

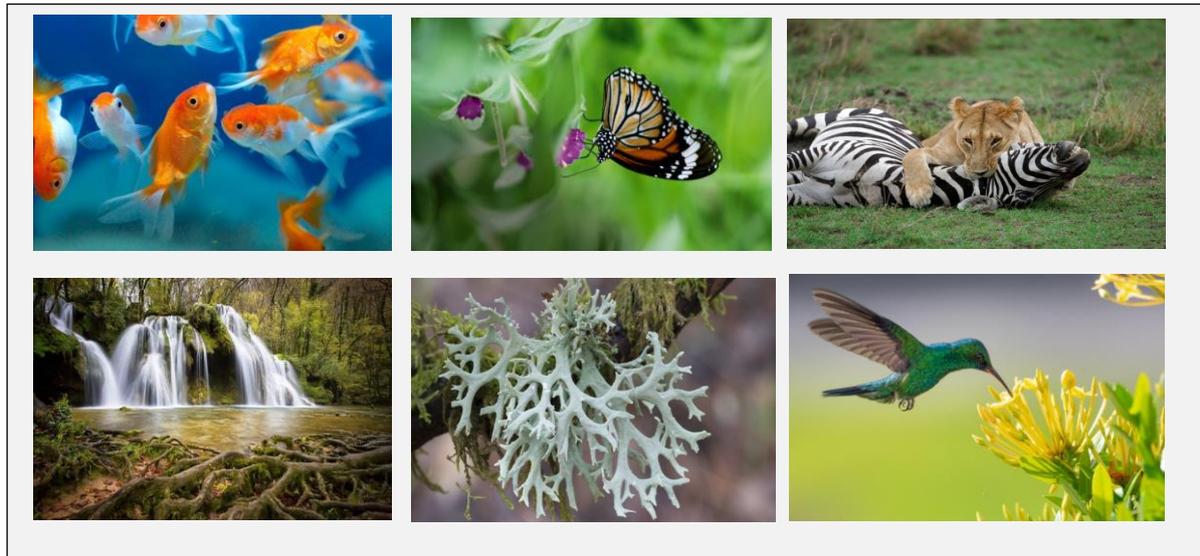
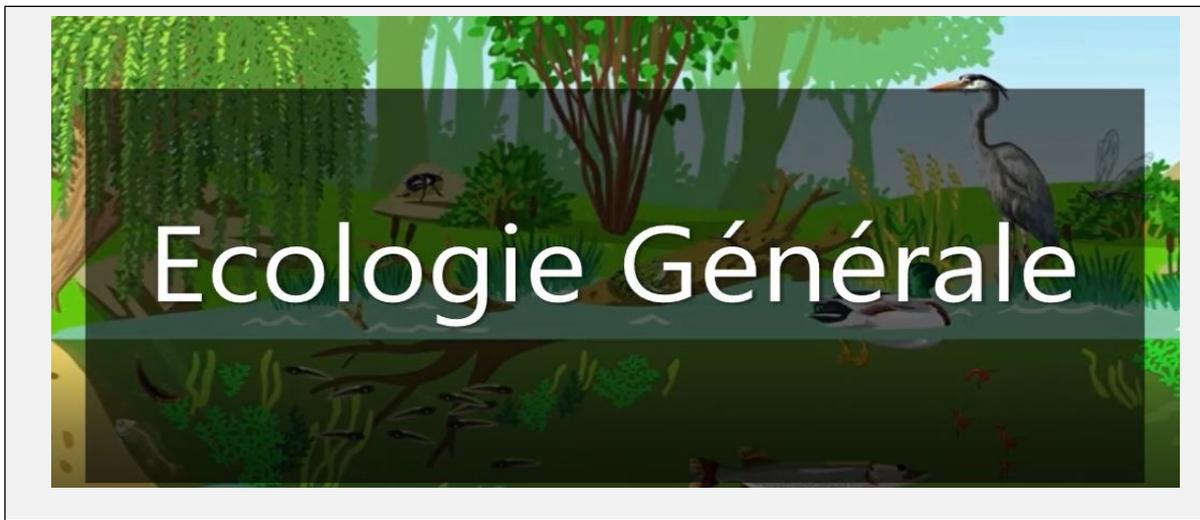
Ecole Supérieure d'Agronomie de Mostaganem

Département des Classes Préparatoires

## POLYCOPIE DE COURS

Matière : Ecologie générale

Enseignement destiné aux étudiants de la deuxième année des  
Classes préparatoires des Sciences de la Nature et de la Vie



Rédigé par :

**Dr. Smail LAMINE**

**Maître de conférences classe B**

**Département des Classes Préparatoires – ESAM**

**Année universitaire 2023-2024**

## Avant-propos

Ce cours d'Ecologie générale est destiné aux étudiants des Classes Préparatoires, 2<sup>e</sup> année Sciences de la Nature et de la Vie de l'Ecole Supérieure d'Agronomie - Mostaganem. Ce document pédagogique ne remplace en aucun cas les ouvrages en la matière disponibles à la bibliothèque. Il s'agit d'une simple synthèse de quelques titres de choix, anciens et récents, couvrant le programme de l'unité d'enseignement en question.

Le cours est présenté en cinq chapitres suffisamment illustrés afin de faciliter leur compréhension. Le premier chapitre met l'accent sur quelques généralités en écologie à savoir, la notion de *système écologique* ainsi que les divers domaines d'intervention. Le deuxième chapitre présente *le milieu et ses interactions avec les différents éléments qui l'entourent*. Le troisième chapitre traite les *facteurs abiotiques à savoir la complexité des éléments climatiques et édaphiques*. Le quatrième est consacré aux *facteurs écologiques biotiques* abordant l'ensemble des interactions existantes entre les différents êtres vivants. Enfin, le cinquième traite *de la structure et fonctionnement de divers types d'écosystèmes* caractérisant notre biosphère.

Dans ce présent document pédagogique, nous allons seulement aborder le quatrième et le cinquième chapitre, à savoir « *Les facteurs biotiques* » et « *Structure et fonctionnement des écosystèmes* ». En ce qui concerne les autres parties de ce cours d'écologie, nous les examinerons ultérieurement dans d'autres chapitres.

J'espère que ce polycopié sera d'un apport précieux pour les étudiants de Biologie pour la compréhension et la maîtrise du module d'Ecologie générale et réussir ainsi avec succès leur 2<sup>e</sup> année Classes Préparatoires SNV. J'espère aussi que ce polycopié fournisse aux enseignants d'Ecologie un outil de travail pratique et efficace. Je serai très reconnaissant aux lecteurs qui me feront part des erreurs possibles et ou de leurs critiques.

