

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE & POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR & DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DJILLALI LIABES  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

# **POLYCOPIE**

Présentée par : Dr. MHAMDIA Chafik

Intitulé

**Cours de l'Écologie générale**

Année universitaire : 2022 -2023

---

**Polycopié destiné aux étudiants de deuxième année en sciences naturelles et de la vie (L2, S4) toutes  
filières confondues**

The picture can't be displayed.

The image  
and its  
relationship  
to other  
images  
was  
not found in  
the file.

## **Avant-propos**

Ce cours d'écologie générale vise à fournir aux étudiants de deuxième année en sciences naturelles et de la vie (L2, S4) toutes filières confondues, une connaissance de base du fonctionnement des écosystèmes et des conditions de vie des organismes, y compris les humains.

L' auteurs propose une synthèse complète de l'écologie des écosystèmes naturels, mettant en lumière les concepts fondamentaux de la discipline. De plus, l'impact des activités humaines sur la biosphère est discuté. En plus des concepts de base de l'écologie, les étudiants doivent être conscients de l'importance de l'environnement et des lois qui le régissent. Ils doivent comprendre qu'ils font partie intégrante de ce milieu et des différents écosystèmes qui le composent. Toute action inconsidérée sur la biosphère mettrait en péril leur propre survie et celle des générations futures.

Ce support pédagogique de cours d'écologie générale est destiné à donner un ensemble de connaissances de base sur le fonctionnement des écosystèmes et des conditions d'existence des êtres vivants dont l'homme.

Au-delà des concepts fondamentaux d'écologie qu'il doit assimiler, l'étudiant devra être conscient de l'importance de son environnement et des lois qui le régissent. Il devra comprendre qu'il fait partie de cet environnement et des divers écosystèmes qui le constituent. Toute action irréfléchie sur la biosphère peut compromettre son existence et celle des générations futures.

L'auteur est titulaire d'un Doctorat en Écologie et Environnement et d'un Magistère en Biodiversité végétale méditerranéenne, de l'Université Djilali Liabes

Il est à l'heure actuelle, Maître de Conférences et Chargée de recherches à l'Université

Djilali Liabes de Sidi Bel Abbes.

## Liste des figures

	<b>Pages</b>
Figure 1. 1. Représentation sous forme de « gâteau feuilleté » de la hiérarchie des sciences biologiques par ordre de complexité croissante.	2
Figure 1. 2. Schéma symbolique d'un écosystème	3
Figure 2. 1. Schéma mettant en évidence la porosité d'un sol due à la structure lacunaire Qui délimite des pores permettant la circulation de l'eau et des gaz	10
Figure 2. 2. Rétention de l'eau dans les sols : schéma représentant les diverses formes d'eau contenues dans le sol en fonction de leur degré croissant de rétention	12
Figure 2. 3. Répartition des eaux dans le monde	
Figure 2. 4. Le disque de Secchi	13
Figure 2. 5. Les diverses zones au sein de la colonne d'eau	14
Figure 2. 6. Régulation des populations prédateurs-proies (loi de Lotka-Voltera)	20
Figure 2. 7. Représentation graphique de la loi de tolérance de Shelford	21
Figure 3. 1. Zonation verticale de la biosphère et répartition des macroécosystèmes	25
Figure 3. 2. Niveaux trophiques et organisation fonctionnelle de la biocœnose	26
Figure 3. 3. La production primaire de molécules organiques par le processus de la Photosynthèse	27
Figure 3. 4. Cycle de la matière, relations trophiques et groupes fonctionnels	28
Figure 4. 1. Flux d'énergie et de matière dans un écosystème aquatique simple	30
Figure 4. 2. Pyramide des nombres d'une prairie	31
Figure 4. 3. Pyramide des biomasses	32
Figure 4. 4. Pyramide représentant le flux d'énergie existant dans chaque niveau trophique	33
Figure 4. 5. Exemple schématique de chaîne alimentaire montrant le flux d'énergie de niveau trophique en niveau trophique	35
Figure 4. 6. Définition des principaux types de rendement ou d'efficacité énergétique utilisés en écologie	36
Figure 4. 7. Rendements écologiques d'une belette (carnivore) et d'une chenille (herbivore)	36
Figure 4. 8. Cycle de l'eau	38
Figure 4. 9. Cycle du carbone	40

Figure 4. 10. Cycle du phosphore	41
Figure 4. 11. Cycle de l'azote	43
Figure 4. 12. Représentation schématique de la succession de réaction d'oxydation de la matière organique dans les sédiments en fonction du degré d'oxydoréduction	45
Figure 4. 13. Destruction de l'ozone par le chlore libéré dans l'atmosphère	47
Figure 4. 14. Effets des pluies acides sur les arbres	48
Figure 4. 15. Le mécanisme de l'effet de serre	49
Figure 5. 1. Les différentes strates verticales de la forêt	53
Figure 5. 2. Exemple de succession progressive. Reconstitution d'un climax forestier caducifolié à partir d'un champ abandonné dans le Sud-Est des États-Unis	62

## Liste des photographies

	Pages
Photo n° 1. Forêt tropicale dans le bassin supérieur de l'Amazonie en Equateur	54
Photo n° 2. Chêne vert ( <i>Quercus ilex L.</i> ) avec les Feuilles et les fruits	55
Photo n° 3. Chêne liège ( <i>Quercus suber L.</i> ) avec les Feuilles, les fleurs et les fruits	55
Photo n° 4. Pin d'Alep ( <i>Pinus halepensis Mill.</i> ) (à gauche) et le Pin Parasol ou Pin pignon ( <i>Pinus pinea L.</i> )	56
Photo n° 5. Le Hêtre ( <i>Fagus silvatica L.</i> ) Feuilles et fruits	57
Photo n° 6. Le charme commun ( <i>Carpinus betulus L.</i> ) et ses feuilles	57
Photo n° 7. Forêts de conifères (à gauche : les monts de Laponie (suède) et à droite forêt du Yukon, Canada)	58
Photo n° 8. Faune de la forêt boréale (de gauche à droite : Élan ou orignal, Ours, Lynx et tigre)	58
Photo n° 9. Quelques animaux de la prairie (de gauche à droite : des zèbres, écureuils de terre et Hyène)	59
Photo n° 10. Marais de Bukta, Lituanie	60
Photo n° 11. Mangrove, Kenya	60
Photo n° 12. Baleine à bosse et son petit (à gauche) et Raie des Maldives (à droite)	61

## Liste des figures

	<b>Pages</b>
Figure 1. 1. Représentation sous forme de « gâteau feuilleté » de la hiérarchie des sciences biologiques par ordre de complexité croissante.	2
Figure 1. 2. Schéma symbolique d'un écosystème	3
Figure 2. 1. Schéma mettant en évidence la porosité d'un sol due à la structure lacunaire Qui délimite des pores permettant la circulation de l'eau et des gaz	10
Figure 2. 2. Rétention de l'eau dans les sols : schéma représentant les diverses formes d'eau contenues dans le sol en fonction de leur degré croissant de rétention	12
Figure 2. 3. Répartition des eaux dans le monde	13
Figure 2. 4. Le disque de Secchi	14
Figure 2. 5. Les diverses zones au sein de la colonne d'eau	15
Figure 2. 6. Régulation des populations prédateurs-proies (loi de Lotka-Volterra)	20
Figure 2. 7. Représentation graphique de la loi de tolérance de Shelford	21
Figure 3. 1. Zonation verticale de la biosphère et répartition des macroécosystèmes	25
Figure 3. 2. Niveaux trophiques et organisation fonctionnelle de la biocénose	26
Figure 3. 3. La production primaire de molécules organiques par le processus de la photosynthèse	27
Figure 3. 4. Cycle de la matière, relations trophiques et groupes fonctionnels	28
Figure 4. 1. Flux d'énergie et de matière dans un écosystème aquatique simple	30
Figure 4. 2. Pyramide des nombres d'une prairie	31
Figure 4. 3. Pyramide des biomasses	32
Figure 4. 4. Pyramide représentant le flux d'énergie existant dans chaque niveau trophique	33
Figure 4. 5. Exemple schématique de chaîne alimentaire montrant le flux d'énergie de niveau trophique en niveau trophique	35
Figure 4. 6. Définition des principaux types de rendement ou d'efficacité énergétique utilisés en écologie	36
Figure 4. 7. Rendements écologiques d'une belette (carnivore) et d'une chenille (herbivore)	36
Figure 4. 8. Cycle de l'eau	38
Figure 4. 9. Cycle du carbone	40

Figure 4. 10. Cycle du phosphore	41
Figure 4. 11. Cycle de l'azote	43
Figure 4. 12. Représentation schématique de la succession de réaction d'oxydation de la matière organique dans les sédiments en fonction du degré d'oxydoréduction	45
Figure 4. 13. Destruction de l'ozone par le chlore libéré dans l'atmosphère	47
Figure 4. 14. Effets des pluies acides sur les arbres	48
Figure 4. 15. Le mécanisme de l'effet de serre	49
Figure 5. 1. Les différentes strates verticales de la forêt	53
Figure 5. 2. Exemple de succession progressive. Reconstitution d'un climax forestier caducifolié à partir d'un champ abandonné dans le Sud-Est des États-Unis	62

## Liste des photographies

	Pages
Photo n° 1. Forêt tropicale dans le bassin supérieur de l'Amazonie en Equateur	54
Photo n° 2. Chêne vert ( <i>Quercus ilex L.</i> ) avec les Feuilles et les fruits	55
Photo n° 3. Chêne liège ( <i>Quercus suber L.</i> ) avec les Feuilles, les fleurs et les fruits	55
Photo n° 4. Pin d'Alep ( <i>Pinus halepensis Mill.</i> ) (à gauche) et le Pin Parasol ou Pin pignon ( <i>Pinus pinea L.</i> )	56
Photo n° 5. Le Hêtre ( <i>Fagus silvatica L.</i> ) Feuilles et fruits	57
Photo n° 6. Le charme commun ( <i>Carpinus betulus L.</i> ) et ses feuilles	57
Photo n° 7. Forêts de conifères (à gauche : les monts de Laponie (suède) et à droite forêt du Yukon, Canada)	58
Photo n° 8. Faune de la forêt boréale (de gauche à droite : Élan ou orignal, Ours, Lynx et tigre)	58
Photo n° 9. Quelques animaux de la prairie (de gauche à droite : des zèbres, écureuils de terre et Hyène)	59
Photo n° 10. Marais de Bukta, Lituanie	60
Photo n° 11. Mangrove, Kenya	60
Photo n° 12. Baleine à bosse et son petit (à gauche) et Raie des Maldives (à droite)	61

# Table des matières

<b>Avant- propos</b>	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>II</b>
<b>Liste des photographies</b>	<b>III</b>
<b>Chapitre I. Premières définitions</b>	<b>1</b>
1. 1. Définition de l'écologie	1
1. 2. Domaines d'intervention	1
1. 3. Intérêt de l'écologie	2
1.4. Définition de l'écosystème et de ses constituants	3
1. 4. 1. Notions de biocénose et de facteurs écologiques	4
<b>Chapitre 2. Les facteurs du milieu</b>	<b>6</b>
2. 1. Introduction	6
2. 2. Facteurs abiotiques	6
2. 2. 1. Facteurs climatiques	6
2. 2. 1. 1. Définition du climat	6
2. 2. 1. 2. Les principaux facteurs du climat	6
a. La lumière et l'éclairement	7
- Action sur les végétaux	7
- Action sur les animaux	8
b. La température	8
c. Les précipitations et l'humidité de l'air (hygrométrie)	8
d. Le vent	9
e. La neige	9
2. 2. 2. Facteurs édaphiques	9
a. caractères physiques des sols	10
- Structures des sols	10
- La texture des sols	11
- L'eau dans les sols (hygrométrie)	
b. caractères chimiques des sols	12
- Le pH des sols	12

- Éléments minéraux des sols	12
2. 2. 3. Facteurs hydriques	13
a. propriétés optiques : lumière et transparence de l'eau	14
b. Mesure de la transparence	14
c. Les gaz	15
d. La conductivité électrique	15
e. Les sels minéraux	15
f. La matière organique	16
g. Le pH	16
2. 3. Facteurs biotiques	16
	17
2. 3. 1. Les grands types d'interactions entre les espèces	
2. 3. 2. Interactions de compétition	17
2. 3. 2. 1. Compétition par interférence	17
2. 3. 2. 2. Compétition par exploitation	18
2. 3. 3. Interactions mangeur-mangé	18
2. 3. 3. 1. La prédation	18
2. 3. 3. 2. Le parasitisme	18
2. 3. 4. Interactions de coopération et de symbiose	18
2. 4. Interactions entre le milieu et les êtres vivants	19
2. 4. 1. Rôle des facteurs écologiques dans la régulation des populations	19
2. 4. 2. Loi de tolérance de Shelford	19
2. 4. 2. 1. Notion d'optimum écologique	20
2. 4. 3. Valence écologique	21
2. 4. 4. Loi du minimum ou loi de Liebig	21
2. 4. 4. 1. Facteur limitant	22
4. 5. Niche écologique	22
	23
<b>Chapitre III. Structure des écosystèmes</b>	
2.1. La biosphère	24
3. 1. 1. La structure de la biosphère	24
3. 1. 1. 1. La zonation latitudinale	25
3.1. 1. 2. Zonation verticale	25

a.Zonation en profondeur de l’hydrosphère	25
b.Zonation en altitude de la biosphère continentale	25
3. 2. Structure de la chaîne trophique	26
3. 2. 1. Les producteurs	27
3. 2. 2. Les consommateurs	27
3. 2. 2. 1. Les consommateurs de matière fraîche	27
3. 2. 2. 2. Les consommateurs de cadavres d’animaux	27
2. 3. Les décomposeurs ou détritivores	28
	29

## **Chapitre 4. Fonctionnement des écosystèmes**

3.1. Le flux d’énergie et le cycle de la matière dans la biosphère	29
4. 2. Les différents types de chaînes trophiques	30
4. 2. 1. Chaîne des prédateurs	30
4. 2. 2. Chaîne des parasites	30
4. 2. 3. Chaîne des détritivores	31
4. 3. Pyramides écologiques	31
4. 3. 1. Pyramide des nombres	31
4. 3. 2. Pyramide des biomasses	32
4. 3. 3. Pyramide des énergies	32
4. 4. Notion de productivité bioénergétique	34
4. 5. Transfert d’énergie	35
4. 6. Le rendement	36
4. 7. Stabilité des écosystèmes	37
4. 8. Les cycles biogéochimiques	37
4. 8.1. Le cycle de l’eau	38
4. 8. 2. Le cycle du carbone	39
	40
4. 8. 3. Le cycle du phosphore	
4. 8. 4. Le cycle de l’azote	42
4. 9.Impacts des activités anthropiques sur l’équilibre des écosystèmes	43
4. 9. 1. La pollution des écosystèmes aquatiques	44
4. 9. 1. 1. Phénomène d’eutrophisation ou dystrophisation	44
4. 9. 1. 2. Conséquences de l’eutrophisation	45

4. 9. 2. La pollution atmosphérique	45
4. 9. 2. 1. Le trou dans la couche d'ozone	46
4. 9. 2. 2. Les pluies acides	47
9. 2. 3. Effet de serre	48
<b>Chapitre 5. Description sommaire des principaux écosystèmes</b>	<b>52</b>
4.1. Écosystèmes terrestres	52
5. 1. 1. La forêt	52
5. 1. 1. 1. Stratification verticale de la forêt tempérée	52
1. 1. 2. Les principales forêts à l'échelle du globe	53
a. Les forêts ombrophiles (humides) tropicales	53
Les forêts méditerranéennes	54
Les forêts tempérées	56
La forêt boréale ou taïga	58
5. 1. 2. La prairie	59
5. 2. Écosystèmes aquatiques	59
5. 2. 1. Les eaux de surface	59
5. 2. 2. Les océans	59
3. Évolution des écosystèmes et notion de climax	60
<b>Bibliographie</b>	<b>63</b>
Programme ministériel	



# Chapitre I

---

## Introduction

L'écologie, en tant que discipline scientifique, étudie les relations entre les organismes vivants et leur environnement (**Begon, Townsend, & Harper, 2006**). Elle explore les interactions complexes entre les êtres vivants, les facteurs abiotiques tels que le climat, le sol et l'eau, ainsi que les processus écologiques à différentes échelles, des individus aux écosystèmes.

Le cours d'écologie vise à fournir aux étudiants en sciences de la vie et de l'environnement une compréhension approfondie des concepts fondamentaux et des principes clés de l'écologie (**Krebs, 2014**). Il permet aux étudiants de développer des compétences analytiques essentielles pour étudier et résoudre les problèmes environnementaux contemporains.

Ce cours couvrira divers sujets en écologie, notamment la biogéographie, la dynamique des populations, les interactions trophiques, la succession écologique et la biodiversité (**Ricklefs & Relyea, 2018**). L'étude de ces sujets permettra aux étudiants de comprendre comment les espèces interagissent entre elles et avec leur environnement, et comment ces interactions façonnent les écosystèmes.

Les étudiants apprendront également à utiliser des outils et des méthodes spécifiques pour étudier les écosystèmes et évaluer l'impact des activités humaines sur ces derniers. Ils seront initiés à l'utilisation de modèles mathématiques pour simuler les dynamiques des populations, à l'application de techniques de terrain pour collecter des données écologiques et à l'analyse statistique pour interpréter ces données.

Comprendre l'écologie est essentiel pour relever les défis environnementaux auxquels notre société est confrontée. Le changement climatique, la perte de biodiversité, la dégradation des habitats et la pollution sont autant de problèmes qui nécessitent une compréhension approfondie des principes écologiques (**Odum, 2007**). En acquérant des connaissances en écologie, les étudiants seront mieux équipés pour développer des approches de gestion durable des ressources naturelles, de conservation des espèces et de préservation des écosystèmes fragiles.

Les références bibliographiques suivantes fourniront aux étudiants des ressources complémentaires pour approfondir leur compréhension de l'écologie (**Smith & Smith, 2015**) :

## 1. 1. Définition de l'écologie

L'écologie peut être définie de différentes manières selon les auteurs. Voici quelques définitions proposées par des spécialistes de l'écologie :

□ "L'écologie est l'étude scientifique des interactions entre les organismes et leur environnement, ainsi que des processus qui régissent la structure et le fonctionnement des écosystèmes" (**Smith & Smith, 2012**).

"L'écologie est la science qui étudie les relations des organismes vivants entre eux et avec leur environnement" (**Odum, 1997**).

L'écologie, en tant que discipline scientifique, étudie les relations entre les organismes vivants et leur environnement (**Begon, Townsend, & Harper, 2006**). Elle explore les interactions complexes entre les êtres vivants, les facteurs abiotiques tels que le climat, le sol et l'eau, ainsi que les processus écologiques à différentes échelles, des individus aux écosystèmes.

"L'écologie est la science de la maison que les êtres vivants partagent : la Terre" (**Pickett et al., 2007**).

□ "L'écologie est la science des relations qui déterminent la distribution et l'abondance des organismes" (**Krebs, 2014**).

La définition de l'écologie a été proposée en 1866 par le naturaliste allemand Ernst Haeckel. Le terme est dérivé des mots grecs "oïkos" et "logos" et signifie littéralement "science de l'habitat". L'écologie englobe l'étude des conditions de vie des êtres vivants et des interactions de toutes sortes entre ces êtres vivants et leur environnement. Cette discipline met en évidence les relations entre les êtres vivants, y compris les humains, et leur milieu de vie.

L'écologie a également pour objectif de détecter, d'analyser, de prévenir et de lutter contre les éventuels dysfonctionnements d'un écosystème. La prise de conscience croissante de la nécessité de préserver la nature a conduit l'écologie moderne à proposer des mesures concrètes pour la protection de l'environnement, telles que la création de réserves naturelles, de parcs nationaux, de banques de semences, ainsi que l'adoption de lois internationales visant à protéger la faune, la flore et les habitats naturels. (**Ramade, 2005**).

Enfin, l'écologie couvre l'étude d'une large gamme de phénomènes, de la molécule à l'ensemble d'un écosystème (**Fischesser & Dupuis-Tate, 2007**).

Ces définitions soulignent toutes l'importance de l'étude des interactions entre les êtres vivants et leur environnement, ainsi que la compréhension des processus écologiques qui régissent la structure et le fonctionnement des écosystèmes.

## 1. 2. Domaines d'intervention

L'écologie est une discipline qui englobe plusieurs domaines d'intervention, où ses principes et ses concepts peuvent être appliqués pour résoudre des problèmes environnementaux et contribuer au développement durable. Cette science interdisciplinaire offre des outils et des connaissances qui sont essentiels pour comprendre et gérer les interactions complexes entre les êtres vivants et leur environnement.

Dans le domaine de la conservation de la biodiversité, l'écologie joue un rôle clé en fournissant des informations sur les populations d'espèces menacées, leurs habitats et les processus écologiques qui les maintiennent (**Primack, 2010**). Les chercheurs en écologie étudient les facteurs qui influencent la survie et la reproduction des espèces, et proposent des mesures de conservation pour protéger la diversité biologique (**Soulé, 1985**).

L'écologie est également appliquée dans le domaine de la gestion des ressources naturelles. Elle aide à évaluer les impacts des activités humaines telles que l'exploitation forestière, l'agriculture intensive et l'exploitation des ressources marines (**Holling, 1978**). En comprenant les interactions complexes entre les écosystèmes et les activités humaines, l'écologie peut contribuer à une gestion durable des ressources naturelles pour préserver leur productivité et leur résilience (**Folke et al., 2004**).

Dans le contexte du changement climatique, l'écologie est cruciale pour comprendre les impacts des variations climatiques sur les écosystèmes et les espèces (**Parmesan & Yohe, 2003**). Les chercheurs en écologie étudient les effets du réchauffement climatique sur la phénologie des plantes, la répartition géographique des espèces et les interactions trophiques, afin de prédire les changements futurs et d'élaborer des stratégies d'adaptation (**Root et al., 2003**).

Enfin, l'écologie est également appliquée dans le domaine de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme. Elle permet d'évaluer les impacts environnementaux des projets de développement et de concevoir des approches d'aménagement durable (**Alberti et al., 2003**). Les études écologiques fournissent des informations sur la fragmentation des habitats, la connectivité écologique et les services écosystémiques, pour soutenir la planification urbaine respectueuse de l'environnement.

