nuages (poussés par le vent) traversent des régions froides, la vapeur d'eau se condense, et 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 :

- **Ruissellement** : phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols. Il assure l'alimentation des cours d'eau qui restituent en dernier lieu ce volume d'eau à l'océan mondial.
- **Evaporation et évapotranspiration** : Somme de la quantité d'eau transpirée par les plantes et évaporée par les sols, joue un rôle essentiel dans le cycle de l'eau sur les continents. Il s'évapore en effet jusqu'à 50 tonnes d'eau chaque année d'un hectare de forêt feuillue.
- **Percolation (infiltration)** : Constitue le phénomène opposé de l'évaporation. Phénomène de migration de l'eau à travers les sols (Perméables). L'infiltration assure l'alimentation des nappes phréatiques (Fig.6).

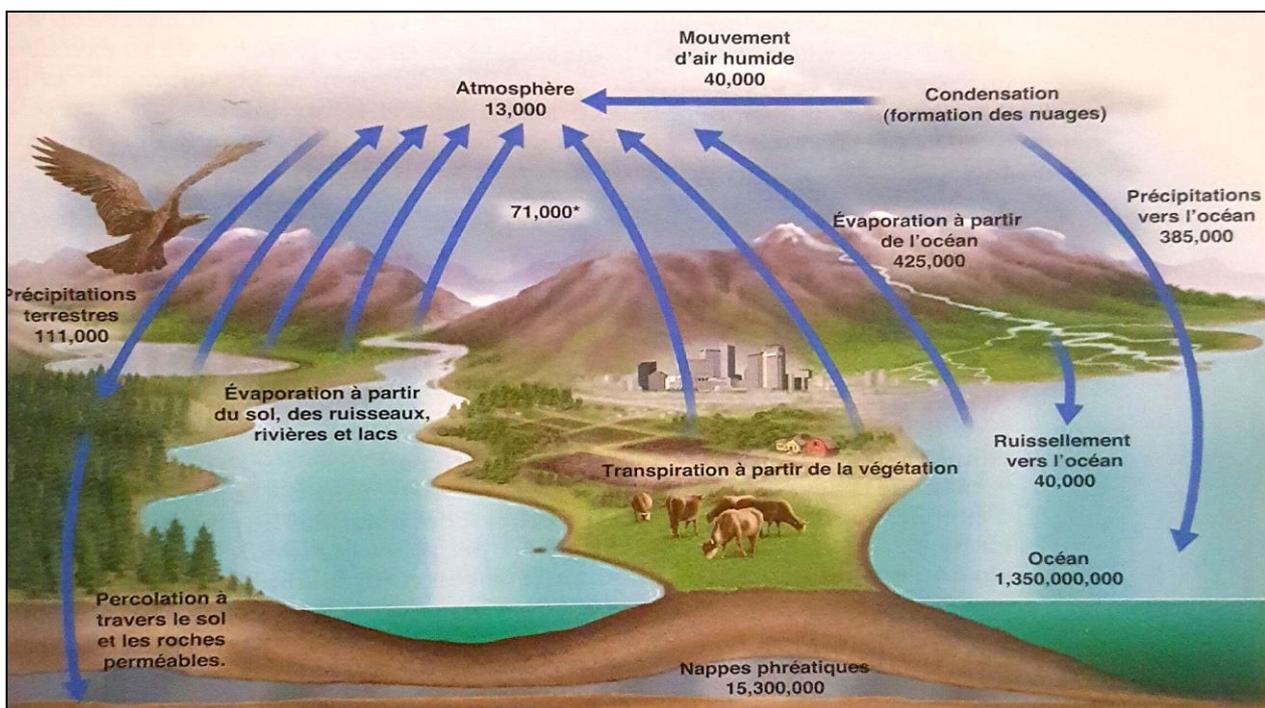


Figure 6 : Cycle de l'eau (Berg et al., 2009).