**Dr. Smail LAMINE**

## Table des matières

Avant- propos .....	
Préambule.....	
Introduction générale .....	1

### Chapitre IV. Facteurs biotiques

<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
4.1. Coactions homotypiques .....	3
4.1.1. L'effet du groupe.....	3
4.1.2. L'effet de la masse .....	3
4.1.3. La compétition intra-spécifique .....	4
4.2. Coaction hétérotypique .....	4
4.2.1. Le Neutralisme .....	4
4.2.2. La compétition inter-spécifique .....	4
4.2.3. La prédation .....	5
4.2.4. Le parasitisme .....	5
4.2.5. Le commensalisme .....	5
4.2.6. Le mutualisme .....	5
4.2.7. L'amensalisme .....	6
<b>Conclusion .....</b>	<b>6</b>

### Chapitre V. Structure et fonctionnement des écosystèmes

Introduction.....	7
5.1. La biosphère et ses constituants .....	7
5.2. Organisation de la biosphère .....	7
5.3. La chaîne trophique .....	8
5.3.1. Définition .....	8
5.3.1.1. Les producteurs .....	8
5.3.1.2. Les consommateurs .....	8
5.3.1.3. Les consommateurs ou détritivores.....	9
5.3.1.4. Les fixateurs d'azote .....	10

5.3.2. Différents types de chaînes trophiques .....	10
5.3.3. Représentation graphique des chaînes trophiques .....	11
5.3.4. Le réseau trophique .....	11
5.4. Transfert d'énergie et rendement.....	11
5.4.1. Définitions .....	11
5.4.2. Transfert d'énergie.....	12
5.4.3. Les rendements .....	13
5.4.4. Stabilité des écosystèmes .....	14
5.5. Les cycles biogéochimiques.....	14
5.5.1. Le cycle de l'eau .....	15
5.5.2. Le cycle du carbone .....	16
5.5.3. Le cycle du phosphore .....	18
5.5.4. Le cycle de l'azote .....	19
5.6. Impacts des activités anthropiques sur l'équilibre des écosystèmes .....	21
5.6.1. La pollution des écosystèmes aquatiques.....	22
5.6.2. La pollution atmosphérique.....	22
5.6.2.1. Le trou dans la couche d'ozone.....	23
5.6.2.2. Les pluies acides .....	23
5.6.2.3. Effet de serre .....	24
Conclusion .....	25
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>26</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>27</b>

## Liste des figures

<b>Figures</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>Figure 1</b>	Diverses schématisations des pyramides écologiques	<b>11</b>
<b>Figure 2</b>	Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire : le passage d'un niveau alimentaire à un autre entraîne une perte de matière considérable.	<b>13</b>
<b>Figure 3</b>	Cycle planétaire de l'eau (les stocks sont en milliers de Km <sup>3</sup> et les flux en milliers de Km <sup>3</sup> par an)	<b>16</b>
<b>Figure 4</b>	Cycle planétaire du carbone	<b>18</b>
<b>Figure 5</b>	Le cycle de l'azote dans les écosystèmes terrestres	<b>21</b>

## **Préambule**

Le présent polycopié de cours du module d'Ecologie générale, s'adresse essentiellement aux étudiants de deuxième année – Classes Préparatoires (Semestre 4 - Premier cycle – SNV) de l'Ecole Supérieure d'Agronomie - Mostaganem.

### **Unité d'Enseignement Méthodologique**

**Volume horaire** : 67h 30

**Coefficient** : 02

**Crédit** : 04

**Objectifs de l'enseignement** : Description générale de la science, de la structuration et du fonctionnement de différents écosystèmes. Avec cet ensemble de notions théoriques générales enseignées, l'étudiant aura une idée approfondie sur la place du vivant dans les systèmes écologiques ; son action sur l'environnement ainsi que l'action de l'environnement sur son développement et ses différentes adaptations.

**Langue d'enseignement** : Français / Anglais

**Type de cours** : Cours magistral

**Modalités d'évaluation** : 75 % examen EMD et 25 % contrôle continu (examen TD + rapport de sorties pédagogiques).

**Année** : L2

**Semestre** : S4

**Connaissances préalables recommandées** : Biologie, Ecologie et Zoologie

**Contenu du document** : Dans ce présent document pédagogique, nous allons seulement aborder les deux derniers chapitres (quatrième et cinquième), à savoir « *Les facteurs biotiques* » et « *Structure et fonctionnement des écosystèmes* ». En ce qui concerne les autres parties de ce cours d'écologie, nous les examinerons ultérieurement dans d'autres chapitres.

**Partie 4** : Facteurs biotiques.

**Partie 5** : Structure et fonctionnement des écosystèmes

### **Objectifs spécifiques**

A l'issu de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Connaître et cerner la terminologie spécifique du module en question ;

- Démontrer les principaux paramètres mésologiques de divers écosystèmes terrestres et aquatiques ;
- Savoir analyser les processus biodémographiques qui interviennent dans la dynamique des populations et des peuplements côtoyant les différents écosystèmes ;
- Pouvoir contribuer avec les décideurs à bien gérer les ressources naturelles, d'une façon rationnelle et durable et, à mettre en place des pratiques écologiquement correctes (**exemple** : développement durable).

La rédaction de ce document s'est principalement fondée sur des informations collectées et synthétisées depuis diverses références sur l'écologie fondamentale et appliquée.

Pour évaluer ce polycopié de cours, nous avons proposé *Dr. BOUZID Khadidja* de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de Mostaganem et *Dr. GHARABI Dhia* de l'Université Ibn Khaldoun-Tiaret.

---

## Introduction générale

---

## Introduction générale

Dans un domaine de recherche aussi vaste que la biologie, il y a presque toujours une discipline dominante, qui marque une époque donnée, telle que la systématique au temps de Linné, la physiologie dans les années 1830 à 1850, l'évolution et la phylogénie dans les années 1860 et 1870, la génétique au cours des deux premières décennies du vingtième siècle ... la biologie moléculaire depuis les années 1950 et *peut-être aujourd'hui l'écologie*.

L'écologie en tant que science s'est constituée dès l'origine autour du projet un peu fou de considérer ce qui nous entoure comme un « tout ». De fait, le terme écologie a été inventé par Ernst Haeckel en 1866 en faisant référence explicitement à la fois aux relations que les organismes entretiennent les uns avec les autres et aux relations entre les organismes et les caractéristiques physiques et chimiques de leurs habitats (Tirard *et al.*, 2016).