Pour approfondir leur compréhension des domaines d'intervention de l'écologie, les étudiants peuvent se référer aux références suivantes :

L'écologie occupe une place particulière parmi toutes les sciences biologiques. En fait, c'est une discipline de nature holistique (globale). Historiquement, le développement de la discipline a en fait commencé par l'étude des effets de facteurs écologiques sur des plantes ou des animaux isolés. Le domaine est connu sous le nom d'autoécologie (ou écophysologie). Par la suite, les recherches se sont concentrées sur la population (écologie épidémique). Pour de nombreuses écoles d'écologie, en particulier l'école anglo-saxonne, le niveau d'organisation le plus bas dont s'occupe l'écologie est la population. Cependant, la partie la plus spécifique de ce dernier correspond aux feuilles supérieures du gâteau (Fig. 1), est l'étude des écosystèmes, appelée écologie, qui est une partie importante de l'écologie moderne, et son but est d'étudier la structure et la fonction des écosystèmes. A des échelles spatio-temporelles plus larges, on rencontre des systèmes complexes constitués de plusieurs écosystèmes adjacents (adjacents ou proches les uns des autres), appelés paysages. Ils constituent une entité de niveau supérieur et font l'objet de développements spécifiques dans le cadre de l'écologie du paysage. Enfin, le niveau d'organisation biologique le plus complexe étudié en écologie est constitué par la biosphère, et au-delà de l'écosphère par l'écosphère, dont l'étude fait l'objet de l'écologie globale (**Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Ramade, 2008 ; Sottiaux, 2008**).

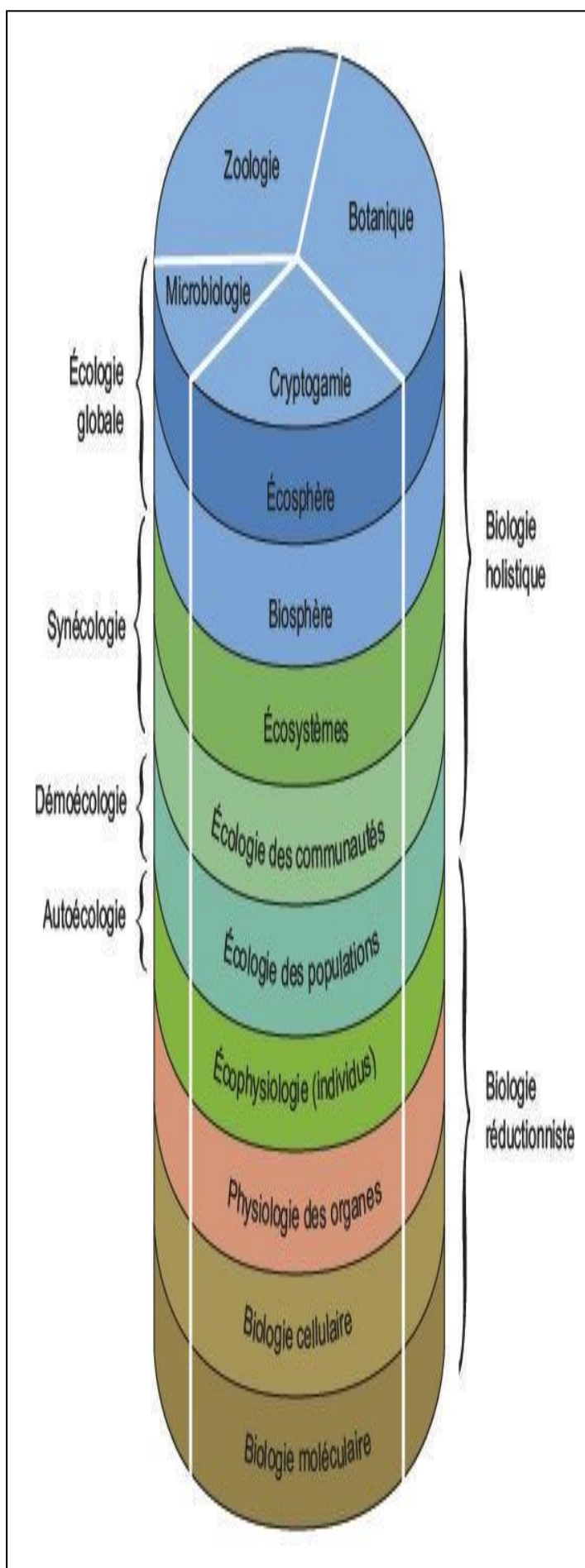


Figure 1. 1. Représentation sous forme de

« gâteau feuilleté » de la hiérarchie des sciences biologiques par ordre de complexité croissante. Si l'on figure sous forme d'un gâteau l'ensemble des sciences biologiques, les tranches verticales du gâteau représentent les subdivisions

traditionnelles (botanique, cryptogamie<sup>1</sup>, zoologie, etc.) tandis que les coupes selon des plans horizontaux parallèles figurent depuis la base des degrés

d'organisation de plus en plus complexes, le haut du feuilleté représentera les diverses subdivisions de l'écologie du niveau le plus simple (population), jusqu'au plus complexe (biosphère) (Ramade, 2008).

### 1. 3. Intérêt de l'Écologie

L'écologie revêt un intérêt crucial dans notre société moderne, confrontée à des défis environnementaux croissants. En tant que discipline scientifique, elle offre des connaissances et des outils indispensables pour comprendre et résoudre les problèmes écologiques auxquels nous sommes confrontés. L'écologie joue un rôle central dans la préservation de la biodiversité, la gestion durable des ressources naturelles, l'adaptation au changement climatique et la conception d'un aménagement du territoire respectueux de l'environnement.

La préservation de la biodiversité est l'un des principaux intérêts de l'écologie. La biodiversité est essentielle pour maintenir l'équilibre des écosystèmes et assurer la stabilité des services écosystémiques dont dépendent les humains (**Cardinale et al., 2012**). Les études écologiques permettent de mieux comprendre les facteurs qui influencent la diversité biologique et d'élaborer des stratégies de conservation efficaces pour protéger les espèces et les habitats menacés (**Soulé, 1985**).

La gestion durable des ressources naturelles est une autre préoccupation majeure de l'écologie. L'exploitation excessive des ressources, la déforestation, la surexploitation des océans et l'agriculture intensive ont des conséquences néfastes sur les écosystèmes et les populations humaines qui en dépendent (Folke et al., 2004). L'écologie fournit des outils pour évaluer les impacts des activités humaines sur l'environnement, développer des approches de gestion durable et promouvoir une utilisation responsable des ressources (Holling, 1978).

Face au changement climatique, l'écologie joue un rôle crucial en étudiant les effets de ce phénomène sur les écosystèmes et les espèces (**Parmesan & Yohe, 2003**). Les chercheurs en écologie analysent les conséquences du réchauffement climatique sur la distribution géographique des espèces, les cycles de vie, les interactions écologiques et les processus écologiques clés (**Root et al., 2003**). Cette compréhension est essentielle pour élaborer des stratégies d'adaptation et de mitigation afin de réduire les impacts négatifs du changement climatique.

Enfin, l'écologie est également d'un grand intérêt dans le domaine de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme. Les études écologiques fournissent des informations cruciales pour concevoir des

villes durables, en prenant en compte la préservation des habitats naturels, la connectivité écologique, la gestion des espaces verts et la promotion des infrastructures écologiques (**Alberti et al., 2003**). Une approche écologique de l'aménagement du territoire permet de concilier les besoins humains avec la conservation de la nature.

Discipline intégrée par excellence, l'écologie s'appuie sur de nombreuses autres sciences telles que la botanique, la zoologie, la pédologie, la climatologie et les mathématiques (modélisation des systèmes, méthodes statistiques). Le haut niveau de connaissances requis pour comprendre le fonctionnement de la biosphère fait de l'écologie une discipline scientifique importante (**Frontier & Pichod-Viale, 1991 ; Barbault, 2008**).

La complexité des écosystèmes et les difficultés d'étude qu'ils présentent font en outre de l'écologie une science passionnante. L'écologie est une science au service de l'homme ?

« Oui dans le sens où elle lui apprend à comprendre son environnement, à connaître la structure et le fonctionnement des écosystèmes dans lesquels il vit, et à réaliser que lui-même fait partie du système d'interactions.

Elle fournit donc une clé pour savoir gérer ce système au mieux, c'est-à-dire non seulement en assurant sa survie, mais en autorisant un certain niveau d'exploitation, limité mais durable » (**Frontier & Pichod-Viale, 1991**).

L'écologie doit-elle être politique ? Oui, l'adjectif « politique » ne renvoie pas à la doctrine (principes ou croyances) d'un parti politique, mais à la doctrine du management, issue de l'analyse des systèmes, comme en économie politique (**Faurie et al., 2012**).

#### **4. Définition de l'écosystème**

Un système écologique ou écosystème fut défini par la botaniste anglais Arthur Tansley en 1935.

Un écosystème est un système complexe et interconnecté composé d'organismes vivants (plantes, animaux, micro-organismes) et de leur environnement physique (air, eau, sol) qui interagissent les uns avec les autres (**Odum & Odum, 2000**). Il peut être de taille variable, allant d'une petite mare à une forêt tropicale ou à un océan.

Dans un écosystème, les différentes espèces sont interdépendantes et interagissent entre elles de

différentes manières, telles que la prédation, la compétition pour les ressources, la pollinisation, la symbiose, etc. (**Begon, Townsend & Harper, 2006**). Ces interactions créent un équilibre dynamique et maintiennent la stabilité de l'écosystème.

Un écosystème correspond au plan structural à l'association de deux composantes en constante interaction l'une avec l'autre : un environnement dénommé biotope, de nature abiotique, dont les caractéristiques physiques et dont la localisation géographique sont bien définies, associées à une communauté vivante, caractéristique de ce dernier, la biocénose (**Ramade, 2008 ; Faurie et al., 2012 ; El Aboudi, 2014**).

La notion d'écosystème peut être symbolisée comme suit (Fig. 1. 2) :

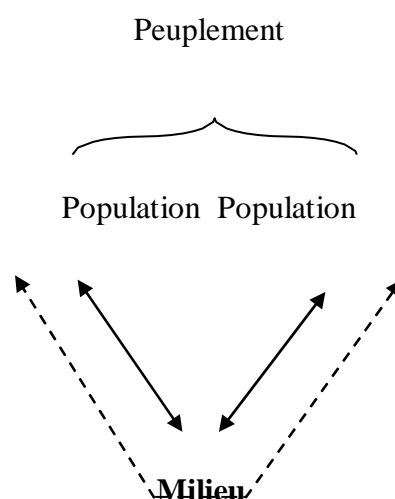


Figure 1. 2. Schéma symbolique d'un écosystème

Flèches à deux sens : interactions directes Flèches en trait interrompu : interactions indirectes (**Frontier et al., 2008**)

L'écosystème représente une unité fonctionnelle qui se perpétue de façon autonome au travers du flux de l'énergie et du cycle de la matière entre ces différentes composantes inertes et vivantes lesquelles sont en constante interaction.

Un lac constitue un exemple fort illustratif d'écosystème : le biotope lacustre est la résultante de sa localisation géographique, des conditions climatiques propres à ce dernier, de la nature géologique de son substrat, enfin des caractéristiques physico-chimiques de ses eaux.

La biocœnose lacustre correspond à l'ensemble de la communauté vivante aquatique : plantes macrophytes (roseaux, par exemple), algues microscopiques du phytoplancton, micro-crustacés (daphnies, par exemple) et Rotifères du zooplancton, Poissons, Bactéries et champignons saprophytes des eaux et des sédiments.

Le seul flux d'énergie entrant est constitué par le rayonnement solaire qui est converti en matière vivante (énergie biochimique) par le phytoplancton et les macrophytes aquatiques grâce aux sels minéraux dissous dans l'eau. Cette matière vivante et l'énergie qu'elle renferme est ensuite incorporée dans les « chaînes alimentaires » de consommateurs : zooplancton, poissons herbivores et prédateurs. Enfin, les micro-organismes (bactéries et champignons) contenus dans les eaux et les couches superficielles des sédiments décomposent et minéralisent la matière organique après la mort des végétaux et des animaux aquatiques (**Ramade 2008 ; 2009 ; El Aboudi, 2014**).

#### 4. 1. Notions de biocœnose et de facteurs écologiques

Une biocœnose est constituée par la totalité des êtres vivants qui peuplent un écosystème donné. Ce terme de biocœnose, qui est pris souvent par les écologistes francophones comme synonyme de communauté, désigne l'ensemble des organismes qui peuplent tout écosystème : les producteurs (végétaux autotrophes), les consommateurs (les animaux), et les décomposeurs (champignons et microorganismes hétérotrophes) (**Ramade, 2009**).

La biocœnose, qui représente l'ensemble des organismes vivants d'un écosystème donné et les interactions qui se produisent entre eux (Odum & Odum, 2000; Begon, Townsend & Harper, 2006), joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes. Elle englobe les relations de prédation, de compétition, de symbiose, de coopération et d'autres formes d'interactions écologiques.

La population est l'ensemble des individus appartenant à la même espèce et occupent une même fraction de biotope qui échangent librement entre eux leurs gènes dans la reproduction sexuée (Dajoz, 2006).

La population peut être définie comme "l'ensemble des individus d'une même espèce qui vivent dans une zone géographique donnée et qui peuvent se reproduire entre eux" (Begon, Townsend & Harper, 2006). En écologie et en biologie de la conservation, la population est considérée comme

une unité fondamentale d'étude.

La population est caractérisée par plusieurs paramètres, notamment sa taille, sa densité, sa structure d'âge, sa structure sexuelle et sa dynamique (Begon, Townsend & Harper, 2006). L'étude de ces paramètres permet de comprendre les interactions entre la population et son environnement, ainsi que les processus qui influencent son évolution dans le temps.

Les scientifiques utilisent différentes méthodes pour étudier les populations, telles que le dénombrement sur le terrain, les modèles mathématiques et les analyses génétiques (Krebs, 2013). Ces approches permettent d'évaluer la santé et la viabilité des populations, d'identifier les facteurs qui influencent leur abondance et leur répartition, et de prendre des décisions éclairées en matière de gestion des ressources naturelles.

Le peuplement est l'ensemble des populations des espèces appartenant souvent à un même groupe taxonomique qui présente une écologie semblable et occupe le même habitat. On parlera par exemple du peuplement d'oiseaux insectivores de la forêt de Fontainebleau, du peuplement d'arbres d'une forêt tropicale, ou encore des peuplements d'ongulés d'une savane africaine (**Ramade, 2009 ; Tirard et al., 2012**).

☞ Communauté, au sens strict, ce terme est synonyme de biocénose. Cependant dans la pratique, les écologues, plus particulièrement anglo-saxons, l'utilisent aussi pour désigner des sous-ensembles de la biocénose au plan structural et (ou) fonctionnel. Ainsi, les vocables de communautés d'insectes (= entomocénose), ou des plantes (= phytocénose) (**Ramade, 2008**).

☞ Biome(s) : communautés vivantes qui se rencontrent sur de vastes surfaces en milieu continental. Elles correspondent donc à la biocénose propre à des macroécosystèmes. Ainsi les taïgas (nom russe de l'immense forêt boréale de conifères qui constitue l'un des biomes majeurs de l'hémisphère Nord), les savanes tropicales (écosystème de formation herbacé, qui se rencontrent dans toutes les régions intertropicales du monde, dont les communautés végétales se caractérisent par la présence d'une strate herbacée continue dans laquelle les graminées sont dominants), les déserts ou encore les forêts caducifoliées tempérées correspondent à autant de biomes distincts (**Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Ramade, 2008**).

☞ **Facteurs écologiques** sont les paramètres physico-chimiques ou biologiques susceptibles d'agir directement sur les êtres vivants, qui conditionnent le développement de toute entité biologique depuis l'individu jusqu'à l'écosystème entier.

Usuellement, on distingue parmi ces derniers des facteurs abiotiques, qui réunissent l'ensemble des facteurs physico-chimiques du milieu et des facteurs biotiques qui correspondent à tout ce qui dépend des êtres vivants (**Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Ramade, 2008**).

- **Facteurs abiotiques** : ils comportent des facteurs climatiques (température, éclaircissement, pluviométrie, vent, etc.) ; édaphiques, spécifiques des sols (texture, structure, éléments minéraux présents dans les sols) ; topographiques, liés au relief ; hydrologiques (représentés par la teneur des eaux en sels minéraux, oxygène et autres gaz dissous, par le courant, le pH des eaux, etc.) (**Dajoz, 2006 ; Ramade, 2008**).
- Les Facteurs abiotiques sont des facteurs non vivants tels que la température, l'humidité, la lumière, la disponibilité des nutriments, la composition chimique du sol, etc. Ces facteurs abiotiques jouent un rôle crucial dans la survie, la croissance et la reproduction des organismes vivants.
- **Facteurs trophiques** : ces facteurs sont intermédiaires entre les facteurs abiotiques et biotiques. Strictement minéraux dans le règne végétal donc abiotiques, ils sont organiques donc biotiques pour l'alimentation des animaux (**Ramade, 2008 ; Triplet, 2015**).
- **Facteurs biotiques** : on en distingue deux groupes : ceux qui traduisent des interactions positives ou à l'opposé ceux qui appartiennent aux interactions négatives. Les *interactions positives* comportent le *commensalisme*, le *mutualisme* et la *symbiose*. Les *interactions négatives* comportent les réactions *télétoxiques (allélopathiques)* (chapitre 2, paragraphe 2.3.1), la compétition intra spécifique et inter spécifique, la prédation, le parasitisme et les maladies (**Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Ramade, 2008**).

# Chapitre II

## 2. 1. Introduction

*Les facteurs écologiques qualifient tous les éléments du milieu susceptibles d'influencer un être vivant* tels que : les facteurs abiotiques, les facteurs biotiques, les facteurs anthropiques et les facteurs limitants. Ils influencent directement ou indirectement tout ou une partie du cycle biologique d'une espèce. Ils déterminent le développement des êtres vivants et des écosystèmes en les favorisant ou en les contraignant. Les facteurs écologiques agissent sur les êtres vivants en éliminant certaines espèces des territoires dont les caractéristiques climatiques ou physico-chimiques ne conviennent pas, en modifiant les taux de fécondité et de mortalité des espèces, en agissant sur les cycles de développement et sur les densités et en favorisant l'apparition de modifications adaptatives comme les modifications du métabolisme, de l'hibernation... Ils agissent également sur la répartition géographique des espèces végétales et animales (**Dajoz, 2006 ; Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Barbault, 2008 ; Tirard et al., 2012 ; Triplet, 2015**).

## 2. 2. Facteurs abiotiques

De nature physique ou chimique, ils ont une énorme influence sur de nombreuses populations. Nous pouvons citer les *facteurs climatiques* (température, humidité et pluviosité, éclaircissement et photopériode, vent, etc.) ; *édaphiques*, qui concernent les caractères physico-chimiques des sols (texture, structure, éléments minéraux présents dans les sols) ; *topographiques*, liés au relief ; *hydrologiques* relatifs aux biotopes aquatiques (représentés par la teneur des eaux en sels minéraux, oxygène et autre gaz dissous, par le courant, le pH des eaux, etc.) (**Ramade, 2009 ; Tirard et al., 2012**).

### 2. 2. 1. Facteurs climatiques

#### 2. 2. 1. 1. Définition du climat

Le climat est l'ensemble des conditions atmosphériques et météorologiques propres à une région du globe. Il résulte de l'ensemble des phénomènes météorologiques qui affectent l'atmosphère. Il dépend de divers facteurs tels que la température, les précipitations, l'humidité de l'air ou l'hygrométrie, l'évaporation, le vent, la lumière, la pression atmosphérique, le relief, la nature du sol, ainsi que la proximité ou l'éloignement de la mer, entre autres (**Beaux, 2004; Chémery, 2004; Faurie et al., 2012**).

Selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), pour être considérée comme climat, une série de conditions doit être observée pendant une période minimale de 30 ans. Les

caractéristiques climatiques influencent profondément la capacité des animaux et des plantes à coloniser différents milieux (**Beaux, 2004; Chémery, 2004; Faurie et al., 2012**). Les organismes ont développé des adaptations spécifiques pour faire face aux variations climatiques et pour tirer parti des conditions environnementales favorables à leur survie et à leur reproduction.

### 2. 2. 1. 2. Les principaux facteurs du climat

On peut distinguer parmi les facteurs climatiques un ensemble de *facteurs énergétiques*, constitués par la lumière et les températures, de *facteurs hydriques* (précipitations et hygrométrie), et de *facteurs mécaniques* (vent, enneigement). *Le rayonnement solaire représente la source d'énergie primaire* associée aux *deux facteurs écologiques*

*Fondamentaux* que sont la lumière (éclairage) et la chaleur (température) (**Chémery, 2004 ; Ramade 2003 ; 2009**).

#### a. La lumière et l'éclairage

La lumière et l'éclairage jouent un rôle essentiel dans de nombreux processus écologiques. Ils influencent la durée, l'intensité et la qualité des radiations lumineuses, ce qui a des répercussions sur les organismes vivants. L'intensité lumineuse est particulièrement importante car elle conditionne l'activité photosynthétique, qui est à la base de la production primaire de la biosphère. La durée de l'éclairage tout au long d'un cycle de 24 heures, également appelée photopériode, contrôle la croissance des plantes, leur floraison, ainsi que l'ensemble du cycle de vie des espèces animales (telles que l'hibernation, la diapause, la maturation sexuelle, etc.) (**Mackenzi et al., 2000**).

La disponibilité et les caractéristiques de la lumière sont des facteurs clés qui influencent les stratégies d'adaptation des organismes vivants. Les plantes, par exemple, sont capables de percevoir la quantité et la qualité de la lumière pour optimiser leur croissance et leur développement. Les animaux utilisent également la lumière comme un signal pour réguler leur comportement, leur reproduction et leur rythme biologique. ☞ Action sur les végétaux

En fonction de l'intensité lumineuse pour laquelle l'activité photosynthétique est maximale, on distingue des plantes *héliophiles* et des plantes *sciaphiles*.

Les *héliophytes* ou plantes de lumière sont des végétaux dont la croissance est maximale sous de forts éclairages et qui ne tolèrent pas l'ombre d'autres individus (**Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Triplet, 2015**). Les plantes cultivées en général et les arbres des forêts claires sont des *héliophytes*.

Les *sciaphytes* ou plantes d'ombre sont des végétaux dont la croissance nécessite une ombre

forte ou très dense. C'est le cas des végétaux du sous-bois (fougères, mousses, etc.) et les jeunes stades de la plupart des espèces d'arbres de forêts feuillues tempérées et sempervirentes tropicales (**Ramade, 2003 ; Triplet, 2015**).