4.5.2. Cycle du carbone

Le carbone est le plus important des éléments chimiques caractérisant le monde vivant. Il existe trois réservoirs de carbone : L'atmosphère, les océans et la biosphère continentale. Les échanges entre l'atmosphère et la biosphère sont essentiellement liés à l'activité des êtres vivants (Fixation du carbone lors de la photosynthèse, et son transfert à travers les réseaux trophiques). A l'opposé, d'autres échanges biochimiques vont équilibrer ces prélèvements en rejetant dans l'atmosphère un flux identique de carbone : 100 Gt (Gigatonnes) issu de la respiration cellulaire et la fermentation (Décomposition de la matière organique). De même, les éruptions volcaniques, les industries et les véhicules de transports, rejettent du (CO₂) dans l'atmosphère. Quant aux flux du carbone entre l'air et l'eau des océans, ils sont équilibrés et du même ordre. Les échanges physicochimiques aux interfaces des deux éléments font

apparaitre un rejet de 100 Gt de (CO₂) dans l'atmosphère et une absorption identique de 100 Gt de ce gaz par l'eau. La quantité de dioxyde de carbone dissous dans les océans est environ 50 fois plus grande que celle qui est présente dans l'atmosphère. 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 qui s'accumule dans diverses formations sédimentaires (Acides humiques). Il se produit une stagnation et même un blocage du cycle du carbone. C'est le cas de la constitution de grands dépôts de pétrole et d'autres hydrocarbures fossiles (Fig.7).

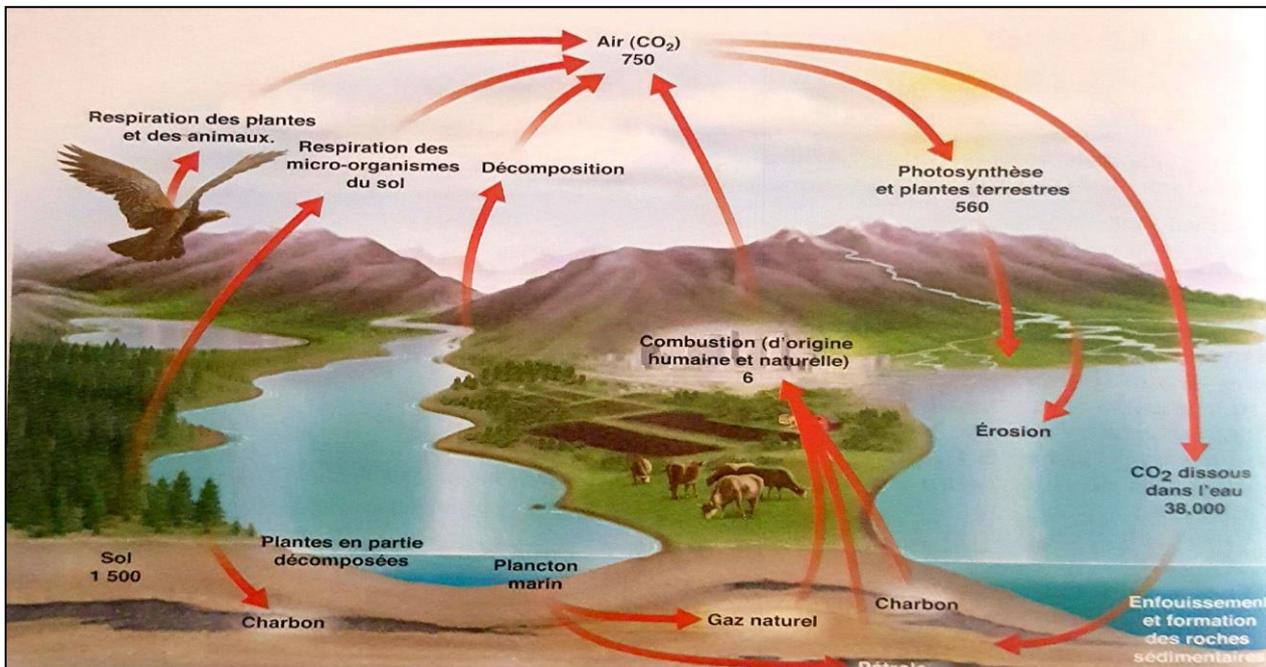


Figure 7 : Cycle du carbone (Berg et al., 2009).

5. Évolution des écosystèmes

Les écosystèmes ne sont pas statiques, ils se transforment au cours du temps sous l'influence de :

- Processus écologiques (successions écologiques), entraînant leur évolution lente vers un autre écosystème
- Perturbations brusques (incendies, chablis, ...).

La série d'étapes qui se succèdent dans un ordre adéquat : différentes communautés végétales et animales, sols, etc... et qui se remplacent sont appelées : **succession écologique**.

- Première communauté à s'installer sur un sol nu : **pionnière**
- Communautés subséquentes : **séries**
- Communauté finale est un état d'équilibre stable atteint par le complexe climat-sol-flore-faune en un lieu donné : **climax**.