Au cours de la deuxième moitié du XIXe siècle et les premières décennies du XXe, de nombreuses recherches écologiques ont été entreprises, ce qui a permis d'établir un ensemble de notions fondamentales propre à cette discipline. Ainsi, le concept de *biocénose* (ou *biocænose*) fut élaboré par **Möbius dès 1877** et celui d'écosystème par **Tansley en 1935**.

Malgré le fait que la problématique principale de l'écologie ait été envisagée dès les années 1920, au fil des dernières décennies, on a pu constater une évolution certaine des grandes préoccupations de la discipline.

L'écologie couvre un large éventail de domaines d'intervention. En premier lieu, elle a tout d'abord pris en considération les espèces individuelles (écologie du chêne, du renard...) où la majeure partie des recherches menées portait sur l'analyse de l'action des facteurs écologiques sur les êtres vivants (*écologie factorielle* ou *autoécologie*). Par la suite, les recherches se sont concentrées sur des niveaux d'organisation plus avancés, tels que les populations (*démoécologie*) ou les communautés (*Biocénotique* ou *biocoenotique*) (Ramade, 2012).

L'étude de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, notamment la synécologie, et de la biosphère tout entière, a connu un développement fructueux pendant les années 1960 à 1980.

Enfin, au fil des trois dernières décennies, l'introduction de l'outil informatique a conduit à l'émergence d'une écologie numérique dont le but est de modéliser et simuler des systèmes écologiques.

Ainsi, l'écologie est une science mature, qui produit des théories, c'est-à-dire des représentations simplifiées du monde, valables dans quasiment toutes les situations, et qui débouchent sur une capacité à scénariser le futur ou à reconstituer le passé. De plus, elle n'est plus seulement une discipline poursuivant des objectifs cognitifs, elle est devenue une science socialement impliquée. Si elle est construite sur des concepts et des méthodes qui lui sont propres, elle est aussi une science carrefour qui se nourrit de beaucoup d'autres disciplines du vivant et du non vivant.

---

## Chapitre IV. Les facteurs biotiques

---

## Chapitre 4. Les facteurs biotiques

### Introduction

Les facteurs biotiques sont l'ensemble des actions que les organismes vivants exercent directement les uns sur les autres. Ces interactions, appelées coactions, sont de deux types :

- **Homotypiques** ou intraspécifiques, lorsqu'elles se produisent entre individus de la même espèce.
- **Hétérotypiques** ou interspécifiques, lorsqu'elles ont lieu entre individus d'espèces différentes.

### 4.1. Coactions homotypiques

#### 4.1.1. L'effet de groupe

On parle d'effet de groupe lorsque des modifications ont lieu chez des animaux de la même espèce, quand ils sont groupés par deux ou plus de deux. L'effet de groupe est connu chez de nombreuses espèces d'insectes ou de vertébrés, qui ne peuvent se reproduire normalement et survivre que lorsqu'elles sont représentées par des populations assez nombreuses (Tirard *et al.*, 2016).

**Exemple :** On estime qu'un troupeau d'éléphants d'Afrique doit renfermer au moins 25 individus pour pouvoir survivre : la lutte contre les ennemis et la recherche de la nourriture sont facilitées par la vie en commun.

#### 4.1.2. L'effet de masse

A l'inverse de l'effet de groupe, l'effet de masse se produit, quand le milieu, souvent surpeuplé, provoque une compétition sévère aux conséquences néfastes pour les individus (Ramade, 2009).

Les effets néfastes de ces compétitions ont des conséquences sur le métabolisme et la physiologie des individus qui se traduisent par des perturbations, comme la baisse du taux de fécondité, la diminution de la natalité, l'augmentation de la mortalité. Chez certains organismes, le surpeuplement entraîne des phénomènes appelés phénomènes d'**auto élimination**.

### 4.1.3. La compétition intraspécifique

Ce type de compétition peut intervenir pour de très faibles densités de population, et se manifeste de façons très diverses :

- Apparaît dans les comportements territoriaux, c'est-à-dire lorsque l'animal défend une certaine surface contre les incursions des autres individus.
- Le maintien d'une hiérarchie sociale avec des individus dominants et des individus dominés.
- La compétition alimentaire entre individus de la même espèce est intense quand la densité de la population devient élevée. Sa conséquence la plus fréquente est la baisse du taux de croissance des populations.

Chez les végétaux, la compétition intraspécifique, liée aux fortes densités se fait surtout pour l'eau et la lumière. Elle a pour conséquence une diminution du nombre de graines formées et/ou une mortalité importante qui réduit fortement les effectifs.

### 4.2. Coactions hétérotypiques

La cohabitation de deux espèces peut avoir sur chacune d'entre elles une influence nulle, favorable ou défavorable.

#### 4.2.1. Le neutralisme

On parle de neutralisme lorsque les deux espèces sont indépendantes : elles cohabitent sans avoir aucune influence l'une sur l'autre.

#### 4.2.2. La compétition interspécifique

La compétition interspécifique peut être définie comme étant la recherche active, par les membres de deux ou plusieurs espèces, d'une même ressource du milieu (nourriture, abri, lieu de ponte, etc...) (Chapin *et al.*, 2012).

Dans la compétition interspécifique, chaque espèce agit défavorablement sur l'autre. La compétition est d'autant plus grande entre deux espèces qu'elles sont plus voisines.

Cependant, deux espèces ayant exactement les mêmes besoins ne peuvent cohabiter, l'une d'elle étant forcément éliminée au bout d'un certain temps. C'est le principe de GAUSE ou principe d'exclusion compétitive.

### 4.2.3. La prédation

Selon Tirard *et al.* (2012), le prédateur est tout organisme libre qui se nourrit aux dépens d'un autre. Il tue sa proie pour la manger. Les prédateurs peuvent être polyphages (s'attaquant à un grand nombre d'espèces), oligophages (se nourrissant de quelques espèces), ou monophages (ne subsistant qu'au dépend d'une seule espèce).

### 4.2.4. Le parasitisme

Le parasite est un organisme qui ne mène pas une vie libre : il est au moins, à un stade de son développement, lié à la surface (ectoparasite) ou à l'intérieur (endoparasite) de son hôte (Campbell & Reece, 2007).