Les plantes sont adaptées non seulement à l'intensité lumineuse mais aussi à la photopériode (*photopériodisme*). Pour rappel, la *photophase* est la période diurne et la *scotophase*, la période nocturne. La photopériode joue un rôle essentiel car elle contrôle la germination des végétaux, leur croissance et leur floraison. Si on considère l'influence de la photopériode sur les végétaux on peut distinguer :

- **Les plantes de jours courts** (plantes *nyctipériodiques*) : ce sont des végétaux dont la floraison exige une photopériode courte et s'effectue donc en une saison où la durée de la nuit excède celle du jour (la *scotophase* est dominante) (**Laberche, 2010**)
- **Les plantes de jours longs** (plantes *hémériopériodiques*) : ce sont des plantes qui exigent une photophase prédominante (durée du jour excède celle de la nuit) (**de Parcevaux & Huber, 2007 ; Laberche, 2010**).
- **Les plantes photoapériodiques (indifférentes)** : ce sont des plantes dont la floraison n'est pas influencée par la photopériode (**de Parcevaux & Huber, 2007**).

#### ☞ *Action sur les animaux*

La photopériode joue également un rôle très important dans l'écologie des animaux. Elle induit chez les animaux des rythmes biologiques (biorythmes), saisonniers, quotidiens ou lunaires.

#### ☞ *Les biorythmes saisonniers sont de deux types :*

- *Rythme de reproduction chez les vertébrés* : ils ont pour résultat de faire coïncider la période de reproduction avec la saison favorable (**Dajoz, 2006**).
- *Diapause<sup>2</sup>* : la photopériode est le facteur essentiel qui déclenche chez l'animal l'entrée en diapause avant que ne survienne la saison défavorable (**Dajoz, 2006**).

#### ☞ *Les biorythmes quotidiens ou circadiens*

Il s'agit de *rythmes dont la période est d'environ de 24h*. Le rythme veille-sommeil est celui qui marque le plus nos vies quotidiennes. Il est présent chez la plupart voire la totalité des animaux, incluant les invertébrés (**Faurie et al., 2012**).

#### ☞ *Les biorythmes lunaires*

Il s'agit de *rythmes d'activité déclenchés par la lumière lunaire*. Ces phénomènes sont bien connus pour synchroniser les périodes de reproduction chez divers animaux marins (**Frontier & Pichod-Viale, 1991 ; Frontier et al., 2008**).

---

**b. La température**

La température est l'élément du climat le plus important étant donné que tous les processus métaboliques en dépendent. Des phénomènes comme la photosynthèse, la respiration, la digestion suivent la loi de van't Hoff qui précise que la vitesse d'une réaction est fonction de la température.

Elle représente un *facteur limitant* d'importance capitale car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces de la biosphère (**Frontier et al., 2008**). La température agit directement sur les activités enzymatiques et contrôle directement la respiration, la croissance, la photosynthèse...

**c. Les précipitations et l'humidité de l'air**

La température et les précipitations sont les deux facteurs les plus importants du climat. Les précipitations, en particulier, jouent un rôle essentiel dans la disponibilité de l'eau pour la végétation. Les différentes formes de précipitations, telles que la pluie, la neige, la grêle, la rosée, la gelée blanche, les brouillards et les brumes, ainsi que l'évaporation et la porosité du sol, déterminent la quantité d'eau dont les plantes disposent (**Beaux, 2004**).

La répartition des précipitations sur une base annuelle est importante à la fois en termes de rythme et de volume absolu. Il est également crucial d'étudier le bilan hydrique, qui représente la différence entre les apports d'eau et les pertes par évaporation du sol (évaporation physique) et de la végétation (évapotranspiration). Ce bilan hydrique dépend également de l'hygrométrie de l'air, qui est une donnée cruciale pour la vie végétale et animale.

En fonction de leurs besoins en eau et, par conséquent, de leur répartition dans les milieux, nous pouvons distinguer différents types d'organismes :

Les organismes xérophiles, qui sont adaptés aux environnements secs et présentent des mécanismes spéciaux pour économiser l'eau.

Les organismes mésophiles, qui prospèrent dans des environnements modérément humides.

Les organismes hygrophiles, qui se trouvent dans des milieux humides et nécessitent un approvisionnement régulier en eau.

Ces adaptations et distributions spécifiques des organismes en fonction des besoins en eau soulignent l'importance des précipitations dans la structuration des écosystèmes.

- **Les espèces aquatiques** végétales ou animales vivent en permanence dans l'eau (exemple : poissons, phytoplancton, etc.) (**Dajoz, 2006**) ;
- **Les espèces hygrophiles** sont des espèces végétales ou animales qui ont besoin de

grandes quantités d'eau tout au long de leur développement. Elles sont inféodées aux milieux humides (exemple : nénuphars, amphibiens, lombrics, etc.) (**Dajoz, 2006**) ;

- **Les espèces mésophiles** sont des organismes qui se développent le mieux dans des conditions moyennes de température et d'humidité (exemple : rhizobium, azotobacter, etc.) (**Dajoz, 2006**) ;
- **Les espèces xérophiles** vivent dans les milieux chauds et secs où le déficit en eau est accentué (exemple : cactées, lichens, etc.) (**Dajoz, 2006**).

#### d. Le vent

Phénomène météorologique, il exerce une grande influence sur les êtres vivants. Il peut être localement un facteur écologique limitant dans certaines zones de montagnes ou littorales où son intensité est telle qu'il perturbe voire empêche la croissance des arbres. Sous l'effet des vents violents, la végétation est limitée dans son développement (nanisme, forme en drapeau, etc.) (**de Parcevaux & Huber, 2007**).

#### e. La neige

Facteur écologique majeur dans les régions boréales et à l'étage alpin des montagnes, la neige conditionne l'ensemble des biocénoses propres aux biotopes de la toundra<sup>3</sup> et de la taïga<sup>4</sup> (**Ramade, 2008**). En raison de sa structure lacunaire, une couche de neige constitue un excellent isolant thermique qui s'oppose à la diffusion vers l'atmosphère du flux de chaleur sensible provenant de la surface du sol (**de Parcevaux & Huber, 2007**).

La couverture neigeuse exerce une influence favorable sur la végétation et la faune des zones arctiques et montagnardes car elle constitue un manteau de protection contre les froids extrêmes. Les plantes herbacées ou buissonnantes (Chamaephytes), les petits mammifères et même des oiseaux trouvent une protection contre le froid en s'enfouissant sous le manteau neigeux (la température de l'air situé à l'interface avec le sol est légèrement au-dessus de 0°C). Alors qu'au-dessus de sa surface, les températures peuvent être au-delà de -20°C (**de Parcevaux & Huber, 2007 ; Ramade, 2008**).

### 2. 2. 2. Facteurs édaphiques

Constituant essentiel des écosystèmes continentaux, l'ensemble des sols, dénommé pédosphère, correspond à l'un des compartiments majeurs de la biosphère. Il résulte de l'interaction entre l'atmosphère et les couches les plus superficielles de la lithosphère. La formation du sol (pédogenèse) est le résultat d'un processus biogéochimique complexe marqué par l'action conjuguée de nombreux facteurs abiotiques et biotiques, parfaitement mise en évidence par *le triptyque : climat, sol, végétation*. Elle implique l'action initiale des facteurs

---

climatiques qui vont dégrader et dissoudre la roche-mère et permettre sa colonisation progressive par la végétation, dont la litière sera ensuite transformée en humus par l'action conjuguée de la pédofaune, de champignons saprophytes et de bactéries (Nentwig et al., 2009).

**a. Caractères physiques des sols**

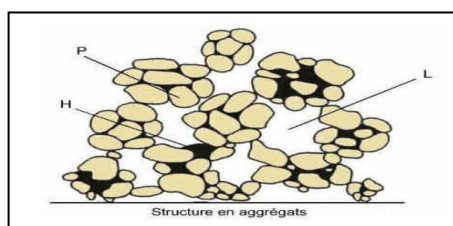
Les principaux facteurs édaphiques sont : la texture, la structure, l'hygrométrie, le pH et la teneur en éléments minéraux nutritifs. Tous les sols comportent *deux fractions distinctes, l'une minérale, l'autre organique*, intimement mélangées en un *complexe organo-minéral*.

**- Structures des sols**

*La structure désigne le mode d'assemblage ou d'agencement des particules ; elle s'observe et se décrit en deux niveaux : à l'échelle macroscopique, structure proprement dite, observable à l'œil nu ; à l'échelle microstructure ou micromorphologie (Lacoste & Salanon, 2006).*

La structure du sol fait référence à la manière dont les particules de sol sont agencées en agrégats ou en couches. Elle influence la perméabilité, la rétention d'eau, l'aération et la disponibilité des nutriments pour les plantes (Brady & Weil, 2008).

La structure détermine la répartition dans l'espace de la matière solide et des vides (ou pores) dont certains sont occupés par de l'eau, d'autres, les plus grossiers, par l'air. Cette répartition conditionne l'ensemble des propriétés physiques et biochimiques du sol : aération et possibilités de respiration des racines et de l'ensemble de la biomasse, rétention, par les forces capillaires, d'une réserve d'eau utilisable par les plantes, en période sèche, etc. (Duchaufour, 1997).



L'architecture édaphique dépend de l'état des particules qui la constituent. Si les particules les plus fines sont floculées, elles forment des agrégats en cimentant les éléments de grande taille entre lesquels existent des lacunes, ou pores qui permettent la circulation de l'eau et des gaz. À l'opposé, si les particules fines sont dispersées, elles ne délimiteront pas de système lacunaire. Les sols du premier type sont dits en agrégats (Fig. 2. 1), ceux du second particulaires. **La porosité** représente un paramètre édaphique essentiel qui combine texture et structure et peut se définir comme la proportion du volume des lacunes par rapport au volume total. De celle-ci dépend *la rétention et la circulation de l'eau et des gaz* dans les sols (**Dajoz, 2006 ; Ramade, 2008**).

*Figure 2. 1. Schéma mettant en évidence la porosité d'un sol due à la structure lacunaire qui délimite des pores permettant la circulation de l'eau et des gaz.*

*L = espaces lacunaires correspondant aux pores du sol, p = particules minérales,*

*H = ciment constitué par les colloïdes floculés du complexe argilo-humique.*

*(d'après Duchaufour, 1997)*

### **- La texture des sols**

La *granulométrie* ou *texture*, correspond à la répartition des minéraux par catégorie de grosseur (diamètre =  $\Theta$ ), indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux. Elle définit *leur degré de rétention et de restitution de l'eau* donc leur aptitude à être mis en culture (fertilité). Elle dépend de la nature des fragments de la roche-mère ou de minéraux provenant de sa décomposition (**Duchaufour, 1997**).

La texture du sol se réfère à la proportion relative des différentes tailles de particules, telles que le sable, le limon et l'argile. Elle influence la capacité de rétention d'eau, la perméabilité, la structure et la fertilité du sol (**Brady & Weil, 2008**).

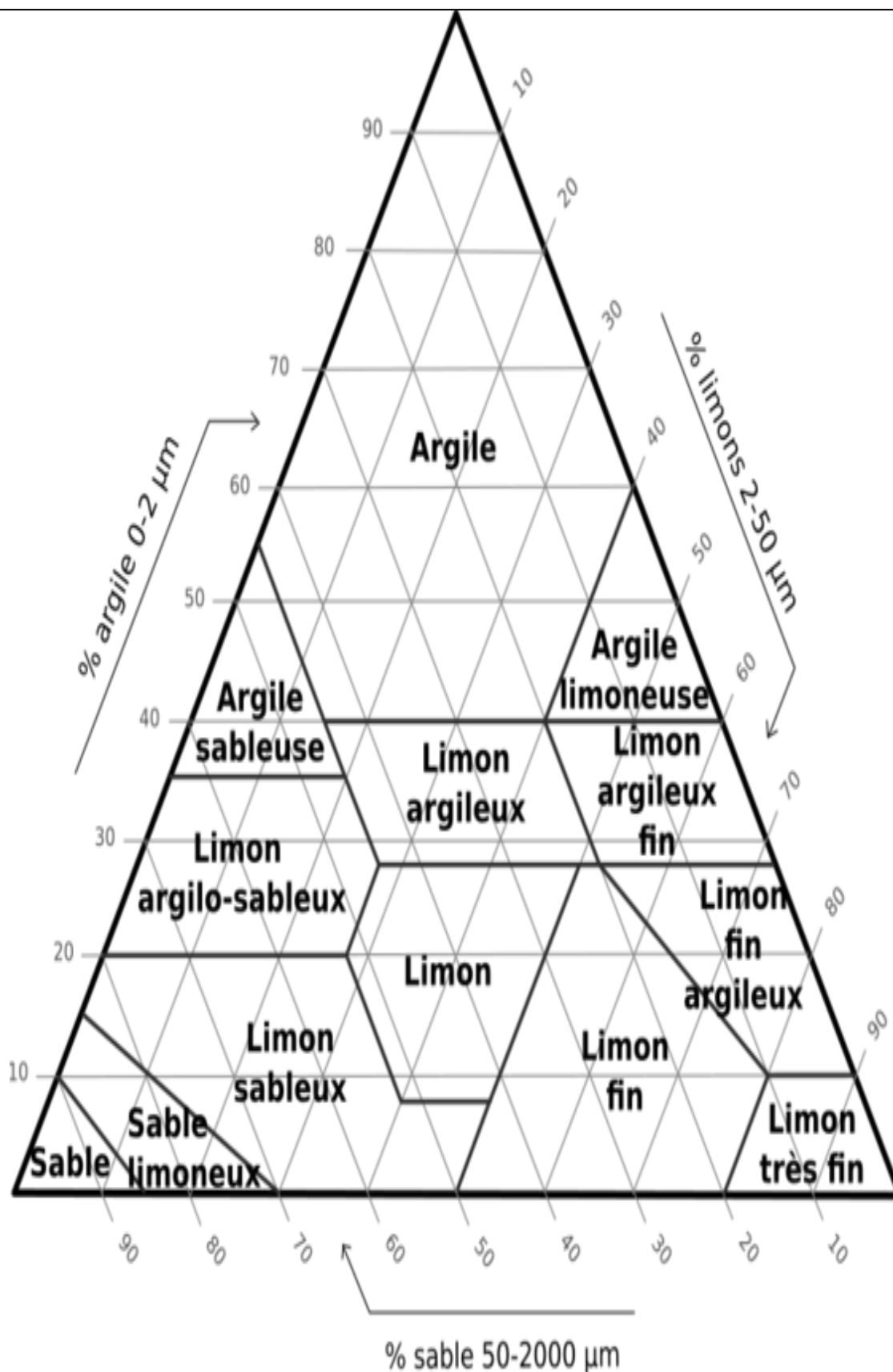
L'analyse granulométrique permet de distinguer des éléments grossiers : cailloux et graviers ( $\Theta > 2$  mm) ; sables : de 2 mm à 50  $\mu$ m (sable grossier : 2 mm à 0,2 mm ; sables fins : 0,2 à 50  $\mu$ m) ; limons (ou silts) : de 50  $\mu$ m à 2  $\mu$ m (limons grossiers : 50 à 20  $\mu$ m ; limons fins : 20 à 2  $\mu$ m) ;

---

fraction fine  $< 2 \mu\text{m}$  ; cette fraction est communément appelée « argile », ce qui est impropre, car cette fraction ne comprend pas seulement des argiles minéralogiques, mais souvent aussi d'autres minéraux (quartz, calcaire, silice, etc.). On divise souvent les argiles en fines, moyennes et grossières (**Duchaufour, 1997**).

**Classification des textures**

Cette classification est représentée à l'aide d'un triangle, appelé triangle des textures, dont les trois côtés correspondent respectivement aux pourcentages de sable, de limon et d'argile.



**Triangle des textures**

---

- *L'eau dans les sols (hygrométrie)*

L'eau du sol a une importance considérable ; d'une part elle intervient dans la nutrition des plantes, à la fois directement et indirectement, en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous et d'autre part, c'est un des principaux facteurs de la pédogenèse (Duchaufour, 1997).

**La capacité de rétention** de l'eau dans les sols dépend de **leur porosité**. Encore dénommée **humidité (hygrométrie)**, elle se mesure en pourcentage de la quantité d'eau contenue dans un sol par rapport à son volume total. La capacité de rétention de l'eau par les lacunes des sols dépend de la teneur en limons et en argiles, car c'est un **phénomène capillaire** : l'adsorption (phénomène physico-chimique par lequel une espèce chimique peut se fixer à la surface d'un solide à son interface avec l'air, l'eau et toute autre fluide gazeux ou liquide) est d'autant plus grande que la taille des particules est plus faible.

Toutefois, la disponibilité de l'eau pour les plantes ne dépend pas du seul volume total des cavités que refferment les sols, mais aussi de la taille des pores qui conditionne la **force de rétention capillaire** à laquelle l'eau est soumise. Un sol sablonneux retient mal l'eau car les forces capillaires y sont réduites (pores trop grands). À l'opposé, un sol argileux absorbe beaucoup d'eau mais ses intenses forces capillaires font qu'une fraction importante de cette eau ne peut être pompée par les racines des végétaux (**Frontier & Pichod-Viale, 1991 ; Duchaufour, 1997 ; Ramade, 2008**).

L'eau est présente dans le sol sous quatre états particuliers (Fig. 2. 2) :

- a. *L'eau hygroscopique* provient de l'humidité atmosphérique et elle forme une mince pellicule autour des particules du sol. Elle est retenue très énergiquement et elle ne peut être utilisée ni par les animaux ni par les végétaux.
- b. *L'eau capillaire non absorbable* occupe les pores du sol d'un diamètre inférieur à 0,2 mm. Elle est également retenue trop énergiquement pour pouvoir être utilisée par les êtres vivants.
- c. *L'eau capillaire absorbable* est située dans les pores dont les dimensions sont comprises entre 0,2 et 0,8 mm. Elle est normalement absorbée par les végétaux.
- d. *L'eau de gravité* à écoulement vertical se subdivise en deux parties : *l'eau de gravité à écoulement rapide*, qui circule dans les pores grossiers (> à 50 µm), dans les quelques

heures qui suivent les pluies ; *l'eau de gravité à écoulement lent*, qui descend lentement (souvent plusieurs semaines) dans les pores moyens de diamètre compris entre 50 µm et 10 µm : l'ensemble des eaux de gravité alimente le *drainage profond* (alimente les

nappes phréatiques), si le sol est perméable (Duchaufour, 1997 ; Dajoz, 2006).

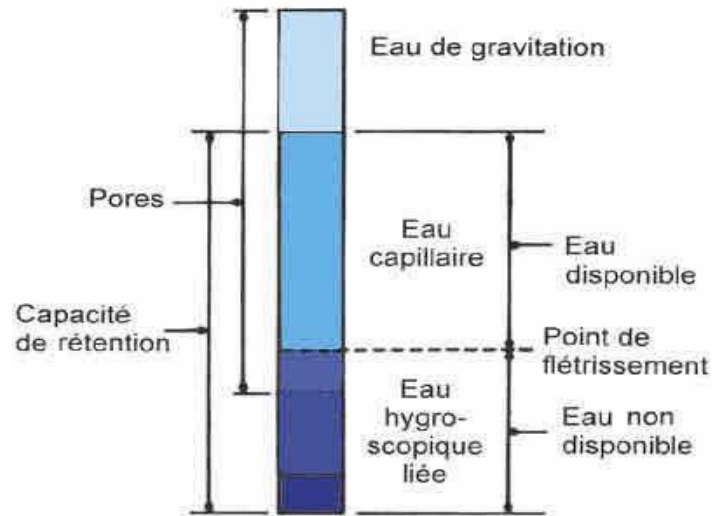


Figure 2. 2. Rétention de l'eau dans les sols : schéma représentant les diverses formes d'eau contenues dans le sol en fonction de leur degré croissant de rétention (Ramade, 2008).

L'eau dont la pression capillaire excède au moins 1/10e d'atmosphère représente la capacité de rétention du sol dite **au champ**, dont une fraction importante constitue l'eau disponible, que les végétaux peuvent extraire par aspiration (force de succion des racines des plantes  $\approx$  12 atmosphères) jusqu'à une quinzaine d'atmosphères (Ramade, 2008). Quand la pression capillaire du sol devient supérieure à cette valeur, les plantes atteignent leur **point de flétrissement**. La proportion d'eau disponible varie beaucoup selon le type de sol (Nentwig et al., 2009).

Maximale dans les sols limoneux où elle est de l'ordre de 25 %, elle est plus faible dans les sols sablonneux, qui se drainent facilement (pores trop larges) et argileux ou malgré une capacité au champ élevée, la faible taille des pores induit des forces de rétention capillaire considérable, supérieures à 15 atmosphères. En général les sols à particules fines possèdent un point de flétrissement permanent élevé, car les argiles retiennent plus d'eau que les sables et les colloïdes humiques (grosses molécules organiques) plus que les argiles (Dajoz, 2006).

### b. Caractères chimiques des sols

#### - Le pH des sols

Les sols peuvent être classés en fonction de leur pH, qui peut être acide, neutre ou basique en fonction de la valeur du pH de l'eau interstitielle. Les sols acides se forment généralement sur

des roches-mères acides, tandis que les sols neutres ou basiques se forment sur des roches riches en éléments alcalino-terreux, en particulier en calcium (**Coudurier et al., 2012**). Le pH du sol conditionne la nature des organismes qui peuplent un biotope terrestre. Certains organismes sont plus tolérants à une plage de pH plus large (organismes euryioniques), tandis que d'autres sont plus sensibles et ont besoin de conditions spécifiques (organismes stenoioniques). Parmi ces derniers, on trouve les acidophiles (par exemple, les plantes silicicoles), les basophiles (plantes calcicoles) et les neutrophiles. Ces organismes ont développé des adaptations spécifiques pour survivre et se développer dans des environnements caractérisés par des niveaux de pH particuliers.

### **Éléments minéraux des sols**

*Le phosphore* présent dans les sols à l'état de phosphates constitue généralement *un facteur limitant par suite de sa faible concentration*.

*L'azote* sous forme nitrique ou nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) représente avec les phosphates l'élément dont la disponibilité est la plus importante pour les végétaux autotrophes. Les bactéries du sol sont capables de minéraliser rapidement l'azote organique et le rendent disponible sous forme d'ammonium ou azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) et de nitrates.

*Le potassium* constitue aussi un élément nutritif essentiel pour les végétaux car seulement un petit nombre de minéraux en renferment des quantités appréciables.