On peut considérer le parasitisme comme un cas particulier de la prédation. Cependant, le parasite n'est pas vraiment un prédateur car il n'a pas pour but de tuer l'hôte (Tirard *et al.*, 2016). Le parasite doit s'adapter pour rencontrer l'hôte et survivre au détriment de ce dernier. L'hôte doit s'adapter pour ne pas rencontrer le parasite et s'en débarrasser si la rencontre a eu lieu. Tout comme les prédateurs, les parasites peuvent être polyphages, oligophages ou monophages.

### 4.2.5. Le commensalisme

Interaction entre une espèce, dite commensale, qui en tire profit de l'association et une espèce hôte qui n'en tire ni avantage ni nuisance. Les deux espèces exercent l'une sur l'autre des coactions de tolérance réciproque.

**Exemple :** Les animaux qui s'installent et qui sont tolérés dans les gîtes des autres espèces.

### 4.2.6. Le mutualisme

C'est une interaction dans laquelle les deux partenaires trouvent un avantage, celui-ci pouvant être la protection contre les ennemis, la dispersion, la pollinisation, l'apport de nutriments... (Frontier *et al.*, 2008).

**Exemple :** Les graines des arbres doivent être dispersées au loin pour survivre et germer. Cette dispersion est l'œuvre d'oiseaux, de singes... qui en tirent profit de l'arbre (alimentation, abri...).

L'association obligatoire et indispensable entre deux espèces est une forme de mutualisme à laquelle on réserve le nom de symbiose. Dans cette association, chaque espèce ne peut survivre, croître et se développer qu'en présence de l'autre.

**Exemple :** Les lichens sont formés par l'association d'une algue et d'un champignon.

#### **4.2.7. L'amensalisme**

C'est une interaction dans laquelle une espèce est éliminée par une autre espèce qui secrète une substance toxique. Dans les interactions entre végétaux, l'amensalisme est souvent appelé **allélopathie**.

**Exemple :** Le Noyer rejette par ses racines, une substance volatile toxique, qui explique la pauvreté de la végétation sous cet arbre.

#### **Conclusion**

De même qu'il existe au sein des populations tous types d'interactions (compétition, coopération, prédation...) entre les individus, les différentes espèces qui se côtoient dans une même communauté peuvent avoir entre elles des interactions susceptibles de modifier leur dynamique ou d'orienter leur évolution. Toutes ces relations intra et interspécifiques, changeantes dans l'espace et dans le temps, forment des réseaux complexes au sein des écosystèmes.

---

## **Chapitre IV. Structure et fonctionnement des écosystèmes**

---

## Chapitre 5. Structure et fonctionnement des écosystèmes

### Introduction

L'étude des écosystèmes est un des objectifs majeurs de l'écologie. C'est par la compréhension des mécanismes fondamentaux de leur fonctionnement et de leur équilibre que des bases rationnelles pour la conservation et la gestion du patrimoine naturel peuvent être proposés. Aussi, c'est par l'intégration des connaissances acquises sur les écosystèmes et leurs interrelations que l'organisation et l'évolution de la biosphère pourront être appréhendées, reconstituées et contrôlées.

### 5.1. 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** (Ramade, 2009 & Triplet, 2015).

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.

### 5.2. 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 (Faurie *et al.*, 2012).

### 5.3. La chaîne trophique

#### 5.3.1. 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 répartis en trois groupes : **les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs** (Dachin *et al.*, 2005).

##### 5.3.1.1. Les producteurs

Ce sont les végétaux autotrophes photosynthétiques (plantes vertes, phytoplancton : cyanobactéries ou algues bleus : organisme procaryote). D'après Greulich (2016), ce niveau trophique, constituent la base de la chaîne alimentaire 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.

##### 5.3.1.2. 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. Ils se considèrent comme étant des producteurs secondaires. Les consommateurs occupent un niveau trophique différent en fonction de leur régime alimentaire (Sottiaux, 2008 & Greulich, 2016). 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 C<sub>2</sub> et les C<sub>3</sub> 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, ...

### 5.3.1.3. 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 (Sottiaux, 2008 & Faurie *et al.*, 2012).

- **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 détritus 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.

#### *5.3.1.4. Les fixateurs d'azote*

Ils ont une position particulière dans la chaîne trophique. Leur nutrition azotée se fait à partir de l'azote moléculaire. Quant au carbone et à l'énergie nécessaire à leur nutrition, ils utilisent des matières organiques plus élaborées qu'ils prennent à certains détritiques ou à des racines ou feuilles des autotrophes. Ils sont donc autotrophes pour ce qui est de l'azote et hétérotrophes du point de vue carbone (Ramade, 2008). C'est le cas des Azotobacter en fixation non symbiotique et les Rhizobiums en fixation symbiotique.

#### *5.3.2. Différents types de chaînes trophiques*

Il existe trois principaux types de chaînes trophiques linéaires (Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Sottiaux, 2008 & Ramade, 2009) :

- **Chaîne de prédateurs**

Dans cette chaîne, le nombre d'individus diminue d'un niveau trophique à l'autre, mais leurs tailles augmentent (règle d'Elton énoncée en 1921).

**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 (la règle d'Elton n'est pas vérifiée dans ce cas).

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

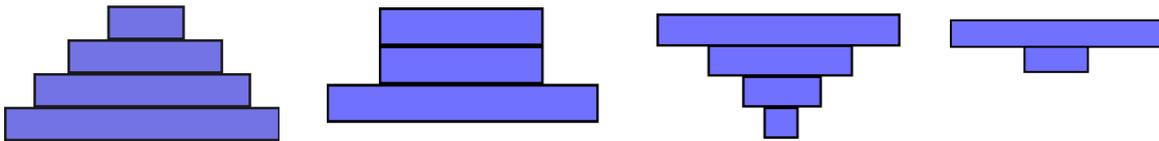
- **Chaîne de détritivores**

Va de la matière organique morte vers des organismes de plus en plus petits (microscopiques) et nombreux (la règle d'Elton n'est pas vérifiée dans ce cas).

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

### 5.3.3. 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 (Figure, 1).



**Figure 1.** Diverses schématisations des pyramides écologiques.

### 5.3.4. 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).

## 5.4. Transfert d'énergie et rendements

### 5.4.1. 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.

### 5.4.2. 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.

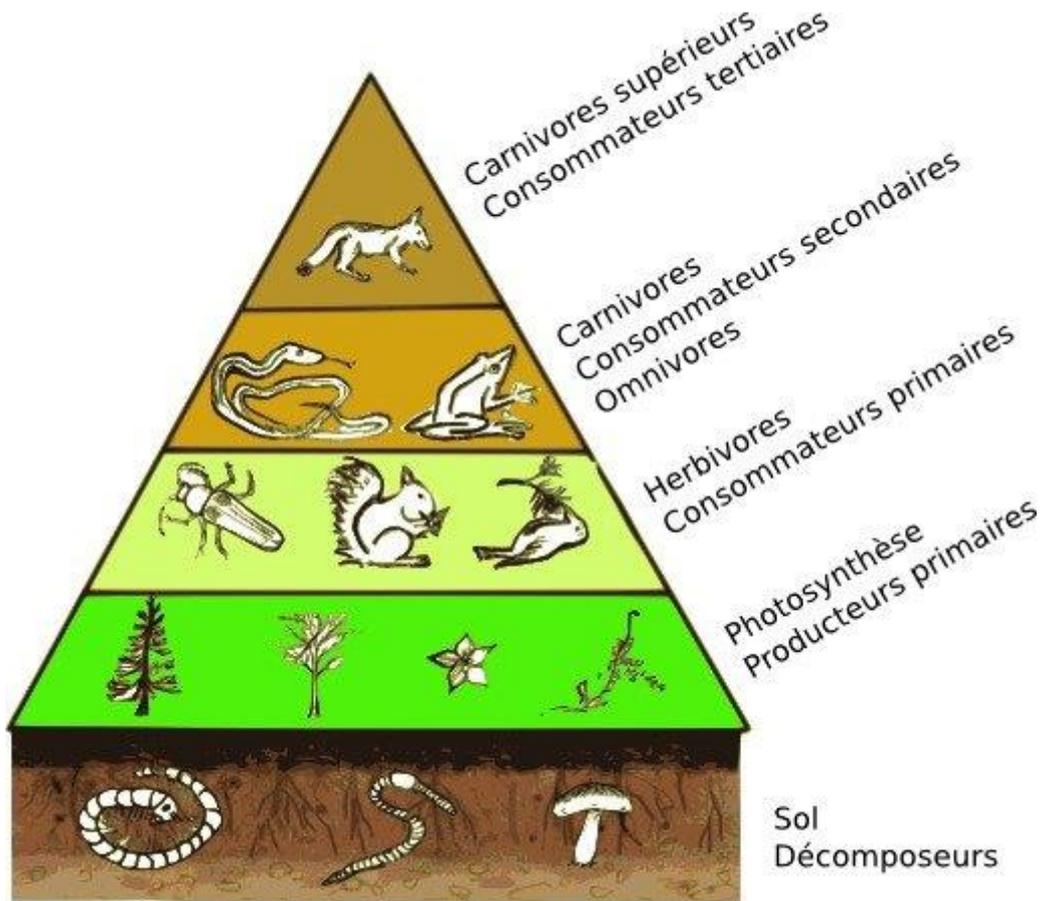
- Une partie de la lumière solaire absorbée par le végétal est dissipée sous forme de chaleur.
- Le reste est utilisé pour la synthèse de substances organiques (photosynthèse) et correspond à la **Productivité primaire Brute (PB)** (Barbault, 2008 & Triplet, 2018).
- Une partie de (**PB**) est perdue 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 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 (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 (Figure, 2).



**Figure 2.** Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire :

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

### 5.4.3. 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 (Faurie *et al.*, 2012). 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) :  $(PS_1/PN \times 100)$  ou  $(PS_2/PS_1 \times 100)$ .
- **Rendement d'exploitation :** C'est le rapport de l'énergie ingérée (I) à l'énergie disponible. C'est la production nette de la proie :  $(I_1/PN \times 100)$  ou  $(I_2/PS_1 \times 100)$ .

- **Rendement de production nette** : Qui est le rapport de la production nette à l'énergie assimilée :  
(**PS2/A2x100**) ou (**PS1/A1x100**). 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.

#### 5.4.4. Stabilité des écosystèmes

Selon Triplet (2018), 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.

#### 5.5. 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) (Ramade 2008 ; Raven *et al.*, 2009 & Triplet, 2018).

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.).

### 5.5.1. 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 (Figure, 3).

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 (Beaux, 2004 ; Musy, 2005 ; De Parcevaux & Huber, 2007 & Unesco, 2017). 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.



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. (Campbell & Reece, 2007 ; Barbault, 2008 ; Ramade, 2008 ; Raven *et al.*, 2009 & Unesco, 2017).