*Le calcium* est un élément biogène. Bien qu'il ne soit pas un constituant de l'architecture des cellules des êtres vivants, il intervient dans celles-ci en neutralisant les acides organiques. Il est indispensable aux animaux pour constituer les tests (structure tégumentaire extra squelettique ou non, généralement de nature calcaire, parfois siliceuse, qui enveloppent divers organismes marins) et les coquilles d'Invertébrés, ainsi que le squelette des Vertèbres. Le taux de calcaire édaphique joue un rôle capital dans la répartition de nombreuses espèces végétales. Celles-ci sont dites *calcicoles*, *indifférentes*, ou *calcifuges* selon leur plus ou moins grande exigence en calcium.

*Le magnésium* représente après le calcium l'élément métallique le plus important chez les végétaux par suite de sa présence dans la molécule de chlorophylle. Il ne fait jamais défaut dans les sols par suite de son abondance dans de nombreux minéraux, en particulier dans les smectites, argiles qui constituent le complexe argilo-humique (**Ramade, 2008**).

### **2. 2. 3. Facteurs hydriques**

L'eau est un constituant essentiel de la biosphère où elle est représentée sous ses trois états : gazeux (vapeur d'eau), liquide (eau libre, gouttelettes en suspension dans les nuages et

brouillards) et solide (glace et neige). L'eau est aussi le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70 % de leur poids en moyenne) (**Ramade, 1998**).

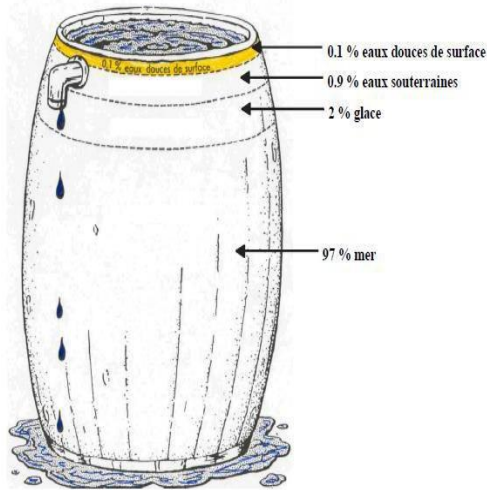


Figure 2. 3. Répartition des eaux dans le monde  
(Musy, 2005)

Vue de l'espace, notre planète est bleue car une grande partie de sa surface est recouverte d'eau. Mais cette répartition de l'eau à la surface de la planète est très inégale (Fig. 2. 3). Les océans occupent une superficie à peu près égale à 70 % de la surface globale et représentent 97 % de la masse totale d'eau dans la biosphère. Le reste se trouve sur les continents sous forme de neige, de glace, d'eau courante ou souterraine. Une infime partie est dans l'atmosphère sous forme de vapeur. Sur cette réserve d'eau douce plus des  $\frac{3}{4}$  sont immobilisés sous forme de glaces polaires (**Musy, 2005**).

L'eau présente un certain nombre de propriétés physiques et chimiques qui interviennent de manière déterminante dans ses interactions avec les êtres vivants :

*a. Propriétés optiques : lumière et transparence de l'eau*

Si l'eau nous apparaît comme un liquide transparent, c'est que, sous une faible épaisseur, de l'ordre du mètre, elle laisse passer toutes les longueurs d'onde composant la partie visible du spectre lumineux. Les rayonnements infrarouges sont totalement absorbés sous quelques centimètres d'eau, les ultraviolets sous quelques micromètres (Faurie et al., 2012).

Les eaux naturelles sont évidemment moins transparentes que l'eau pure dans la mesure où elles contiennent des substances dissoutes. Elles sont brunes lorsqu'elles contiennent des acides humiques provenant du lessivage des sols. Certaines eaux sont colorées par les éléments minéraux ou organiques en suspension. Dans la plupart des cas, la transparence des eaux est essentiellement dépendante de la densité des cellules phytoplanctoniques. Or, pour la réalisation du processus photosynthétique celles-ci absorbent de préférence les longueurs d'onde correspondant à la partie bleue du spectre et à un moindre degré à la partie rouge. Les radiations vertes ne sont pas utilisées (Faurie et al., 2012).

*b. Mesure de la transparence :*

La transparence de l'eau correspond à l'épaisseur de la couche d'eau que peut traverser le rayonnement solaire incident. La transparence (et son inverse la turbidité<sup>5</sup>) se mesure à l'aide du *disque de Secchi* dans les écosystèmes aquatiques (Ramade, 2008). C'est un disque métallique peint en blanc et noir, d'un diamètre de 20 cm, fixé à une corde graduée. Le disque est lesté (porte un poids) pour qu'il s'enfonce verticalement dans l'eau (Fig. 2. 4). On note la zone *Zs* à laquelle ce disque n'est plus visible (Faurie et al., 2012).

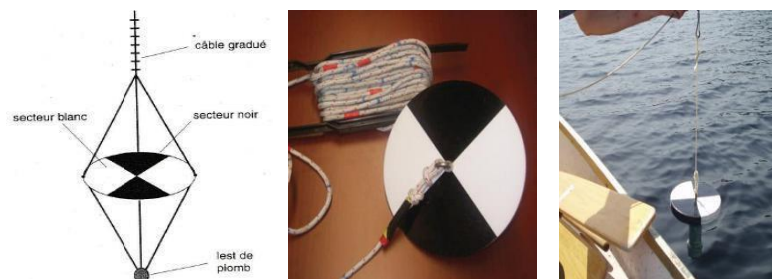


Figure 2. 4. Le disque de Secchi (Ramade, 1998 ; CRE Laurentides, 2016)

En écologie aquatique, on attache une importance toute particulière à la détermination de la profondeur à laquelle il ne parvient que 1 % de l'énergie lumineuse de surface. C'est en effet à

ce niveau Z 1 %, dénommé profondeur de compensation photonique que la consommation d'oxygène par les organismes hétérotrophes est égale à la production d'oxygène par le phytoplancton (Frontier et al., 2008 ; Faurie et al., 2012). Cela ne signifie pas que l'activité photosynthétique est nulle à partir de cette profondeur, mais simplement qu'au-dessous de ce niveau la production d'oxygène est inférieure à sa consommation alors qu'elle est supérieure à celle-ci entre la surface et Z 1 % (Soulard, 2007 ; Faurie et al., 2012).

L'activité photosynthétique est fréquemment décelable jusqu'à la profondeur Z 0,1 %. Cette limite permet de définir deux zones au sein de la colonne d'eau :

- une zone superficielle (Fig. 2. 5) comprise entre la surface et Z 1% où le processus photosynthétique, donc de synthèse de matière organique, est dominant, c'est la **zone trophogène** qui génère la nourriture (Soulard, 2007 ; Rubin, 2007 ; Faurie et al., 2012) ;
- une zone profonde (Fig. 2. 5) allant de Z 1% jusqu'au fond, où ce sont les processus cataboliques qui dominent, c'est la **zone tropholytique** où la matière organique est lysée (Soulard, 2007 ; Rubin, 2007 ; Faurie et al., 2012).

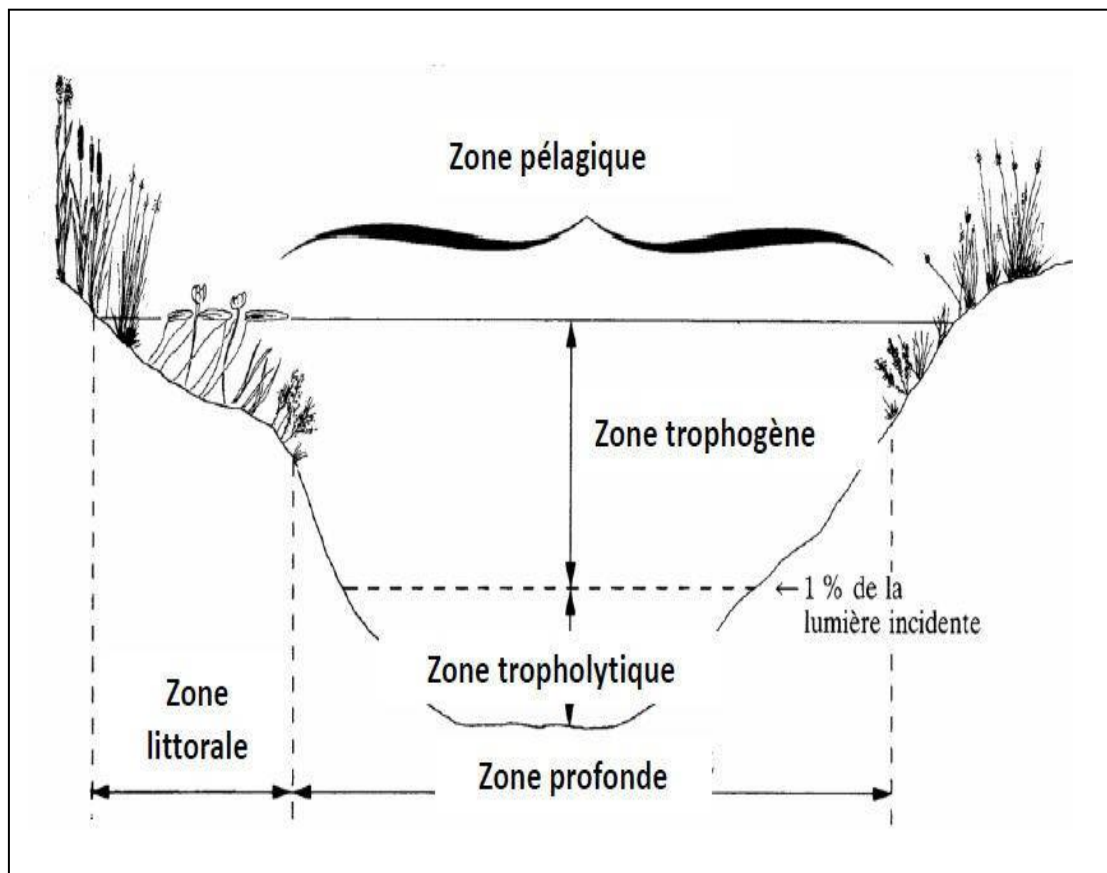


Figure 2. 5. Les diverses zones au sein de la colonne d'eau (Rubin, 2007)

---

L'eau renferme beaucoup d'éléments dissous :

*c. Les gaz :*

La solubilité des gaz atmosphériques dans l'eau dépend de la température du liquide et de la pression atmosphérique. La loi de **Henry** stipule en effet ***qu'un gaz est d'autant plus soluble dans l'eau que la pression atmosphérique est forte et la température est basse***. Les principaux gaz dissous sont l'oxygène, le dioxyde de carbone, l'azote et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>) (**Faurie et al., 2012**).

*d. La conductivité électrique :*

Elle est proportionnelle au degré de minéralisation (teneur globale en sels minéraux) de l'eau et varie en fonction de la température. On la mesure à l'aide d'une sonde ou d'un conductimètre. Elle varie selon la concentration ionique de l'eau. L'unité est le Siemens ou le micro Siemens par cm ( $\mu\text{S. cm}^{-1}$ ) (**Savary, 2003**).

*e. Les sels minéraux :*

— *Le chlorure de sodium (NaCl) :* les eaux marines représentent 97% des eaux mondiales ; le chlorure de sodium est donc l'élément minéral dissous le plus abondant sur la planète. La salinité totale des eaux marines est de 35 ‰, soit 3g.kg<sup>-1</sup> d'eau de mer, alors qu'elle ne dépasse pas 1 ‰ dans l'eau douce (**Faurie et al., 2012**).

*Le calcium et le magnésium :* ces deux éléments majeurs de la composition des roches abondent dans les eaux douces où ils sont apportés par lessivage. **La dureté totale** de l'eau traduit la teneur en calcium (Ca<sup>2+</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>). Elle s'exprime en mg.L<sup>-1</sup> ou en degré français (**Faurie et al., 2012**).

— *L'azote et le phosphore :* ils constituent ce qu'on appelle les **nutrilites** ou **nutriments** (*nutrients*). Éléments essentiels de la composition de la matière vivante. L'azote est présent, en plus de sa forme moléculaire N<sub>2</sub> déjà citée, sous cinq formes chimiquement différentes : les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), l'ammonium ou l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) - extrêmement toxique pour les organismes aquatiques - et l'azote organique qui se présente sous différentes formes chimiques (l'urée...).

Le phosphore est rencontré dans l'eau sous deux formes chimiques : les *orthophosphates* (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) et les composants des matières organiques (ADN, ATP, etc.) (**Faurie et al., 2012**).

*f. La matière organique :*

Elle est présente sous diverses formes. Elle peut être détectée dans l'eau et mesurée par diverses méthodes. Parmi ces dernières, nous citerons la **DBO<sub>5</sub>** et la **DCO** (**Faurie et al., 2012**).

La DBO<sub>5</sub> : demande biologique en oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique par les bactéries, au bout de 5 jours d'incubation. Cette méthode nous permet de mettre en évidence *la concentration en matières organiques biodégradables* (Rodier et al., 2009).

La DCO : demande chimique en oxygène. Elle se rapporte à *la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader l'ensemble des matières organiques oxydables, biodégradables ou non* (Ouali, 2001 ; Rodier et al., 2009).

### Remarques

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub>, nous permet d'avoir une idée sur la *biodégradabilité de la matière organique*.

Exemples : DCO/DBO<sub>5</sub> ~ 1 ⇒ Bonne biodégradabilité

DCO/DBO<sub>5</sub> ~ 1,5 à 2 ⇒ biodégradabilité moyenne

DCO/DBO<sub>5</sub> ~ 3 à 4 ⇒ biodégradabilité faible

#### *g. Le pH :*

Il caractérise l'acidité d'un milieu aqueux. Lorsque l'on provoque la dissociation de l'eau, on obtient soit les ions *hydroniums* (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) et les ions *hydroxyles* (OH<sup>-</sup>). Lorsque les premiers prédominent sur les seconds dans un milieu aqueux, ils confèrent à ce milieu un caractère acide. En sens inverse, lorsque les seconds sont en supériorité, le milieu a un caractère basique ou alcalin. Les valeurs du pH varient de 0 à 14 (Faurie et al., 2012).

### **2. 3. Facteurs biotiques**

De même qu'il existe au sein de chaque population des interactions de compétition ou de coopération entre les individus qui la composent, les différentes populations qui se côtoient dans un même écosystème ont entre elles, ou peuvent avoir, des interactions susceptibles de modifier leur dynamique ou d'orienter leur évolution. Toutes ces relations forment des réseaux complexes au sein des écosystèmes (Tirard et al., 2012).

#### **2. 3. 1. Les grands types d'interactions entre espèces**

Les relations directes entre deux populations d'espèces différentes peuvent être classées sur la base *des coûts et des bénéfices* pour les partenaires (Tab. 1).

Dans les relations de *prédation*, d'*herbivorie* ou de *parasitisme*, un des deux partenaires (prédateur, herbivore ou parasite) retire un bénéfice au détriment de l'autre (proie ou hôte). Les populations peuvent aussi entrer en relation de *compétition* pour l'utilisation d'une ressource, avec un effet négatif pour les deux compétiteurs. Une espèce A peut éliminer une autre espèce

B, quand elles coexistent. Tandis que l'espèce B n'exerce aucune action favorable ou défavorable sur l'espèce A (amensalisme). Enfin la relation peut être bénéfique pour l'un sans nuire à l'autre (*commensalisme*) ou être bénéfique pour les deux partenaires, on parle alors de *mutualisme* ou de *symbiose* lorsque l'interaction est tout à fait intime (Campbell & Reece, 2007 ; Ramade, 2008 ; Couvert & Teyssède-Couvert, 2010 ; Tirard et al., 2012).

Tableau 1. Interactions biotiques et effets sur les partenaires (Couvert & Teyssède-Couvert, 2010 ; Tirard et al., 2012)

Interactions	Partenaire A	Partenaire B	
Compétition	—	—	- : effet négatif ;
Prédation	—	+	+ : effet positif ;
Parasitisme	—	+	0 : aucun effet.
Commensalisme	0	+	
Amensalisme	-	0	
Mutualisme	+	+	

### 2. 3. 2. Interactions de compétition

La compétition interspécifique se manifeste quand deux espèces se disputent *des ressources* (nourriture, air, eau, lumière, chaleur, et espace occupé par les organismes fixes ou mobiles) *limitées*. Si deux espèces entrent en compétition pour une ressource, l'issue sera préjudiciable à l'une des deux espèces ou aux deux (-/-). Une forte compétition peut entraîner l'élimination locale de l'une des deux espèces concurrentes (Campbell & Reece, 2007).

Il existe deux types de compétition :

#### 2. 3. 2. 1. Compétition par interférence

Nous parlons de compétition par interférence lorsqu'il y a action directe entre les individus ou les populations en concurrence. Le mécanisme peut être *actif* (défense d'un territoire, d'une proie, etc.) ou *passif* (par l'intermédiaire de substances chimiques sécrétées) (Triplet, 2015).

#### 2. 3. 2. 2. Compétition par exploitation

La compétition résulte du fait que l'utilisation des ressources communes par l'un des concurrents diminue leur disponibilité pour l'autre sans qu'il y ait d'action directe (Triplet,

---

2015).

### 2. 3. 3. Interactions mangeur-mangé

#### 2. 3. 3. 1. La prédation

La prédation est une interaction +/- dans laquelle une espèce, le *prédateur*, tue et dévore une autre espèce, la proie (Campbell & Reece, 2007). Un *herbivore* est un individu qui se nourrit majoritairement de plantes. Contrairement aux proies animales, les plantes ne meurent en général pas de l'action de consommation, car elles sont capables de régénérer leurs organes (Tirard et al., 2012). Certains prédateurs (herbivores) sont *généralistes* - consomment une grande variété de proies- d'autres sont *spécialistes*. La spécialisation pour une espèce de proie ou de plante peut être vue comme un rétrécissement de la niche alimentaire (Frontier et al., 2008 ; Tirard et al., 2012).

La différence majeure entre *prédation* (herbivorie) et *parasitisme* réside dans *la durée de l'interaction*. Dans un *système proie-prédateur*, l'interaction entre l'individu-prédateur et l'individu-proie est instantanée ou quasi instantanée, au plus se prolonge-t-elle le temps de la poursuite ou de l'affût (endroit où l'on s'embusque pour attendre le gibier ; l'attente elle-même) et de la digestion (Tirard et al., 2012).

#### 2. 3. 3. 2. Le parasitisme

Le parasitisme est une interaction symbiotique +/- dans laquelle un organisme, le *parasite*, se nourrit aux dépens de son *hôte* et lui porte préjudice (Campbell & Reece, 2007). L'interaction se prolonge et l'hôte n'est plus seulement exploité comme source d'énergie, mais devient habitat. Le parasitisme est aussi différent de la prédation en ce qu'il n'entraîne pas forcément la mort de l'hôte. Mais en prenant de l'énergie, les parasites diminuent les performances (capacités) physiologiques de l'hôte : diminution de la résistance aux prédateurs (prédation et parasitisme sont liés) ou aux agents pathogènes, de la fécondité, de la densité de la population de leurs hôtes, etc. (Frontier & Pichod-Viale, 1991 ; Campbell & Reece, 2007).

#### 2. 3. 4. Interactions de coopération et de symbiose

Van Beneden (1875) propose le terme de *mutualistes* pour « *des organismes qui se procurent l'un l'autre des services* ». Selon les cas, une association de *mutualisme* entre espèces peut être *facultative* ou *obligatoire* (au moins pour l'un des deux partenaires), *transitoire* (ex : les mutualismes de pollinisation) ou *durable* (ex : la *symbiose*<sup>6</sup> *mutualiste* entre une algue et un champignon dans le cas des lichens).

Les bénéfices sont le plus souvent d'ordre trophique, un des deux partenaires favorisant l'accès

à une ressource, ou bien de défense contre les agressions de l'environnement biotique ou abiotique. Parfois, un des deux partenaires profite des capacités de locomotion de l'autre ; c'est le cas des plantes qui utilisent des insectes pour la dispersion de leur pollen ou de leurs graines (**Frontier et al., 2008**).

On différencie souvent le *commensalisme*, relation dans laquelle une forme de vie retire un bénéfice de l'association sans nuire à l'autre, du *mutualisme* ou de la *symbiose mutualiste* pour lesquels les bénéfices sont réciproques (**Tirard et al., 2012**). Les symbioses mutualistes sont omniprésentes. Certaines de ces associations sont d'une importance écologique majeure :

☞ *Les bactéries présentes dans les racines des légumineuses et d'autres plantes (Rhizobium)* : l'activité symbiotique des bactéries permet de fixer l'azote atmosphérique nécessaire aux plantes. En retour la plante fournit des sucres et de l'énergie, issus de la photosynthèse (**Laberche, 2010**).

☞ *Les champignons (mycorhizes) présents dans les racines des plantes* : ces mycorhizes favorisent l'absorption par les racines des éléments minéraux (en particulier P, Cu, Zn et N) et améliorent ainsi la nutrition de la plupart des espèces végétales (**Laberche, 2010**).

## 2. 4. Interactions entre le milieu et les êtres vivants

### 2. 4. 1. Rôle des facteurs écologiques dans la régulation des populations

La régulation des populations se rapporte aux mécanismes par lesquels les effectifs d'une population végétale ou animale sont contrôlés de sorte qu'ils ne peuvent pas excéder, sinon même atteindre pendant une période de temps quelque peu prolongée, la capacité limite du milieu (**Ramade, 2008 ; Triplet, 2015**). *La régulation* des populations est le fait à la fois de facteurs *abiotiques* et *biotiques*. Les premiers sont dits indépendants de la densité car ils provoquent un taux de mortalité déterminé pour une valeur donnée, quels que soient les effectifs. Les seconds sont au contraire dépendants de la densité car leur action sur la population dépend de ses effectifs. La disponibilité de nourriture, l'intensité de la prédation et la mortalité par maladie en sont des exemples bien connus (**Ramade, 2008**).

Les facteurs abiotiques sont aussi dénommés en démécologie des *facteurs catastrophiques* car ils n'agissent que dans des *circonstances exceptionnelles*, lors de grands froids ou de sécheresses extrêmes (**Ramade 2008 ; 2009**).

Les facteurs dépendants de la densité exercent une action plus fine au niveau de la régulation des effectifs. Ils interviennent de façon concomitante (simultanée) pour ajuster ceux d'une

population donnée au niveau de la capacité limite du milieu. Le rôle de la prédation et du parasitisme sont bien connus en ce sens (**Ramade, 2008 ; Tirard et al., 2012**).

La relation prédateurs-proie montre que le taux de prédation est rarement constant mais varie en fonction de la densité de la proie (*réponse fonctionnelle*) (Fig. 2. 6).

Cette dernière régulant de la même façon la densité des effectifs du prédateur au travers de la quantité de nourriture disponible (**Couvert & Teyssède-Couvert, 2010**).

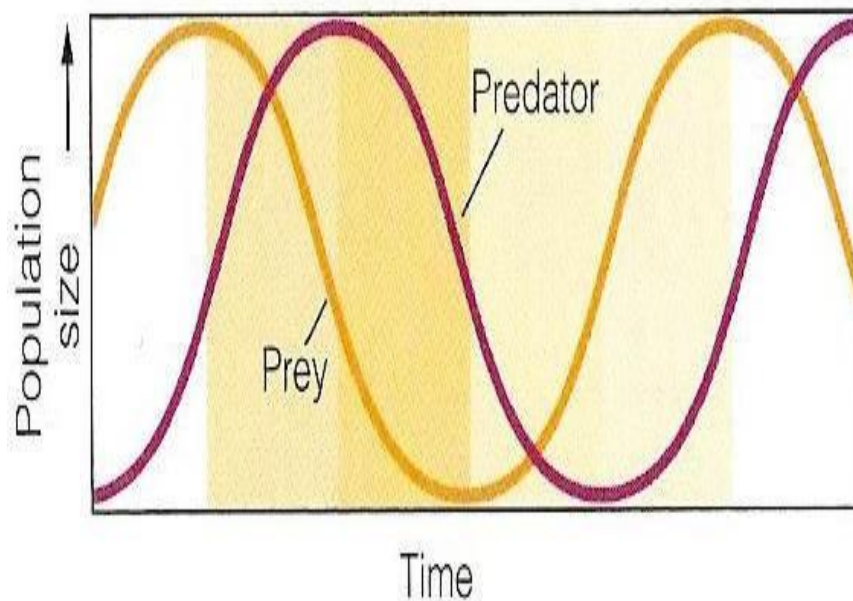


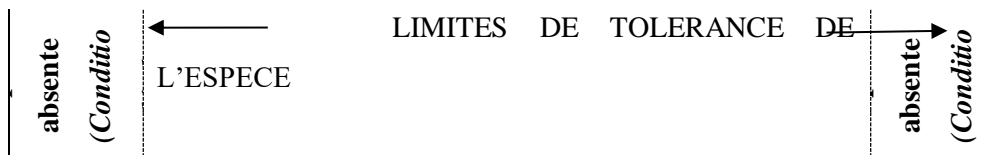
Figure 2. 6. Régulation des populations prédateurs- proies (loi de Lotka-Volterra<sup>7</sup>) (Prey = proie ; Predator = prédateur) (Ramade, 2008 ; Couvert & Teyssède-Couvert, 2010)

Les maladies constituent le dernier facteur important de régulation des effectifs des populations naturelles. Elles peuvent représenter un facteur catastrophique lors d'épidémies (**Ramade, 2008**).

#### 2. 4. 2. Loi de tolérance de Shelford (Fig. 2. 7)

Établie par Shelford Victor, écologue américain, la loi stipule qu'il existe pour *tout facteur écologique un intervalle dit de tolérance* pour lequel l'activité physiologique d'un organisme est possible, dont la valeur des bornes supérieure et inférieure dépend de l'espèce vivante considérée. En deçà et au-delà de ces bornes existe un domaine de valeurs du facteur où l'individu entre en torpeur (diminution de la sensibilité, de l'activité sans perdre de conscience ou vie ralentie) puis où la mort survient par défaut ou par excès du facteur considéré (**Ramade, 2008**).

La *tolérance* peut donc, être définie comme *l'aptitude d'un être vivant à supporter des facteurs écologiques abiotiques de valeurs extrêmes* (Ramade, 2008 ; Tirard et al., 2012).



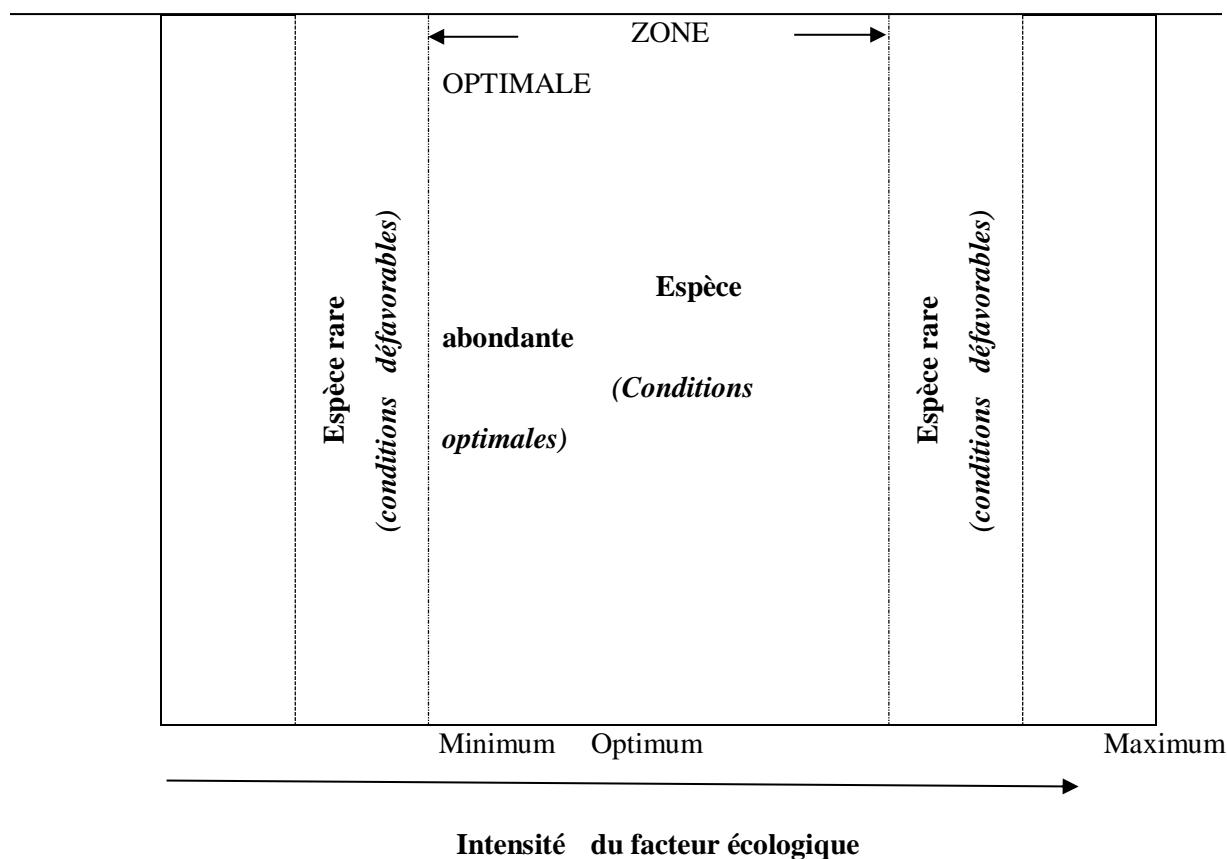


Figure 2. 7. Représentation graphique de la loi de tolérance de Shelford (Ramade, 2009)

#### 2. 4. 2. 1. Notion d'optimum écologique

L'*optimum écologique* correspond aux *valeurs des facteurs limitants* pour lesquelles un individu, une population ou une communauté présente une réponse écologique maximale (Ramade, 2008 ; Triplet, 2015).

#### 2. 4. 3. Valence écologique

La *valence écologique* désigne la *tolérance* d'une espèce vis-à-vis des *différents facteurs du milieu*. On dit qu'une espèce a une *très grande valence écologique* quand elle est *trèstolérante* par rapport aux *différents facteurs du milieu* et qu'elle peut *peupler des habitats trèsvariés*. On mesure la valence écologique par l'*amplitude de l'habitat*.

Par conséquent, une espèce de *forte valence écologique* pourra se développer dans des biotopes dont les *facteurs écologiques* pourront subir d'*importantes variations* ou *coloniser des*

*écosystèmes* présentant des *différences importantes* par rapport aux *conditions environnementales* moyennes des facteurs écologiques qui les caractérisent (espèce dite *Euryèce*). À l'opposé, une espèce de *faible valence écologique* ne pourra vivre que dans un habitat aux *conditions environnementales stables*, caractérisées par de *faibles variations des facteurs écologiques* limitants, car elle présente un *intervalle de tolérance très étroit* à ces facteurs (espèce dite *sténoèce*) ( **Sottiaux, 2008 ; Ramade, 2009 ; Triplet, 2015**).

#### 2. 4. 4. Loi du minimum ou loi de Liebig

Découverte dès 1840 par Justus Von Liebig, cette loi concernait initialement l'influence respective de différents éléments minéraux indispensables aux plantes cultivées. Elle stipule que le rendement d'une récolte dépend uniquement de l'élément nutritif qui est présent dans le milieu en moindre quantité. En d'autres termes ce sont les éléments déficitaires dans le sol qui conditionnent la production des cultures (**Sottiaux, 2008 ; Triplet, 2015**).

La loi du minimum, également connue sous le nom de loi de Liebig, est un principe fondamental en écologie qui a été formulé par le chimiste allemand Justus von Liebig (**Liebig, 1840**). Cette loi énonce que la croissance et le développement d'un organisme sont limités par la disponibilité de l'élément le plus limitant. En d'autres termes, si un facteur essentiel à la survie et à la croissance d'un organisme est présent en quantité insuffisante, il deviendra le facteur déterminant qui limitera la productivité et l'abondance de cet organisme, même si tous les autres facteurs sont présents en quantités adéquates.

La loi du minimum est d'une importance capitale pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes et l'interaction entre les organismes et leur environnement. Elle souligne que même si tous les autres facteurs environnementaux sont favorables, la limitation d'un seul élément essentiel peut avoir un impact significatif sur la productivité et la diversité des écosystèmes.

Cette loi a été étendue également aux phénomènes écologiques et stipule que ***tout processus biologique est conditionné dans sa rapidité et son ampleur par celui du facteur écologique qui est le plus faiblement représenté dans le milieu.*** Ainsi pour des faibles teneurs en CO<sub>2</sub> l'activité photosynthétique d'un végétal est pratiquement indépendante de l'intensité lumineuse et ne dépend que de la concentration du CO<sub>2</sub> (**Sottiaux, 2008 ; Ramade 2008 ; 2009**).

##### 2. 4. 4. 1. Facteur limitant

Un *facteur limitant* désigne un *facteur écologique* dont *l'absence ou la carence, réduit au-dessous d'un minimum critique ou s'il excède le niveau maximum tolérable*, entrave ou

---

empêche un *phénomène biologique* (la croissance ou le développement) ou la vie d'un organisme, ou de la population (Triplet, 2015).

C'est le cas de la température. Lorsqu'elle est très basse ou très forte, elle agit négativement sur les êtres vivants.

#### 2. 4. 5. Niche écologique

Les organismes d'une espèce donnée peuvent maintenir des populations viables seulement dans un certain registre de conditions, pour des ressources particulières, dans un environnement donné et pendant des périodes particulières. Le recoupement de ces facteurs décrit la niche, qui est la position que l'organisme occupe dans son environnement, comprenant les conditions dans lesquelles il est trouvé, les ressources qu'il utilise et le temps qu'il y passe.

Le terme de niche écologique, créé par Grinnell en 1917, a été en fait vulgarisé par Elton (1927). La *niche écologique* peut se définir de la façon la plus simple comme *la place et la spécialisation d'une espèce à l'intérieur d'un peuplement* (Tirard et al., 2012).

Elle correspond à l'ensemble des paramètres qui caractérisent les exigences écologiques (climatiques, alimentaires, reproductives, etc.) propres à une espèce vivante et qui la différencient des espèces voisines d'un même peuplement. Une confusion fréquente est faite entre niche écologique et habitat<sup>8</sup>. *La niche*, elle, représente la *fonction de l'espèce* dans un écosystème (Campbell & Reece, 2007 ; Ramade, 2008).

Dans tout écosystème, il est fréquent que de nombreuses espèces se rencontrent dans un même habitat voire occupent des microhabitats très voisins sinon identiques. En revanche, une étude détaillée de leur biologie confirme qu'elles occupent chacune une niche écologique bien distincte (Ramade, 2008).



# Chapitre III

### 3. 1. La biosphère

La biosphère, connue également sous le nom de sphère de la vie, peut être définie de manière concise comme la région de la planète où la vie est possible en permanence et qui englobe l'ensemble des êtres vivants. Elle est formée par la collection de tous les écosystèmes et représente le niveau le plus élevé de l'organisation du vivant (**Ramade, 2009 ; Faurie et al., 2012 ; Triplet, 2015**). En termes généraux, la biosphère peut être subdivisée en trois compartiments distincts :

☞ *La lithosphère*, terme pris au sens restrictif c'est-à-dire limité aux couches les plus superficielles de l'écorce terrestre constituant les roches mères des sols ou le plancher océanique ;

☞ *L'hydrosphère* constituée essentiellement par l'océan mondial, mais à laquelle se rattache aussi en principe les eaux continentales ;

☞ *L'atmosphère* qui est l'enveloppe externe et gazeuse, actuellement d'origine biologique pour une grande part (**Ramade 2008 ; 2009**).

#### 3. 1. 1. La structure de la biosphère

Les écosystèmes présents dans la biosphère peuvent être classés en deux groupes distincts :

Les écosystèmes terrestres, associés aux continents émergés (**Ramade, 2008**). Ils englobent une grande diversité d'habitats tels que les forêts, les déserts, les prairies, les montagnes et bien d'autres. Ces écosystèmes abritent une variété d'organismes terrestres, y compris des plantes, des animaux et des microorganismes adaptés à la vie sur la terre ferme.

Les écosystèmes aquatiques sont regroupés sous le terme global d'hydrosphère (**Ramade, 2008**). Cette composante de la biosphère peut être subdivisée en différents types d'écosystèmes.

Les écosystèmes limniques comprennent les fleuves et les lacs, tandis que les écosystèmes aquatiques littoraux englobent des habitats tels que les mangroves, les lagunes et les estuaires.

Les écosystèmes marins, quant à eux, occupent les océans et les mers. Ces écosystèmes aquatiques abritent une multitude d'organismes marins, y compris des poissons, des coraux, des algues et une grande variété d'autres espèces marines.

Dans les écosystèmes terrestres, on peut observer une zonation distincte des macroécosystèmes, qui sont des écosystèmes couvrant de vastes étendues géographiques sur les continents

## Chapitre III.

---

(**Ramade, 2008**). Des exemples de macroécosystèmes incluent le Sahara et la prairie nord-américaine. Ces macroécosystèmes présentent des biomes spécifiques, qui désignent les biocénoses propres à ces régions.

La distribution des biomes peut être analysée selon deux axes principaux. La zonation latitudinale correspond à la répartition des grands biomes depuis l'équateur vers les pôles, tandis que la zonation altitudinale décrit la répartition verticale des écosystèmes en fonction de l'altitude (**Couvert & Teyssède-Couvert, 2010; Greulich, 2016**).

### 3. 1. 1. 1. Zonation latitudinale

La biosphère comporte une structure spatiale complexe dans son organisation latitudinale, marquée par la plus grande irrégularité dans la répartition des continents et des océans. L'hémisphère boréal est caractérisé par la prépondérance des écosystèmes continentaux tandis que l'hémisphère austral est essentiellement océanique.

Malgré son organisation latitudinale profondément asymétrique, la biosphère présente une succession assez régulière en fonction de la latitude des macroécosystèmes continentaux.

En revanche, en milieu océanique à quelques exceptions notoires près, une telle zonation est moins apparente.

À l'échelle globale, les écosystèmes marins prédominent largement puisque l'océan mondial couvre à lui seul  $362. 10^6 \text{ km}^2$  soit plus de 71 % de la surface planétaire contre moins de 29 % pour les continents.

La répartition en altitude des biomes continentaux est essentiellement conditionnée par les facteurs climatiques, surtout les températures et les pluviométries moyennes, les autres facteurs abiotiques n'interviennent que dans une moindre mesure dans leur distribution (**Ramade, 2008 ; Sottiaux, 2008**).

### 3. 1. 1. 2. Zonation verticale

La zonation de la biosphère en altitude est encore mieux définie que ses subdivisions en latitude. Du fond des grandes fosses océaniques jusqu'au sommet des hautes montagnes, elle présente une succession de milieux très différents (**Ramade, 2009**).

#### *a. Zonation en profondeur de l'hydrosphère*

Le domaine océanique s'étend des fosses les plus profondes (– 11 000 m environ) au niveau 0

### Chapitre III.

(surface de la mer) (Fig. 3. 1). Sa profondeur moyenne est de 3 850 m. L'existence du *plateau continental*, zone marquée par une brusque rupture de pente (*talus continental*) situé vers – 150 m, permet de distinguer *une province néritique* (région de l'océan qui s'étend sur tout le plateau continental depuis le rivage jusqu'à la limite du talus continental) et *une province océanique*. Dans la première, la teneur des eaux en éléments nutritifs varie beaucoup selon l'importance des apports pluviaux et des autres facteurs. À l'opposé, dans la province océanique, qui s'étend au large des côtes au-delà de –150 m, les eaux présentent une grande constance physico-chimique. Elle occupe une surface égale aux 9/10<sup>e</sup> de la surface totale de l'océan. Plus importante encore au plan écologique est la distinction entre zone *euphotique* et *aphotique*.

☞ La zone dite *euphotique* est celle dans laquelle pénètre la lumière donc où la photosynthèse est possible. Tous les organismes autotrophes (algues, macrophytes et phytoplancton) se concentrent dans cette zone qui ne dépasse guère 100 m de profondeur en moyenne (Fig. 3. 1).

☞ Puis s'étend une zone *dysphotique* dans laquelle l'intensité de la lumière est trop faible pour induire la photosynthèse même chez les organismes les plus sciaphiles (espèce végétale qui ne se développe que sous un flux lumineux atténué, ou à l'ombre). On entre au-delà dans la zone *aphotique* qui correspond à la plus grande part du volume de l'hydrosphère.

On y rencontre essentiellement des espèces *hétérotrophes*, *détritiphages* – surtout des invertébrés, qui se nourrissent au dépend de la matière organique morte provenant des zones supérieures (**Ramade 2008 ; 2009**).

#### **b. Zonation en altitude de la biosphère continentale**

La zonation verticale des communautés terrestres apparaît très nettement dans les régions continentales au relief accentué (Fig. 3. 1).

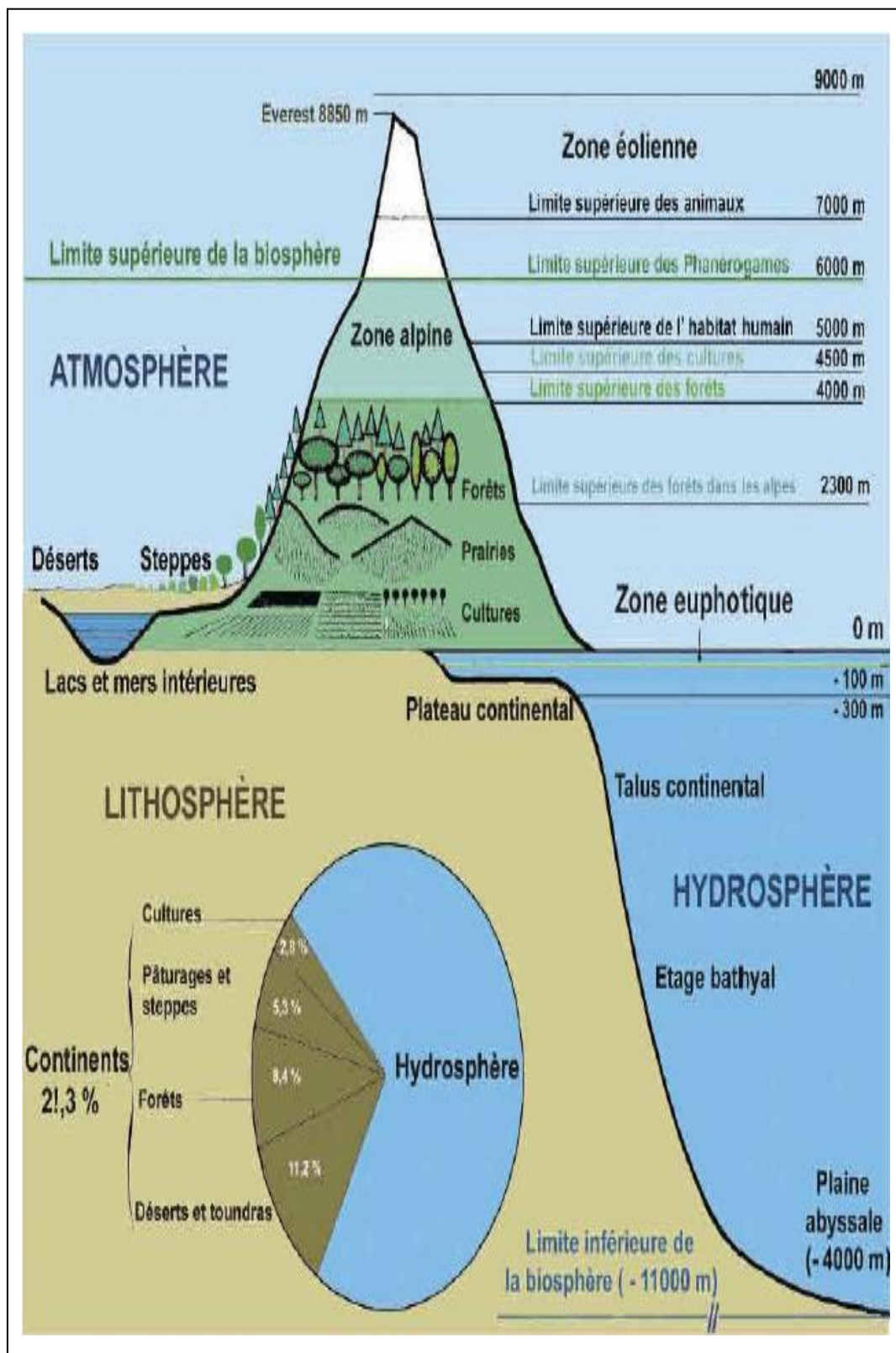


Figure 3. 1. Zonation verticale de la biosphère et répartition des macroécosystèmes (Ramade, 2008)

## Chapitre III.

À bien des égards, la répartition en altitude des communautés d'êtres vivants s'apparente (ou suit) la distribution latitudinale des grands biomes. L'extension maximale en altitude de la biosphère est atteinte dans les régions équatoriales et diminue progressivement quand on se dirige vers les hautes latitudes pour atteindre le niveau de la mer à la limite des régions polaires dont la limite des calottes glaciaires (*inlandsis*) constitue la limite naturelle de la biosphère. En fonction de la quantité de pluie et de la température, la répartition altitudinale de la végétation suit l'étagement suivant :

- ☞ **Étage collinéen** qui s'étend jusqu'à environ 1100 m d'altitude, constitué principalement de forêts à feuillus (charme, chêne et châtaignier) ;
- ☞ **Étage montagnard** qui s'étend de 1100 m jusqu'à environ 1700 m, constitué de forêts mixtes (hêtre et sapin) ;
- ☞ **Étage subalpin** situé entre 1700 à environ 2400 m d'altitude, constitué essentiellement de forêts de résineux (sapin et pin sylvestre) ;
- ☞ **Étage alpin** localisé entre 2400 m et 3000 m, formé essentiellement de pelouses alpines ;
- ☞ **Étage nival** situé entre 3000 m et 4000 m d'altitude où se trouvent les rochers, les neiges éternelles, les mousses et les lichens.