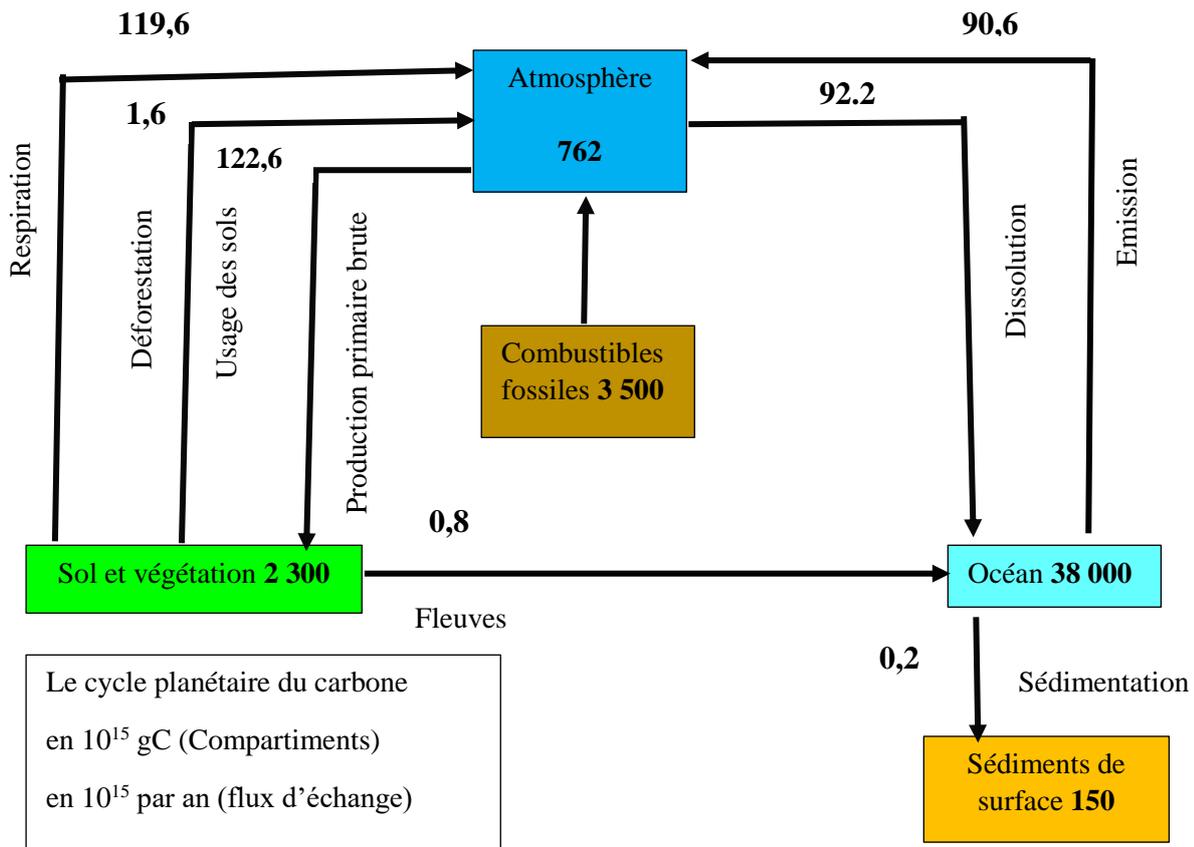


Figure 4. Cycle planétaire du carbone.

5.5.3. 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 (Campbell & Reece, 2007 ; Ramade, 2008 & Triplet, 2018).

#### **5.5.4. 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 (Figure, 5).

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'ammoniacque  $\text{NH}_4^+$  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 (Ramade, 2009 ; Faurie *et al.*, 2012 ; Tirard *et al.*, 2016 & Triplet, 2018).

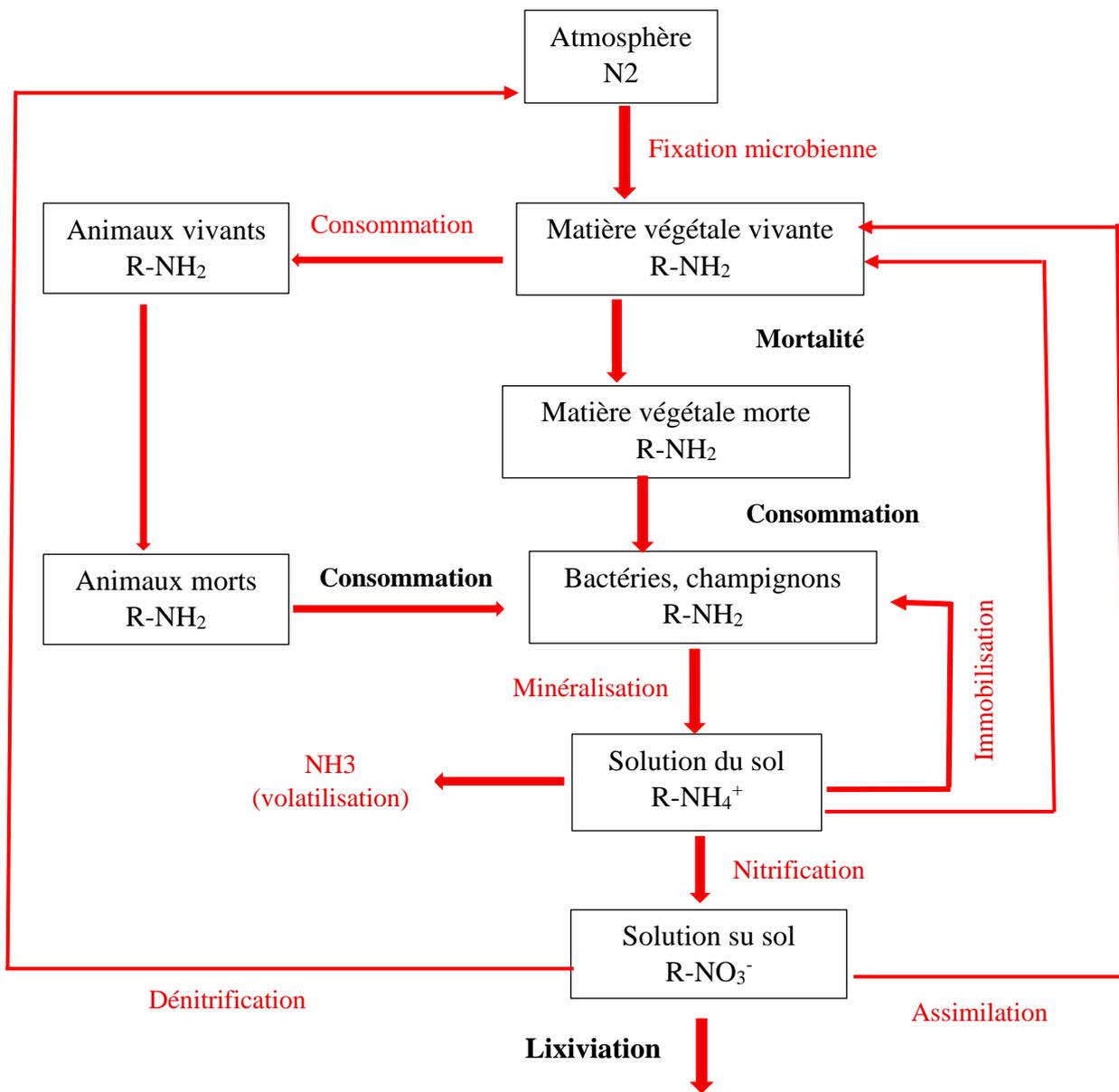


Figure 5. Le cycle de l'azote dans les écosystèmes terrestres.

5.6. Impacts des activités anthropiques sur l'équilibre des écosystèmes

La manifestation de l'homme à l'échelle des milieux naturels a, des répercussions souvent négatives sur divers types d'écosystème. Ces derniers peuvent être sujet à des déséquilibres écologiques plus ou moins graves selon l'ampleur de l'activité anthropogénique. À l'heure actuelle, la grande majorité des écosystèmes, et donc toute la biosphère, sont soumis à une pression anthropogénique sans précédent. Les avancées technologiques impressionnantes ont

eu de nombreux avantages pour la vie humaine, mais en contrepartie, elles ont eu des répercussions défavorables sur la nature, telles que : la pollution, la diminution de la biodiversité, le dysfonctionnement et la disparition de nombreux écosystèmes terrestres et aquatiques.