La limite supérieure des végétaux chlorophylliens se situe vers 6 000 m d'altitude dans les montagnes tropicales. Au-delà, on entre dans la *zone éolienne* (ou *nivale*) qui fait partie des zones *parabiosphériques*, c'est-à-dire qui limite la biosphère sans en faire partie (**Ramade 2008 ; 2009**).

### 3. 2. Structure de la chaîne trophique

Par son unité, son organisation et son fonctionnement, *l'écosystème* apparaît comme le *maillon de base de la biosphère*. Il est constitué par l'ensemble des êtres vivants (*biocœnose*) et du milieu dans lequel ils vivent (*biotope*) (**Ricklefs et al., 2005**).

Le *biotope* fournit l'énergie, la matière organique et inorganique d'origine abiotique. La biocœnose 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 (**Beaux, 2004 ; Frontier et al. 2008 ; Ramade 2008 ; 2009 ;**

## Chapitre III.

Faurie et al., 2012).

Une *chaîne trophique* ou *chaîne alimentaire* est une succession d'organismes dont chacun vit au dépend du précédent (Fig. 3. 2). Tout écosystème comporte un ensemble d'espèces animales et végétales qui peuvent être réparties en trois groupes : les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs (Beaux, 2004 ; Greulich, 2016)

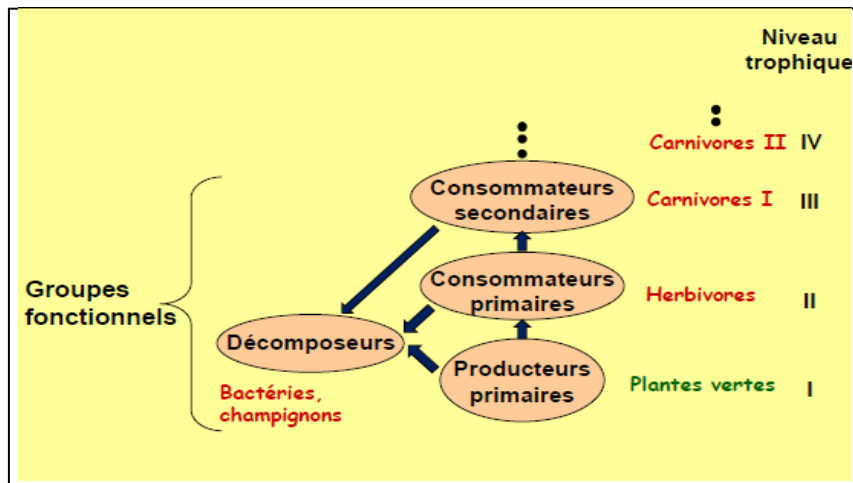


Figure 3. 2. Niveaux trophiques et organisation fonctionnelle de la biocénose (Greulich, 2016)

### 3. 2. 1. Les producteurs

Ce sont les végétaux *autotrophes photosynthétiques* (plantes vertes, phytoplancton : cyanobactéries ou algues bleus : organismes procaryotes). Ayant le statut de *producteurs primaires*, ils constituent *le premier niveau trophique de l'écosystème* (Fig. 3. 2). En effet, grâce à la photosynthèse (Fig. 3. 3) ils élaborent la matière organique à partir de matières strictement minérales fournies par le milieu extérieur abiotique (Arms & Camp Pamela, 1989 ; Greulich, 2016).

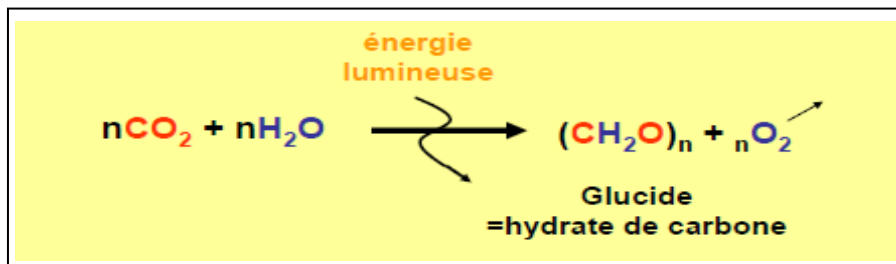


Figure 3. 3. La production primaire de molécules organiques par le processus de la photosynthèse (Greulich, 2016)

### 3. 2. 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 sont considérés comme des *producteurs secondaires*. 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 (Sottiaux, 2008 ; Greulich, 2016).

#### 3. 2. 2. 1. 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, etc.).
- **Consommateurs tertiaires (C3)** : Prédateurs de C2. Ce sont donc des carnivores qui se nourrissent de carnivores (oiseaux insectivores, rapaces, insectes, etc.).

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 (Arms & Camp Pamela, 1989 ; Sottiaux, 2008 ; Faurie et al., 2012).

#### 3. 2. 2. 2. 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, etc.* (Sottiaux, 2008).

#### 3. 2. 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*. Ils peuvent être résumés en :

☞ **Saprophyte** : organisme végétal se nourrissant de matières organiques en cours de décomposition. **Exemple** : Champignons.

### Chapitre III.

---

☞ *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.

### Chapitre III.

☞ **Coprophage** : animal qui se nourrit d'excréments. **Exemple** : Bousier (Sottiaux, 2008 ; Faurie et al., 2012)

*Producteurs primaires, consommateurs et décomposeurs sont liés par une chaîne alimentaire. Le caractère cyclique de la chaîne est assuré par les décomposeurs (Fig. 3. 4).*

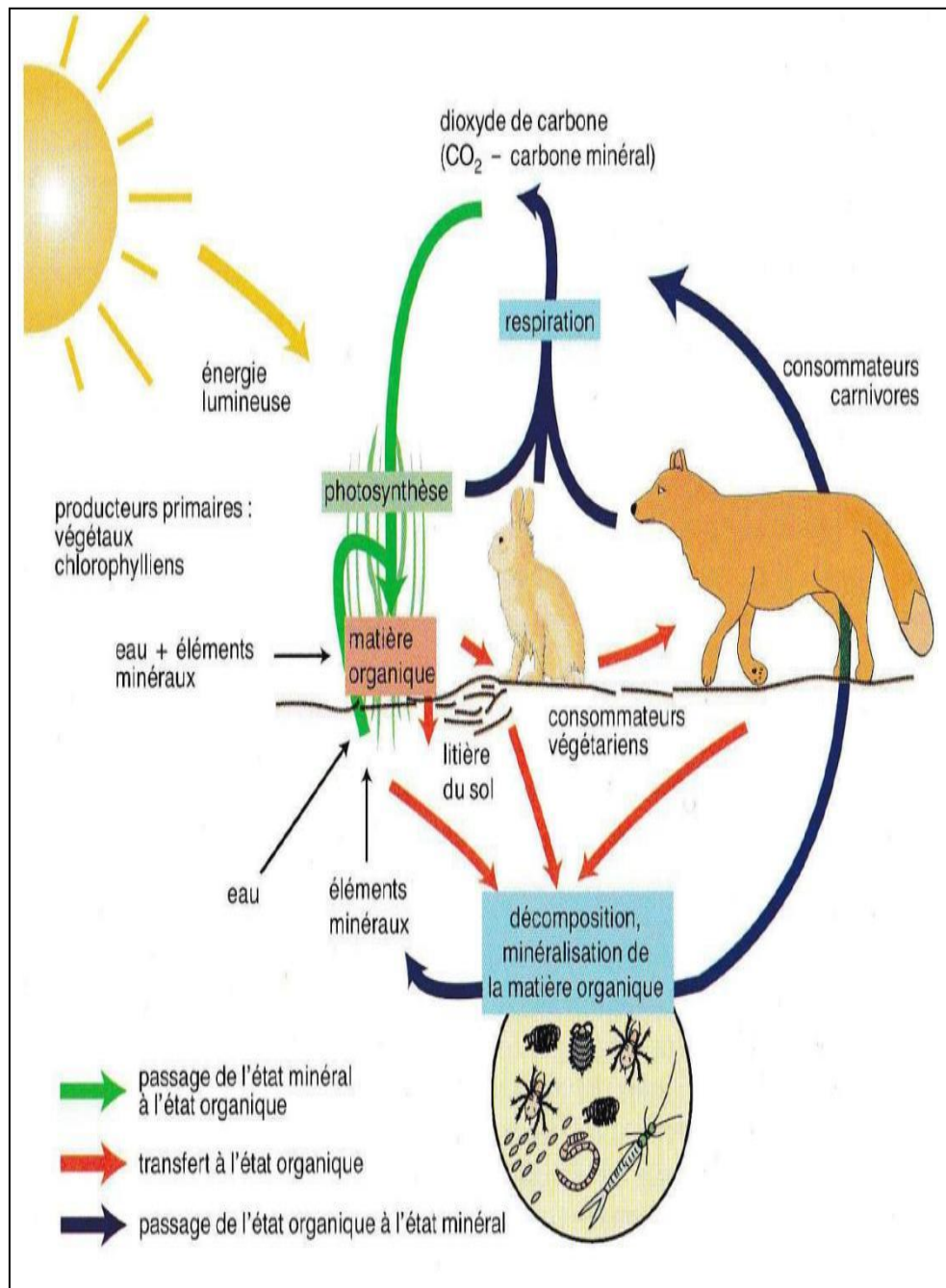


Figure 3. 4. Cycle de la matière, relations trophiques et groupes fonctionnels (Beaux, 2004)

**Chapitre III.**

---

**Chapitre III.**

---

# Chapitre IV

Un écosystème est constitué de l'interaction des facteurs biotiques et abiotiques qui le caractérisent ou, plus précisément, il est constitué du réseau de relations, d'interactions et d'interdépendances tissés entre les éléments qui le composent et qui permettent le maintien et le développement de la vie (UNESCO, 2017).

Il est traversé en permanence par un flux d'énergie qui actionne des transferts de matière entre le milieu physico-chimique et la biomasse, qui elle-même représente une forme transitoire de stockage de l'énergie. Il constitue une entité en équilibre dynamique susceptible d'évoluer en fonction des variations des facteurs ambiants, climatiques ou autres (Beaux, 2004 ; Ricklefs et al., 2005 ; Frontier et al., 2008 ; Ramade, 2008 ; Triplet, 2015).

Nous pouvons toujours distinguer trois catégories fonctionnelles d'organismes dans les écosystèmes :

☞ La première, celle des *producteurs primaires*, est constituée par l'ensemble des végétaux autotrophes qui effectuent la photosynthèse, le processus fondamental par lequel *l'énergie solaire est transformée en énergie biochimique*, en particulier en *glucides* qui sont « *les carburants* » des cellules vivantes (Lévêque, 2001 ; Barbault, 2008).

☞ La seconde catégorie est celle des *consommateurs primaires* (herbivores) et *secondaires* (carnivores), dits hétérotrophes car nécessitant une source d'énergie biochimique, donc issue initialement des végétaux, pour produire de la matière organique (croissance, reproduction). Les *consommateurs primaires et secondaires* sont donc *des producteurs de second niveau* ou *producteurs secondaires* (Lévêque, 2001 ; Barbault, 2008 ; Frontier et al., 2008).

☞ La troisième catégorie, celle des *décomposeurs*, également *hétérotrophes* et *producteurs secondaires*, est représentée par les champignons et les bactéries des sols ou des eaux qui dégradent l'ensemble des débris végétaux, des excréta et des cadavres d'animaux qu'ils finissent par minéraliser entièrement bouclant ainsi le cycle de la matière (Lévêque, 2001 ; Barbault, 2008).

*Ces trois types de chaînes alimentaires coexistent toujours dans un écosystème* avec des connexions souvent complexes, de telle sorte *qu'aucun maillon de la chaîne n'est isolé des autres*. La suppression d'un maillon pouvant provoquer des dégâts irréversibles comme la disparition inéluctable de certaines espèces (Lacoste & Salanon, 2006 ; Sottiaux, 2008 ; Ramade 2008 ; 2009).

#### 4. 1. Le flux d'énergie et le cycle de la matière dans la biosphère

Le fonctionnement des écosystèmes est soutenu par le flux d'énergie provenant du soleil et par le cycle de la matière, qui implique les échanges de nutriments entre les différents composants biotiques et abiotiques de l'écosystème (Odum, 1997).

*L'activité de tout être vivant est tributaire de l'énergie, tous les organismes ont besoin d'un apport continu d'énergie pour rester vivants (Lévêque, 2001). Il n'y a pas de vie sans énergie. Le seul intrant énergétique des écosystèmes est constitué par l'énergie solaire dont une fraction est transformé en énergie biochimique (matière vivante) par la fixation photosynthétique des autotrophes. À chaque étape de sa circulation dans les écosystèmes, une partie de l'énergie est transformé en travail cellulaire grâce à la respiration.*

La circulation de l'énergie et ipso facto celle de la matière s'effectuent dans les biocénoses au travers des chaînes trophiques (alimentaires), interconnectées sous forme de réseaux Trophiques.

Ces considérations permettent d'établir un diagramme général qui intègre flux de l'énergie et cycle de la matière (Fig. 4. 1) puisque dans les réseaux trophiques l'un et l'autre sont associés à l'état de biomasse consommée ou non par les hétérotrophes (Arms & Camp Pamela, 1989 ; Ramade, 2008 ; Tirard et al., 2012).

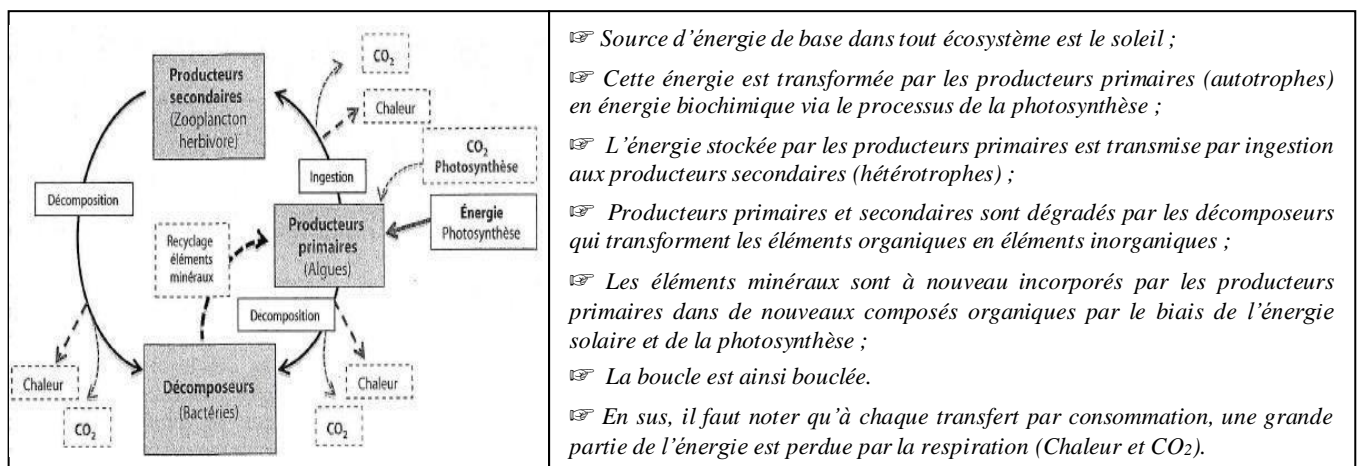


Figure 4. 1. Flux d'énergie et de matière dans un écosystème aquatique simple (Tirard et al., 2012)

#### 4. 2. Les différents types de chaînes trophiques

D'après Fischesser & Dupuis-Tate (2007), Sottiaux (2008) et Ramade (2008), il existe trois principaux types de chaînes trophiques linéaires :

#### 4. 2. 1. Chaîne des 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.

#### 4. 2. 2. Chaîne des 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) Pucés + (150) *Leptomonas* (protozoaires flagellés, parasites de certains animaux et de certaines plantes).

#### 4. 2. 3. Chaîne des 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.

#### 4. 3. Pyramides écologiques

La schématisation de la structure trophique d'un écosystème ou d'une chaîne alimentaire 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 présents dans chaque niveau trophique. On parle alors de pyramide des nombres, des biomasses ou des énergies (**Lévêque, 2001 ; Fischesser & Dupuis-Tate 2007**).

*En sus, il est important de noter que la pyramide écologique est associée à la loi des 10 %*, qui stipule que seule *une fraction de l'énergie* qui entre dans un niveau trophique est transmise au niveau trophique supérieur. Cette fraction n'excède pas les 10 % (**Exemple :** *si une souris mange 100 KJ de plantes vertes, seulement 10 KJ sont emmagasinés sous forme de nouveaux tissus*) (**Beaux, 2004 ; Fischesser & Dupuis-Tate 2007 ; Triplet, 2015**).

##### 4. 3. 1. Pyramide des nombres (Fig. 4. 2)

Correspond au nombre d'organismes à chaque niveau trophique dans un écosystème donné, avec les plus grands nombres illustrés par une plus grande surface pour cette partie de la pyramide. Dans la plupart des pyramides des nombres, les organismes à la base de la chaîne trophique sont les plus abondants ; chaque niveau trophique successif est occupé par un nombre moindre d'organismes (**Raven et al., 2009**).

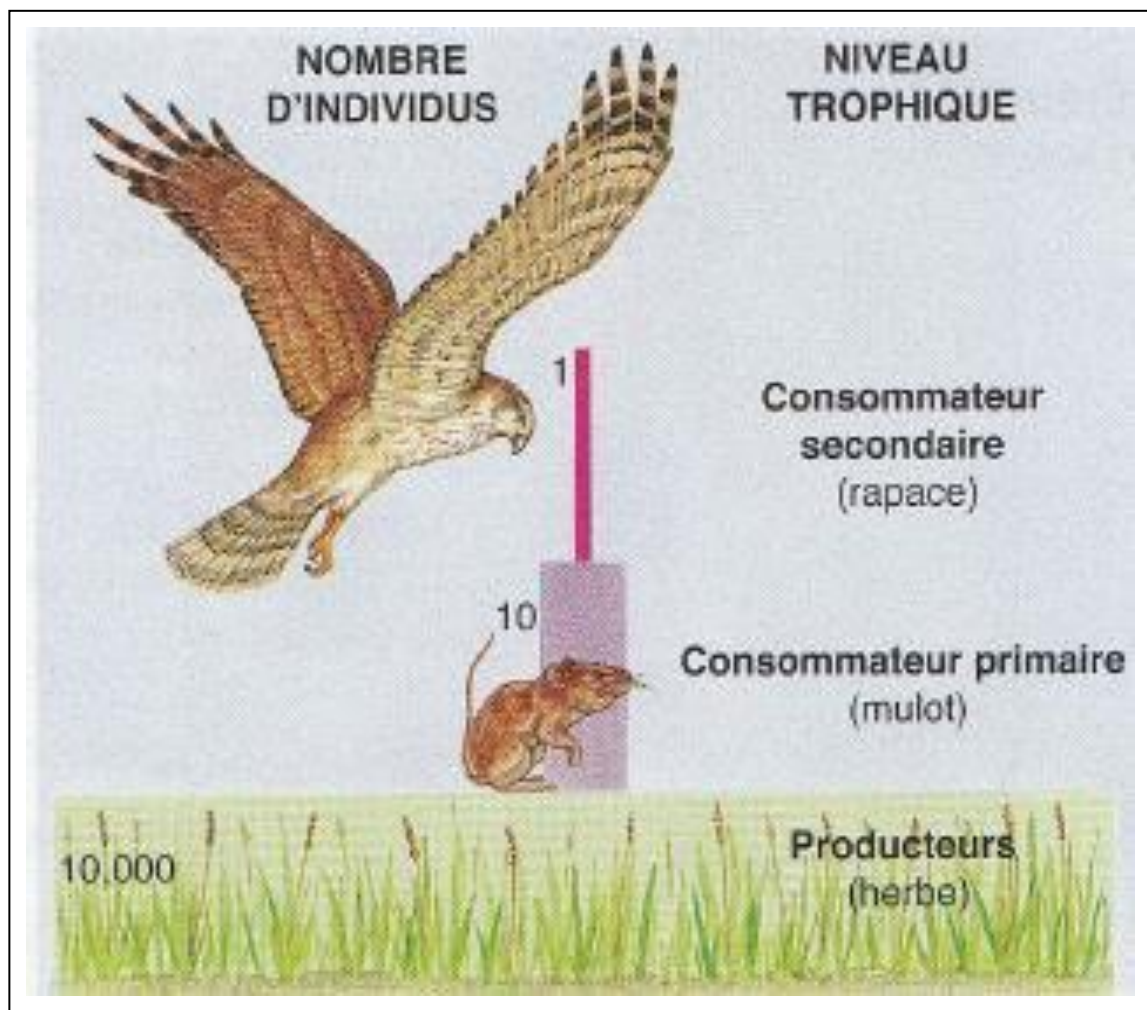


Figure 4. 2. Pyramide des nombres d'une prairie (Raven et al., 2009)

Autrement dit, quand on s'élève dans la chaîne alimentaire, les individus sont de moins en moins nombreux. Leur taille augmente et leur fécondité diminue.

Ainsi, par exemple, en forêt, on dénombre beaucoup moins d'arbres producteurs que d'insectes consommateurs (Fischesser & Dupuis-Tate 2007 ; Sottiaux, 2008).