### ***5.6.1. La pollution des écosystèmes aquatiques***

Il est indéniable que la pollution des eaux est l'un des aspects les plus préoccupants de la crise mondiale de l'environnement. Cette pollution est le fait d'émissaires urbains et industriels, mais aussi de sources de contaminations diffuses dispersées sur de vastes territoires. Depuis longtemps, la crise de l'eau est en cours et ne cesse de s'aggraver, affectant à la fois les pays industrialisés et ceux du tiers monde.

La responsabilité de cette pollution est attribuée aux émissions urbaines et industrielles, tout comme aux sources de contamination diffuses dispersées sur de vastes territoires (Ramade, 2005 ; Khaled-Khodja, 2016 & Unesco, 2017).

### ***5.6.2. La pollution atmosphérique***

Les gaz, qu'ils soient liquides ou solides, qui se trouvent dans l'atmosphère sont présents à des taux assez élevés pour causer des dommages aux humains et à d'autres organismes ou matières. Malgré le fait que les polluants atmosphériques soient parfois produits par des sources naturelles, telles que (la foudre qui déclenche un incendie de forêt ou l'éruption d'un volcan), la pollution atmosphérique est principalement causée par les activités humaines qui dégagent toutes sortes de substances dans l'atmosphère.

Il est évident que les dégradations de l'environnement par l'homme sont principalement causées par le rejet intempestif de substances diverses dans l'atmosphère. Même si cela remonte à l'époque de la civilisation industrielle, la pollution de l'air a connu une augmentation significative dans tous les pays développés.

En raison de l'augmentation de la production industrielle et de la circulation des véhicules à moteur, l'air est de plus en plus pollué par des fumées, des gaz toxiques et d'autres agents polluants.

Il serait vain de prétendre attribuer cette hausse de la pollution de l'air à un type spécifique d'activité industrielle, à une technologie moderne déterminée. En réalité, cela découle de

plusieurs facteurs qui définissent la civilisation moderne : accroissement de la production d'énergie, de l'industrie métallurgique, de la circulation routière et aérienne, des tonnages d'ordures incinérées lesquels sont tous impliqués de manière significative dans ce phénomène. (Delmas *et al.*, 2007 & Raven *et al.*, 2009).

#### **5.6.2.1. Le trou dans la couche d'ozone**

L'ozone (O<sub>3</sub>) est un composé d'oxygène qui est pollué par les activités humaines dans la troposphère, mais aussi un élément naturel indispensable dans la stratosphère qui entoure notre planète, à des altitudes comprises entre 17 et 50 km (Raven *et al.*, 2009).

Même si l'ozone est présent partout dans l'air, c'est dans la stratosphère qu'il se trouve en concentrations élevées, formant la "couche" ou écran d'ozone. Ce dernier stoppe la majorité du rayonnement ultra-violet, notamment la bande de plus faible longueur d'onde (la plus nocive). Les continents émergés par les êtres vivants ont été colonisés grâce à la fonction protectrice de cet écran (Bovet *et al.*, 2008 & Ramade, 2012).

Ensuite, d'autres réactions chimiques libèrent le chlore, qui se métamorphose ensuite en d'autres molécules d'ozone dans un cycle catalytique sans fin (Campbell & Reece, 2007). De plus, des conséquences graves pour la vie sur terre pourraient résulter de la destruction de la couche d'ozone : augmentation des cataractes, le cancer de la peau et un affaiblissement du système immunitaire. Les écosystèmes pourraient être perturbés si les taux de rayons UV augmentent.

#### **5.6.2.2. Les pluies acides**

La pollution atmosphérique a un impact dramatique à l'échelle continentale, notamment en raison de l'expansion des pluies acides qui affectent actuellement presque tout l'hémisphère boréal. Leurs conséquences sont énormes sur les écosystèmes continentaux, aquatiques et forestiers (Beaux, 2004). Les pluies acides se produisent lorsque la teneur en eau des précipitations est anormalement élevée par rapport à celle provenant d'environnements non pollués. L'acidité de ces pluies provient essentiellement de deux polluants atmosphériques, 70% le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), produit d'une façon abondante par les centrales thermiques de charbon, les industries métallurgiques et de pâte à papier, et 30 % des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) provenant essentiellement des combustions et des gaz d'échappement.

Ces gaz se mélangent à l'humidité de l'air dans l'atmosphère pour produire, respectivement, de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique. Il est également possible de produire des acides organiques lors des réactions d'oxydation d'hydrocarbures.

Ensuite, les pluies, la neige ou la condensation (rosée) déposent ces acides sur la terre, dont le pH est inférieur au pH naturel de 5,6 (Beaux, 2004 ; Campbell & Reece, 2007 & Delmas *et al.*, 2007). Les pluies acides provoquent des dommages écologiques considérables. Elles sont à l'origine de l'acidification de plusieurs lacs et rivières. L'acidification des plans d'eau entraîne une importante diminution de la vie aquatique, une réduction de la complexité des réseaux trophiques et peut, à long terme, causer la mort écologique du lac.

Un autre aspect préoccupant des pluies acides est la détérioration importante des forêts boréales et tempérées. Les conifères sont les premiers à être touchés par les lésions, leurs aiguilles, qui restent vertes toute l'année, jaunissent et chutent. L'arbre, qu'il soit conifère ou feuillu, perd progressivement ses feuilles, se dessèche et meurt sur ses pieds (Beaux, 2004 & Raven *et al.*, 2009). Les sols acidifiés entraîneront la perte d'éléments nutritifs (Ca, Mg, K, etc.) et le ralentissement de l'activité des décomposeurs (microfaune et microflore), ce qui entraînera une pénurie minérale.

La croissance des végétaux sera ainsi inhibée. Par ailleurs, un environnement acide favorise la concentration et la dissolution de métaux lourds tels que l'aluminium, ce qui peut provoquer une intoxication des racines (Beaux, 2004 ; Delmas *et al.*, 2007 & Raven *et al.*, 2009).

### 5.6.2.3. Effet de serre

L'effet de serre est un mécanisme naturel qui provoque le réchauffement de l'atmosphère, grâce à l'absorption des rayons du soleil par les gaz atmosphériques. Dans la stratosphère, l'ozone est responsable de l'absorption d'une fraction du rayonnement ultraviolet, alors qu'une partie de la lumière visible (incidente) est réfléchiée vers l'espace au niveau de l'atmosphère ou de la surface terrestre. L'énergie perdue ou renvoyée est dite albédo.