#### 4. 3. 2. Pyramide des biomasses (Fig. 4. 3)

La pyramide des biomasses illustre la biomasse totale à chaque niveau trophique successif. **La biomasse** correspond à **la masse ou la quantité de matière organique vivante**, animale ou végétale, présente à un moment donné par unité de surface ( $m^2$ ) ou de volume ( $m^3$ ). Habituellement, les pyramides de biomasse montrent une réduction progressive de biomasse dans les niveaux trophiques successifs (Raven et al., 2009 ; Laberche, 2010 ; Triplet, 2015)

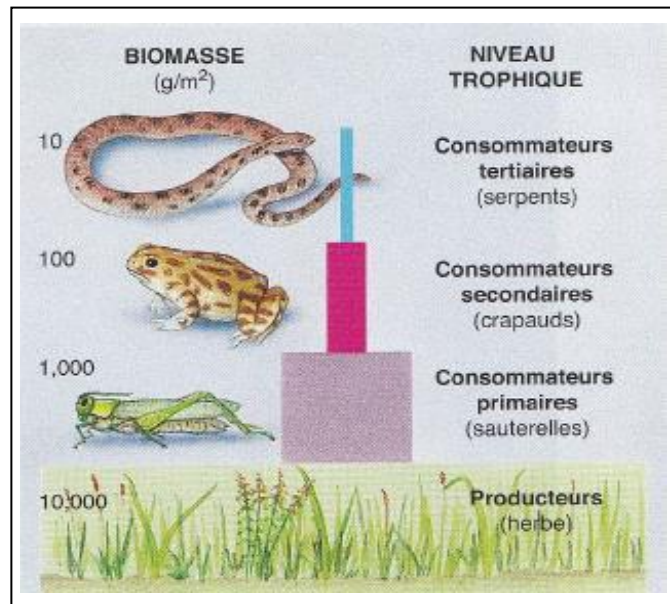


Figure 4. 3. Pyramide des biomasses (Raven et al., 2009)

Chaque niveau de consommation ne récupère que 10 % de la masse de son producteur.

Donc, la masse vivante de tous les organismes à chaque niveau trophique diminue vers le haut de la chaîne alimentaire (Ramade, 2008 ; Sottiaux, 2008 ; Laberche, 2010).

#### 4. 3. 3. Pyramide des énergies (Fig. 4. 4)

Chaque rectangle est proportionnel à l'équivalent en calories (ou en joules) de l'ensemble des individus d'un même niveau trophique. Cette représentation traduit les véritables flux d'énergie entre les différents niveaux. La quantité d'énergie disponible diminue au fur et à mesure que l'on monte d'un niveau trophique à l'autre ce qui se traduit par une réduction progressive de la masse organique. Autrement dit, 10 % seulement de l'énergie disponible à chaque niveau trophique sont convertis en nouvelle biomasse au niveau suivant (Lévêque, 2001 ; Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Campbell & Reece, 2007).

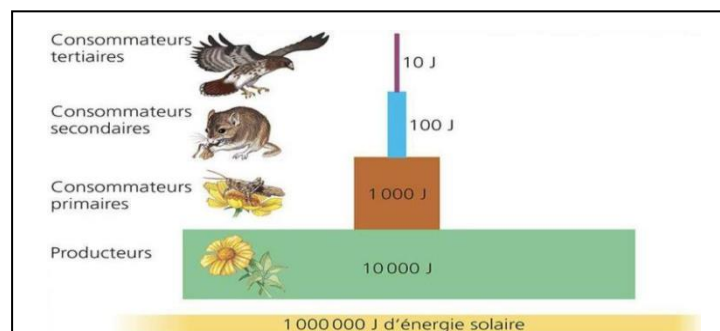


Figure 4. 4. Pyramide représentant le flux d'énergie existant dans chaque niveau trophique (Campbell & Reece, 2007)

#### 4. 4. Notion de productivité bioénergétique

En écologie, la *productivité* désigne la quantité de matière vivante (matière organique) élaborée par un niveau de la chaîne alimentaire par unité de temps, de surface ou de volume. Nous distinguons la production primaire (brute et nette), la production secondaire, la production tertiaire et la production quaternaire.

Les végétaux produisent une certaine quantité de matière organique par unité de temps, sous l'effet de la photosynthèse. Cette quantité produite est dénommée **Production Primaire Brute (PPB)**. Cette dernière correspond donc, à la mesure de l'activité photosynthétique. C'est la quantité totale de matière organique (exprimée en gramme de matière sèche, en quantité de carbone ou en équivalent énergétique) produite par les organismes autotrophes dans un laps de temps donné. (Lévêque, 2001 ; Fischesser & Dupuis-Tate, 2007 ; Triplet, 2018).

Mais en réalité, activité photosynthétique et respiration des organismes autotrophes sont deux réactions énergétiques inverses qui se produisent simultanément. Il en résulte que la quantité de matière et d'énergie disponible pour le premier niveau hétérotrophe est la **Production Primaire Nette (PPN)** : c'est la différence entre la PPB et la respiration (**R**) chez un organisme autotrophe (Lévêque, 2001 ; Beaux, 2004).

Donc, la *Productivité Primaire Nette* correspond à la *Production Primaire Brute* moins la quantité de matière vivante dégradée par la respiration (**R**).

$$\text{PPN} = \text{PPB} - \text{R}$$

La *production secondaire* correspond à l'*accroissement de la biomasse des hétérotrophes*, (herbivores, carnivores et décomposeurs), obtenu en une période de temps donné.

Les *hétérotrophes* sont donc des *producteurs secondaires* (herbivores), ou des *producteurs tertiaires*, (carnivores), ou des *producteurs quaternaires* (super carnivores), etc. Nous pouvons ainsi parler de *production tertiaire* ou de *production quaternaire*, selon les divers niveaux trophiques (Beaux, 2004 ; Barbault, 2008 ; Triplet, 2018).

#### 4. 5. 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 (PPB)**.

- ☞ Une partie de (**PPB**) est perdue par la **Respiration (R1)**.
- ☞ Le reste constitue la **Productivité Primaire Nette (PPN)**.
- ☞ Une partie de (**PPN**) sert à l'augmentation de la biomasse végétale avant d'être la proie des bactéries et des autres décomposeurs.
- ☞ Le reste de (**PPN**), 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)**.

Nous pouvons ainsi continuer le même raisonnement pour les carnivores (Faurie et al., 2012 ; Tanguy, 2019).

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, notion indissociable de celle de chaîne alimentaire** (Fig. 4. 5). 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 :  $PPB = PPN + R1$ .

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

Le flux d'énergie qui traverse le niveau trophique des consommateurs carnivores est :

$A2 = PS2 + R3$ .

*Plus on s'éloigne du producteur primaire, plus la production de matière vivante et ipso facto de la quantité d'énergie est faible (Barbault, 2008 ; Tanguy, 2019).*

*La chose la plus importante à retenir sur le flux d'énergie dans les écosystèmes est qu'il est linéaire ou à sens unique. L'énergie se déplace le long d'une chaîne ou d'un réseau trophique, d'un organisme à l'autre, tant qu'elle n'a pas été utilisée pour un travail biologique. Une fois qu'un organisme a utilisé de l'énergie, celle-ci est dissipée sous forme de chaleur et n'est plus disponible pour aucun autre organisme de l'écosystème (Raven et al., 2009)*

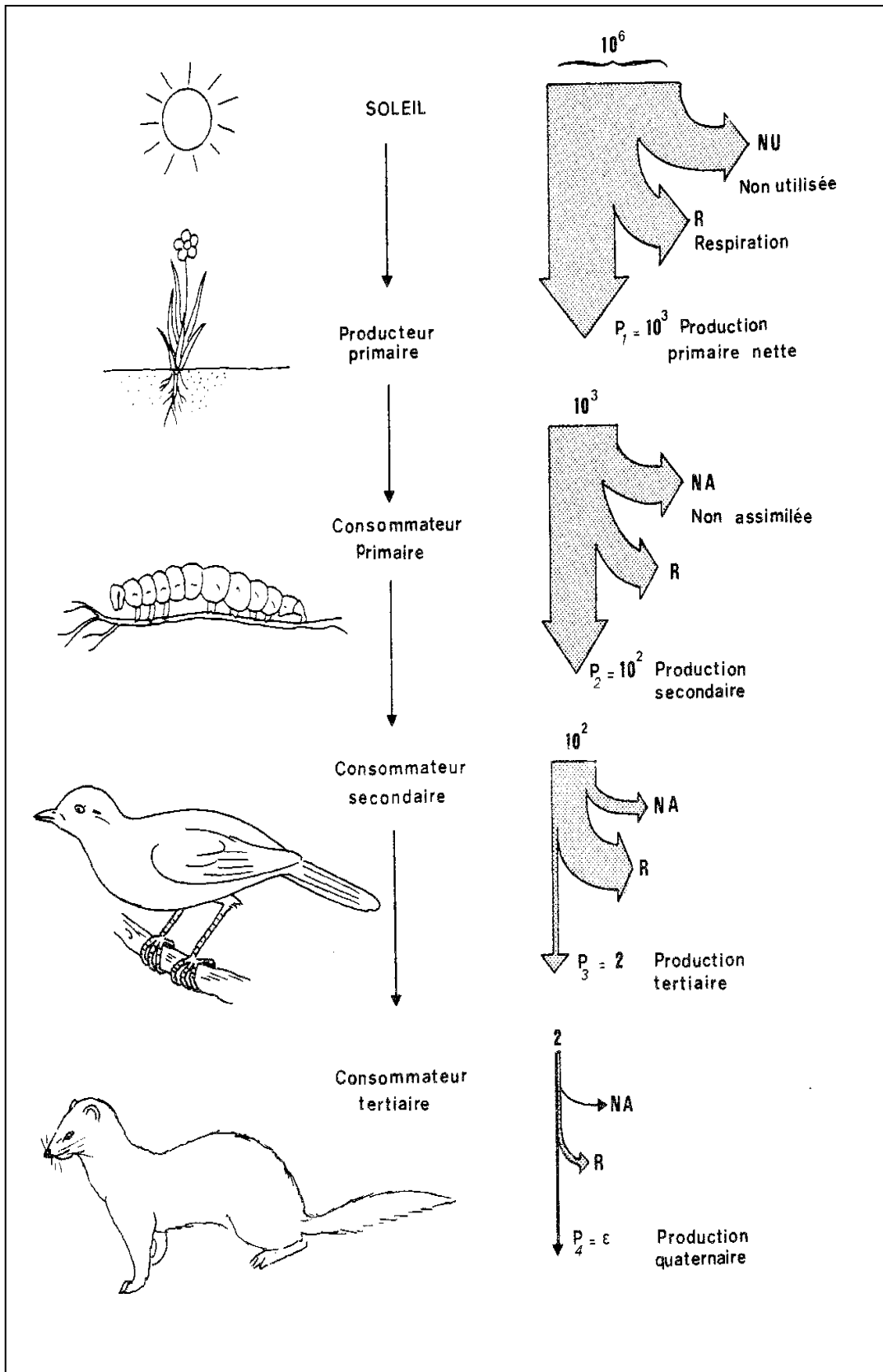


Figure 4. 5. Exemple schématique de chaîne alimentaire montrant le flux d'énergie de niveau trophique en niveau trophique (Barbault, 2008)

Les chiffres, qui expriment la quantité d'énergie entrante et sortante à chaque niveau, sont des approximations théoriques conformes aux données disponibles. Pour simplifier, il a été admis que l'énergie investie par chaque population dans la production ( $P_1, P_2, \dots$ ) est ingérée totalement par l'espèce de niveau suivant. Remarque l'ampleur des pertes d'énergie entraînées par chaque transfert d'un niveau au suivant.

#### 4. 6. Le rendement

À 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 types d'organismes, du point de vue bioénergétique, par leur aptitude à réaliser les divers transferts d'énergie de niveau trophique en niveau trophique. On appelle **rendement (ou efficacité) écologique**, le rapport de la production de la population de rang  $n$  (niveau trophique supérieur) à la production de la population de rang  $n-1$  (niveau trophique inférieur) (Barbault, 2008).

Ce rendement dépend (Fig. 4. 6) :

☞ **de l'efficacité (ou rendement) d'exploitation**, rapport de l'énergie ingérée (I) à l'énergie disponible (la production nette de la proie) ;

☞ **de l'efficacité (ou rendement) d'assimilation**, rapport de l'énergie assimilée (A) à l'énergie ingérée (I) ;

☞ **de l'efficacité (ou rendement) de production nette**, rapport de la production nette (P) à l'énergie assimilée (A) (Barbault, 2008 ; Faurie et al., 2012).

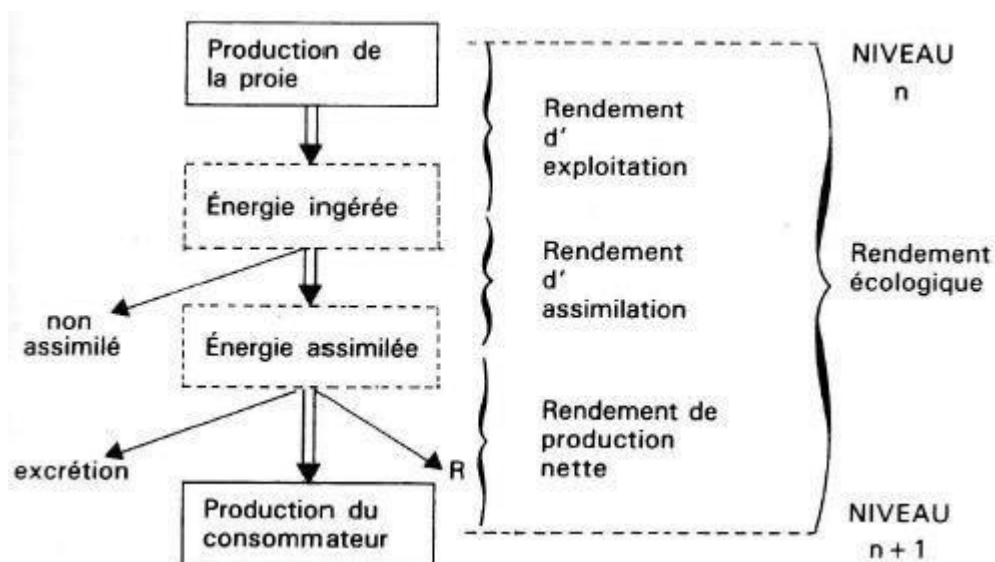


Figure 4. 6. Définition des principaux types de rendement ou d'efficacité énergétique utilisés en écologie (Barbault, 2008)

Enfin, nous pouvons dire que les bilans énergétiques des populations naturelles présentent

d'importantes différences dans la répartition de l'énergie (Fig. 4. 7). Cette perte est due à l'énergie consommée par le métabolisme et dissipée en chaleur (Barbault, 2008 ; Raven et al., 2009 et Tanguy, 2019).

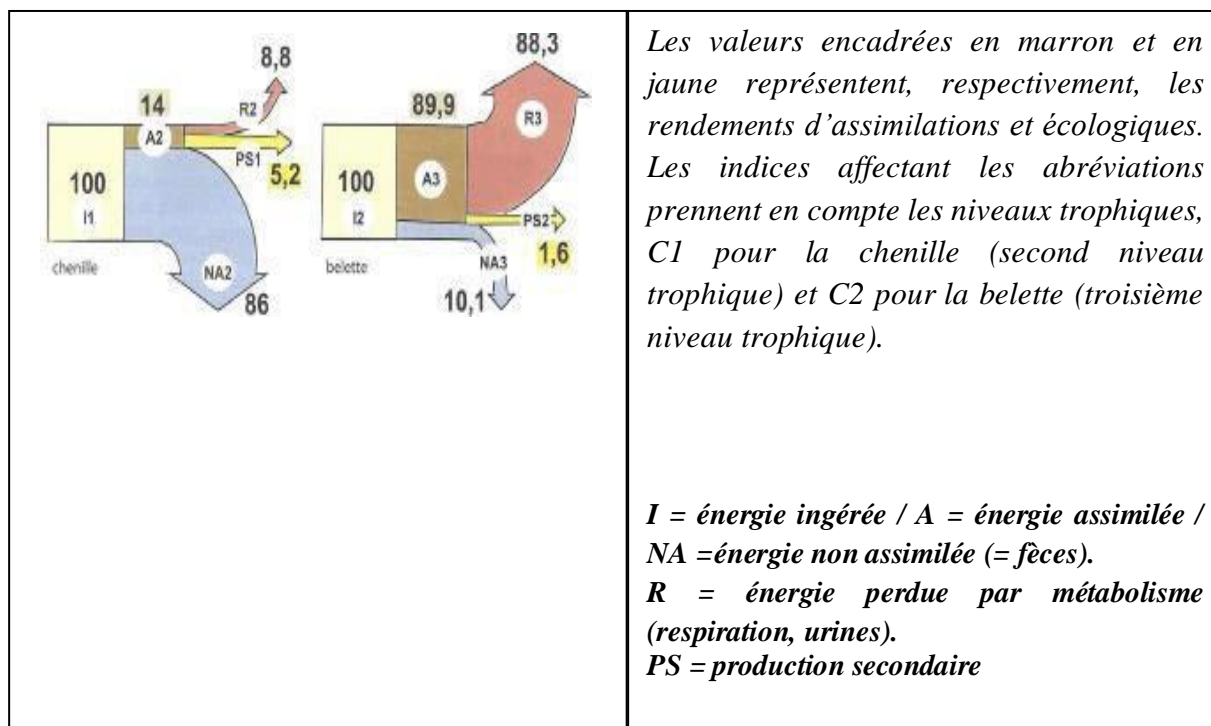


Figure 4. 7. Rendements écologiques d'une belette (carnivore) et d'une chenille (herbivore)  
 (Tanguy, 2019)

#### 4. 7. 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) ou *régulation ascendante* (Ramade, 2008 ; Triplet, 2018).

**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 terrestre dépend de la prédation exercée par les *niveaux trophiques supérieurs sur les niveaux trophiques inférieurs*. *C'est le contrôle top-down* (du haut vers le bas) ou *régulation descendante* (Ramade, 2008 ; Triplet, 2018).

**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.

#### 4. 8. 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) (Arms & Camp Pamela, 1989 ; Ramade 2008 ; Triplet, 2018). Les *cycles biogéochimiques* impliquent donc, des *interactions biologiques, géologiques et chimiques* (Raven et al., 2009).

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.). Dans ce chapitre, nous allons présenter que les cycles de l'eau, du carbone, du phosphore et de l'azote.

##### 4. 8. 1. Le cycle de l'eau

À l'échelle de notre biosphère, le cycle de l'eau permet que le faible pourcentage (environ 1 %) d'eau douce utilisable se renouvelle constamment. Sans ces minces ressources, champs et forêts flétriraient et le monde vivant disparaîtrait. *L'eau est donc perpétuellement en mouvement, circulant entre la mer, l'air et la terre en un cycle complexe animé par le soleil qui fournit l'énergie nécessaire à l'évaporation* (Fig. 4. 8).

Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore (*évaporation physique*). *L'évapotranspiration* joue un rôle également important dans le cycle de l'eau. Elle est assurée 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). Lorsque les nuages 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 (écoulement de surface)** : mouvement de l'eau sur ou dans les premiers horizons du sol (écoulement à la surface des sols), consécutif à une précipitation.

☞ **L'infiltration** : mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol, à travers les fissures naturelles des sols et des roches, assurant ainsi l'alimentation des nappes phréatiques.

☞ **La percolation** : mouvement de l'eau en profondeur dans les sols faisant suite à l'infiltration.

Ruissellement, infiltration et percolation assurent l'alimentation des cours d'eau qui restituent en dernier lieu l'eau à l'hydrosphère (Chémery, 2004 ; Beaux, 2004 ; Musy, 2005, deParcevaux & Huber, 2007 ; UNESCO, 2017).

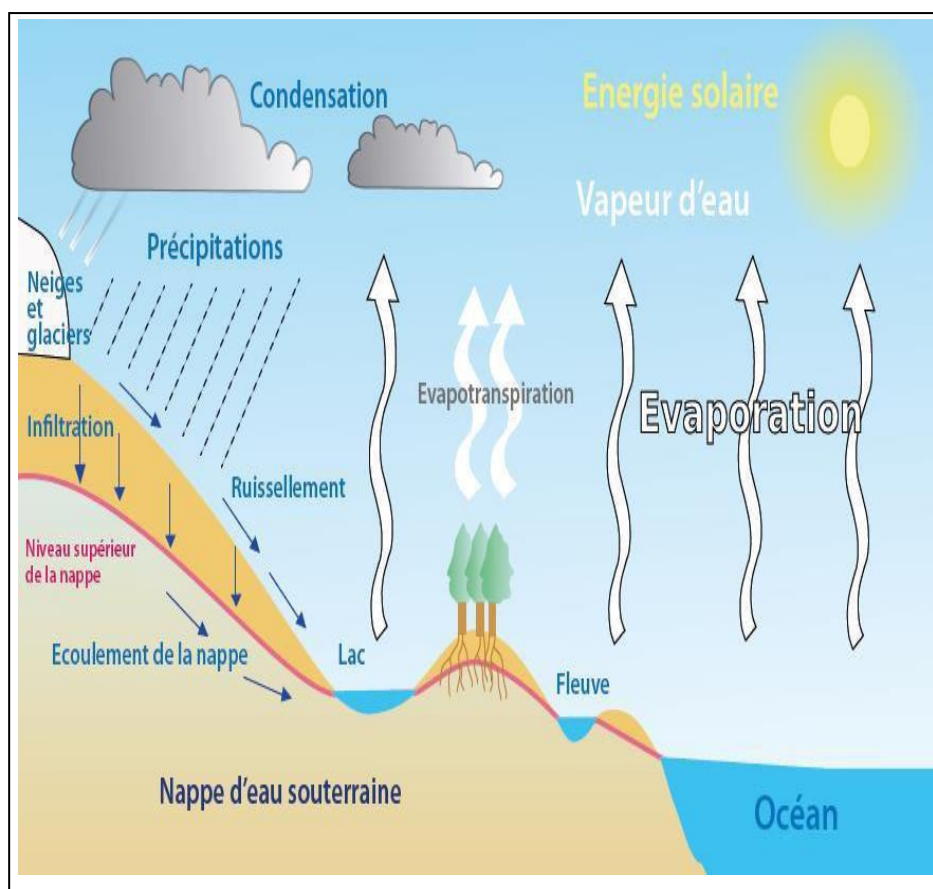


Figure 4. 8. Cycle de l'eau (UNESCO, 2017)

#### 4. 8. 2. Le cycle du carbone

Le carbone constitue la charpente des molécules organiques essentielles à tous les organismes. Son cycle est régulé par deux processus antagonistes : la photosynthèse et la respiration.

Le principal réservoir du carbone impliqué dans le fonctionnement de la biosphère est constitué par le CO<sub>2</sub> dissous (principalement le carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et le bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)) dans les mers et les océans (38 000 milliards de tonnes de carbone). Cependant, le réservoir atmosphérique (750 milliards de tonnes) est évidemment essentiel à l'existence des organismes terrestres. Ces réservoirs sont régulièrement alimentés par le gaz carbonique produit par la respiration des êtres vivants (combustion biologique) mais également par la combustion industrielle de quantités croissantes de charbon puis de pétrole.