Environ la moitié de l'énergie solaire absorbée par la surface de la terre est absorbée. Par rayonnement, la terre doit perdre de l'énergie pour maintenir l'équilibre thermique. Ainsi, elle restitue l'énergie reçue, mais dans une gamme de longueurs d'onde (l'infrarouge thermique invisible) différente de celle de la lumière solaire qui est principalement présente dans le

domaine visible.

La lumière solaire est peu absorbée par l'atmosphère, alors que la plus grande partie du rayonnement infrarouge réémis par la terre est absorbée par l'atmosphère. Ce piégeage du rayonnement thermique par l'atmosphère est l'effet de serre naturel de la terre. C'est grâce à lui que la température moyenne à la surface de la terre est de 15°C ; sans cela, elle serait de -18°C (Beaux, 2004 ; Chemery, 2004 ; Vallee, 2004 ; Delmas *et al.*, 2007 & Ramade, 2012).

### **Conclusion**

Les organismes vivants consomment des ressources dont la nature chimique est souvent très différente de leur propre nature. En particulier, les teneurs relatives en éléments, l'eau, carbone, azote, oxygène, phosphore, etc. varient tout au long de la chaîne trophique, y compris au niveau des décomposeurs de la matière morte. Ces variations de composition élémentaires entre organismes et entre niveaux trophiques créent des contraintes qui appellent des réponses évolutives physiologiques, comportementales et démographiques.

---

## Conclusion générale

---

*Conclusion générale*

L'une des tâches historiques de l'écologie est l'analyse des causes, des conditions et des mécanismes par lesquels le monde vivant se diversifie, ainsi que les interactions de ce changement avec le milieu physico-chimique.

Ce domaine de recherche, est aujourd'hui en plein essor en raison des interrogations formulées suite à la disparition rapide d'un grand nombre d'espèces. Le questionnement est vaste : la Biodiversité est-elle importante ? Joue-t-elle un rôle dans la régulation de notre environnement et dans la capacité de ce dernier à produire des ressources renouvelables ? Existe-t-il un seuil de biodiversité en dessous duquel il ne faut pas descendre sous peine de dégradation de l'écosystème ?

La question de la biodiversité des communautés, diversité des espèces et de leurs connexions, diversité des réseaux trophiques, est primordiale à l'heure actuelle pour des raisons sociologiques et éthiques mais également en raison d'un lien direct entre la biodiversité et certains aspects fonctionnels des écosystèmes, productivité et stabilité.

Déterminer les zones de diversité maximale, comprendre les mécanismes déterminant les niveaux de diversité, peut permettre de prédire et gérer la biodiversité future.

---

## Références bibliographiques

---

*Références bibliographiques*

- **Barbault R. 2008.** Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la Biosphère. 6<sup>ème</sup> Edition, DUNOD.
- **Beaux J.-F. 2004.** L'environnement. Nathan Edition, France. 160 p.
- **Bovet P., Rekacewicz P., Sinäi A. & Vidal D. 2008.** L'Atlas de l'environnement. Édition Armond Colin, Paris. 103 p.
- **Campbell N. & Reece J. 2007.** Biologie. 7<sup>ème</sup> Édition Pearson Éducation France, 1334 p.
- **Chapin III F.S., Matson P. & Vitousek P.M. 2012.** Principles of terrestrial ecosystem ecology. 2<sup>nd</sup> edition. *Springer*.
- **Chemery L. 2004.** Petit atlas des climats. Petite Encyclopédie, Larousse. 128 p.
- **Dachin E., Giraldeau L.A. & Cezilly F. 2005.** Ecologie comportementale. Cours et question de réflexion. Dunod.
- **De Parcevaux S. & Hubert L. 2007.** Bioclimatologie : Concepts et applications. Collection Synthèses (INRA), Editions Quae, 324 p.
- **Delmas R., Chauzy S., Verstraete J-M. & Ferre H. 2007.** Atmosphère, Océan et Climat. Éd. Belin, Paris. 287 p.
- **Faurie C., Ferra C., Medori P., Devaux J. & Hemptinne J.L. 2012.** : Ecologie : Approche scientifique et pratique. 5<sup>ème</sup> Edition. Edition Lavoisier. 407p.
- **Fischesser B. & Dupuis-Tate M-F. 2007.** Le guide illustré de l'écologie. QUAE Édition, France. 350 p.
- **Frontier S., Pichod-Viale D., Lepretre A., Davoult D. & Luczak C. 2008.** Écosystèmes, Structure, Fonctionnement, Évolution. 4<sup>ème</sup> Éd. Dunod, Paris. 576 p.
- **Greulich S. 2016.** Écologie - mise à niveau. École polytechnique de l'Université de Tours, Département d'Aménagement et Environnement. UMR CNRS (IPAPE). 102p.
- **Khaled-Khodja S. 2016.** Évaluation de la qualité physico-chimique des rejets anthropiques (urbains, agricoles et industriels) au Golfe d'Annaba. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba. 186 p.

- **Musy A. 2005.** Cours hydrologie générale, chapitre 1 résumé. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, France. 4 p.
- **Ramade F. 2005.** Éléments d'Écologie, Écologie appliquée. 6ème Édition, Dunod, Paris. 864 p.
- **Ramade F. 2008.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Dunod Édition, Paris, 726 p.
- **Ramade F. 2009.** Éléments d'Écologie, Écologie fondamentale. 4<sup>ème</sup> Édition, Dunod, Paris. 689 p.
- **Ramade F. 2012.** Éléments d'Écologie, Écologie appliquée : action de l'homme sur la biosphère. 7<sup>ème</sup> Édition, Paris. 791 p.
- **Raven P.H., Berg L. R. & Hassenzuhl D. M. 2009.** Environnement. Édition De Bœck Université, Bruxelles. 687 p.
- **Sottiaux B. 2008.** Cours d'écologie générale et appliquée, notes de cours. Cours industriels et commerciaux. Couillet, Belgique. 31 p.
- **Tirard C., Abbadie L., Laloi D. & Koubbi PH. 2016.** Ecologie, Licence, Master & CAPES. DUNOD, 11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff. [www.dunod.com](http://www.dunod.com).
- **Triplet P. 2018.** Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. 4<sup>ème</sup> Édition, Baie de Somme, Grand Littoral Picard. France, 1096 p.
- **Unesco, 2017.** Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture. Kit pédagogique sur la biodiversité. Vol. 1. UNESCO, Paris. 192 p.
- **Vallee J-L. 2004.** Techni guide de la Météo. Nathan Édition, Paris. 221 p.