Les échanges de CO<sub>2</sub> entre l'air et les biocénoses terrestres sont relativement rapides. Au contraire, ceux qui s'effectuent entre l'hydrosphère et l'atmosphère sont plus lents car l'océan mondial renferme un très important stock de CO<sub>2</sub> dissous (et de carbone particulaire). Le cycle s'effectue donc, de façon quasi autonome, dans la biosphère continentale et océanique. En plus de l'océan et de l'atmosphère, les principaux réservoirs de carbone sont les combustibles fossiles, les sols, les roches sédimentaires comme le calcaire, qui est composé essentiellement de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>), les sédiments dans les écosystèmes aquatiques, la biomasse des végétaux et des animaux et les éruptions volcaniques.

Lors de la respiration, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère après combustion d'un carburant, en présence d'oxygène.

Ce dernier est absorbé par les plantes (photosynthèse) et l'eau (dissolution). Photosynthèse et dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique (Fig. 4. 9).

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

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

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 d'autres 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 (**Campbell & Reece, 2007 ; Barbault, 2008 ; Ramade, 2008 ; Raven et *al.*, 2009 ; UNESCO, 2017**).

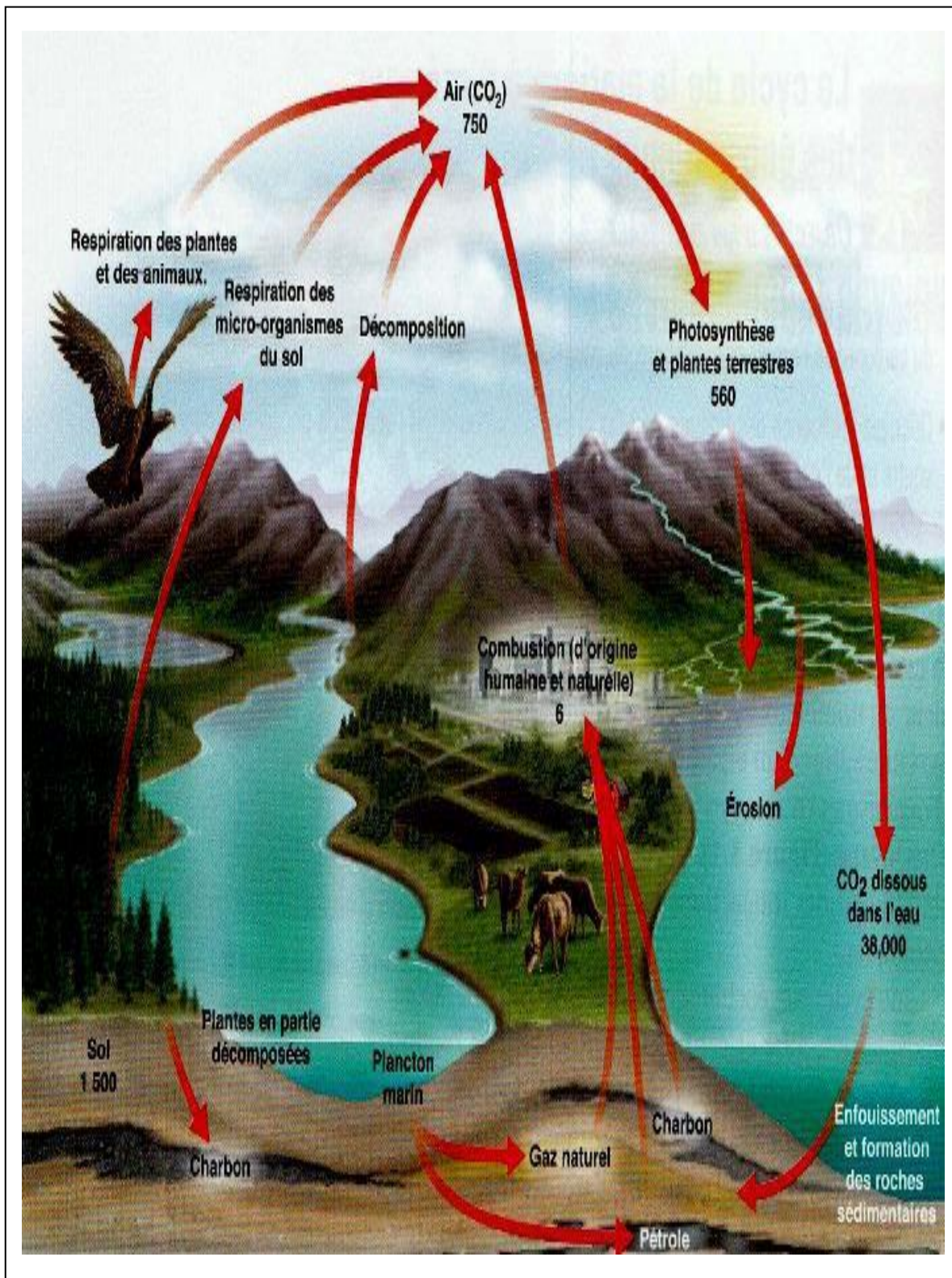


Figure 4. 9. Cycle du carbone (Raven et al., 2009)

(Les valeurs indiquées dans quelques réservoirs, les plus actifs du bilan total du carbone, sont exprimées en milliards de tonnes. Le sol par exemple, contient environ 1 500 milliards de tonnes de carbone)

### 4. 8. 3. Le cycle du phosphore

Le cycle du phosphore est unique parmi les cycles biogéochimiques majeurs car il ne possède pas de composante gazeuse ; il n'affecte pratiquement pas l'atmosphère (Fig. 4. 10). *Élément biogène assez rare dans la lithosphère* dont il ne constitue en masse qu'environ 0,1 % de sa composition élémentaire. Cependant, c'est *l'un des composants essentiels de la matière vivante* car il est indispensable à l'édification des nucléotides et donc des acides nucléiques ainsi que des adénylates énergétiques (ATP, ADP et AMP). Comme il se trouve en faible concentration dans les sols et dans les eaux naturelles, il constitue *le facteur limitant primordial de nombreux écosystèmes* dont il conditionne *ipso facto* la productivité. Le stock de phosphore minéral disponible est entièrement contenu dans la lithosphère où il se trouve surtout dans des roches ignées (roches produites par l'action du feu, exemple : apatites) et des dépôts sédimentaires (phosphorites, par exemple). Il est mis en circulation par dissolution dans l'eau interstitielle des sols et ensuite introduit par lessivage dans les eaux continentales. Le phosphore absorbé, par les végétaux autotrophes des divers écosystèmes, est transformé en phosphates organiques qui passent ensuite dans les réseaux trophiques des consommateurs puis des décomposeurs.

Ces phosphates, restitués aux sols et aux sédiments par les déchets végétaux, les cadavres et les excréta des animaux, sont attaqués par les organismes saprophages puis par les microorganismes décomposeurs pour être retransformés en orthophosphates minéraux ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Le phosphore est entraîné dans les cours d'eau par le ruissellement sous forme de phosphates dissous et particulaires, puis amené dans la mer. L'Océan mondial est donc perpétuellement fertilisé par les apports des eaux fluviales riches en phosphates, ce qui explique le fait que les eaux marines littorales et celles du plateau continental sont les plus productives de tout l'Océan.

*Le cycle du phosphore est malheureusement incomplet et ouvert* à l'échelle de la biosphère. Par suite de la sédimentation incessante de la matière organique au fond des abysses, en particulier des squelettes de poissons riches en phosphore car non consommés par les détritivores et les bactéries, cet élément s'accumule sans cesse au fond des océans dont 85 % de la surface totale correspond, rappelons-le, à l'étage abyssal !

Les phosphates ainsi déposés dans les grands fonds marins sont de la sorte retirés de la circulation biosphérique et ne peuvent plus être recyclés.

Le cycle du phosphore, lié à celui de l'eau, est entièrement de nature sédimentaire. Le sens général de sa circulation allant des continents vers l'océan, est ouvert car sa tendance générale est d'être extrait des roches superficielles des continents et transféré dans les sédiments

profonds des océans. Un retour partiel des phosphates des océans vers les terres émergées s'effectue par l'intermédiaire des oiseaux marins *ichthyophages* ou *piscivores* par le biais de gisements de guano. Sa fermeture se fait à l'échelle des temps géologiques, les phénomènes de surrection (mouvement ascendant) des chaînes de montagnes ramènent les dépôts fossiles de phosphates à la surface des continents (Campbell & Reece, 2007 ; Ramade, 2008, Triplet, 2018).

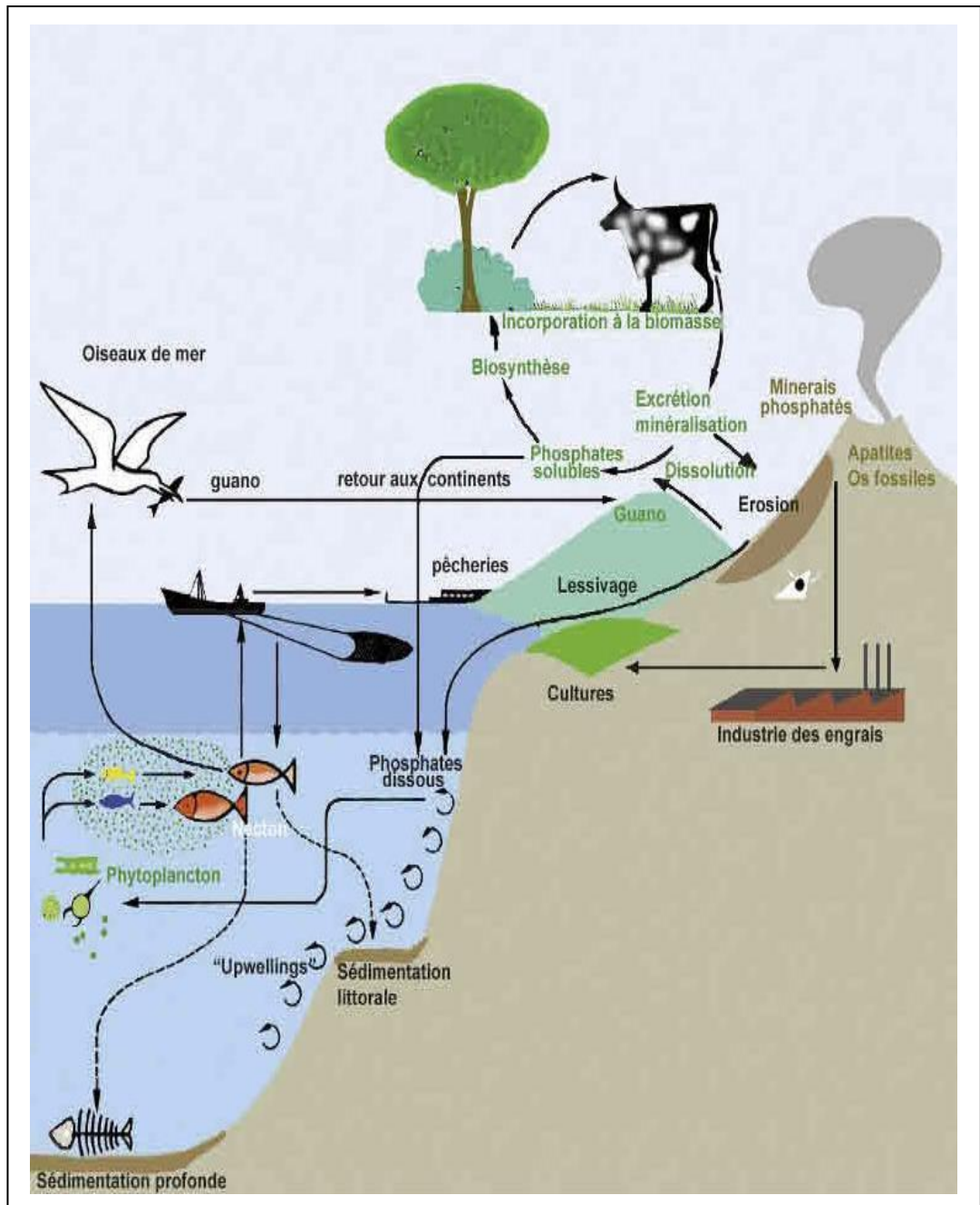


Figure 4. 10. Cycle du phosphore (Ramade, 2008)

#### 4. 8. 4. Le cycle de l'azote

L'azote est un composé de base, vital pour de nombreux processus biologiques dont la synthèse des acides aminés constituant les protéines et les bases nucléiques de l'ADN. L'atmosphère contient une grande quantité de diazote (79 % en volume), mais cet azote gazeux est très peu biodisponible pour la plupart des espèces. Seules quelques bactéries et cyanobactéries (principalement présentes dans le sol), telles que *Azotobacter vinelandii* peuvent fixer l'azote atmosphérique. Elles le font grâce à un enzyme, la nitrogénase qui est capable de casser la triple liaison  $N\equiv N$  qui rend l'azote gazeux si stable, mais uniquement dans certains contextes, car cette réaction de transformation d'azote atmosphérique en une forme assimilable par les organismes a un coût énergétique et métabolique élevés, et fait appel à d'autres éléments nécessaires à la biosynthèse de la nitrogénase.

Pour ces raisons, *l'azote biodisponible est un puissant facteur limitant* pour la production de biomasse algale et végétale, et donc pour la productivité de nombreux écosystèmes.

Les bactéries fixatrices de l'azote produisent de l'ammoniaque ( $NH_4OH$ ) à partir de l'azote atmosphérique et de l'hydrogène de l'eau (l'ammoniaque est le nom de la forme soluble dans l'eau du gaz ammoniac) (Fig. 4. 11). Certaines de ces bactéries, comme *Rhizobium*, *vivent en symbiose avec des plantes*, produisant de l'ammoniaque. Dans les sols bien oxygénés, mais aussi en milieu aquatique oxygéné, des bactéries transforment l'ammoniac ( $NH_3$ ) en nitrites ( $NO_2^-$ ), puis en nitrates ( $NO_3^-$ ), au cours du processus de *nitrification*. On peut décomposer cette transformation en *nitritation* et *nitratation*. En contrepartie de ce service, les plantes symbiotes fournissent des glucides aux bactéries (dans la rhizosphère).

La décomposition d'organismes morts (nécromasse) par des bactéries saprophytes sous forme d'ions ammonium ( $NH_4^+$ ) est une autre source d'ammoniaque.

Les végétaux absorbent (au travers des feuilles pour certaines plantes aquatiques et sinon via les racines les ions nitrates ( $NO_3^-$ ) et, dans une moindre mesure, l'ammonium présent dans le sol. Ils seront principalement incorporés dans les acides aminés et les protéines. Les végétaux constituent ainsi la source primaire d'azote assimilable par les animaux.

En milieu anoxique (sol ou milieu aquatique non oxygéné), des bactéries dites *dénitrifiantes* transforment les nitrates en gaz diazote ( $N_2$ ), c'est la *dénitrification*.

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

---

l'azote gazeux.

L'azote nitrique ainsi élaboré par ces nombreux micro-organismes terrestres ou aquatiques est finalement absorbé par les végétaux, amené dans les feuilles et transformé en ammoniacque, grâce à une enzyme spécifique, la nitrate-réductase. Ensuite, l'ammoniacque est transformé 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 ( $\text{NH}_4^+$ ) 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 nitrites,  $\text{NO}_2^-$ , c'est la *nitritation*, puis les Nitrobacter le transforment en  $\text{NO}_3^-$ , c'est la *nitratation*. L'ion nitrate  $\text{NO}_3^-$  est alors absorbé par les végétaux.

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

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

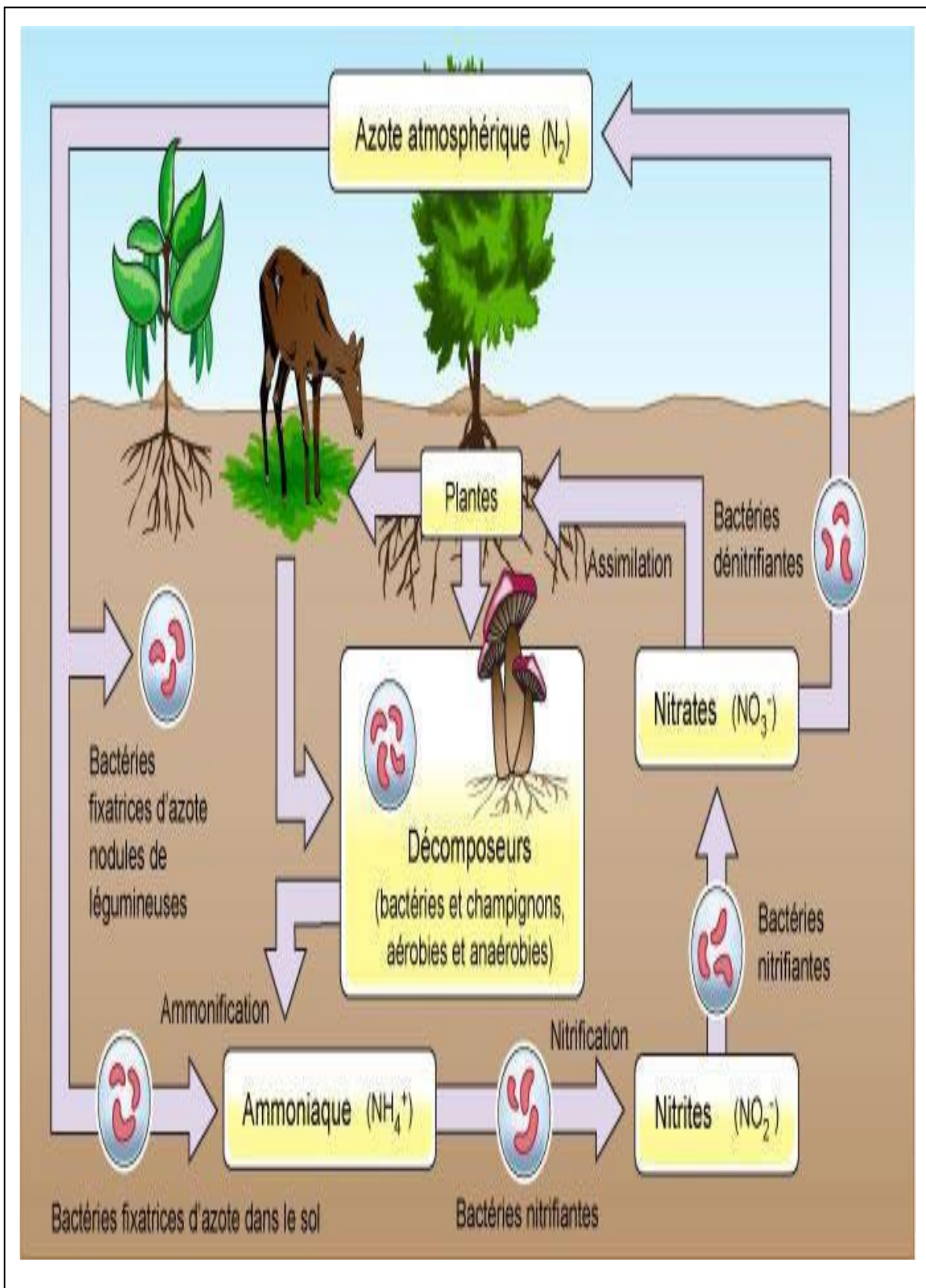


Figure 4. 11. Cycle de l'azote (UNESCO, 2017)

4. 9. Impacts des activités anthropiques sur l'équilibre des écosystèmes

L'intervention de l'homme au niveau du milieu naturel a, généralement, des conséquences négatives sur l'écosystème. Ce dernier peut être sujet à des perturbations plus ou moins graves selon l'ampleur de l'activité anthropique.

Actuellement, la majorité des écosystèmes et *ipso facto* toute la biosphère subit une pression anthropique, sans précédent. Les extraordinaires progrès technologiques ont eu beaucoup de bienfaits sur la vie de l'homme mais en contrepartie ils ont eu des conséquences négatives sur le milieu naturel telles que : la pollution, la diminution de la biodiversité, le dysfonctionnement et la disparition de nombreux écosystèmes terrestres et aquatiques.

#### 4. 9. 1. La pollution des écosystèmes aquatiques

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la crise globale de l'environnement. La crise de l'eau sévit déjà depuis longtemps et avec une gravité sans cesse accrue, affectant aussi bien les pays industrialisés que ceux du tiers monde. Cette pollution est le fait d'émissaires urbains et industriels, mais aussi de sources de contaminations diffuses dispersées sur de vastes territoires (**Ramade, 2005, Khaled-Khodja, 2016 ; UNESCO, 2017**).

##### 4. 9. 1. 1. Phénomène d'eutrophisation ou dystrophisation

À l'origine, l'eutrophisation est un phénomène naturel de vieillissement des écosystèmes limniques. Dans les conditions naturelles, ce processus se réalise à l'échelle des temps géologiques.

Malheureusement, de nos jours, ce phénomène se voit accélérer et peut se réaliser en une décennie ou peut être moins en fonction de la quantité des rejets, de la superficie et de la profondeur de l'hydrosystème.

L'*eutrophisation* consiste en *un enrichissement des eaux continentales ou littorales en sels minéraux nutritifs* (phosphates et nitrates, principalement) d'origine naturelle mais souvent accélérée, voire induite, suite à une pollution des eaux par les rejets d'effluents urbains ou agricoles chargés en *nutriments*.

Les limnologues anglophones différencient souvent la *dystrophisation* (encore dénommée *hyper eutrophisation* ou *hyper fertilisation*), consécutive à cette pollution, de l'*eutrophisation* prise au sens strict, elle d'origine naturelle. Elle se caractérise de façon générale par une *prolifération démesurée (bloom) des algues et autres végétaux aquatiques*, donc par une *augmentation spectaculaire de la production primaire* de l'écosystème limnique considéré. Au cours du temps, le processus d'eutrophisation va faire passer un lac d'un état *oligotrophe*, de faible productivité primaire, à un état *mésotrophe* où la productivité augmente par suite de l'enrichissement des eaux en éléments minéraux nutritifs, enfin à un état ultime *eutrophe*,

caractérisé par une forte productivité primaire et une désoxygénation des eaux profondes. Lors des épisodes de *crises d'eutrophie* (ou d'*asphyxie des eaux*), certains micro-organismes hétérotrophes sont capables d'utiliser l'oxygène présent dans la molécule de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) pour oxyder les matières organiques, c'est le processus de dénitrification. Lorsque tous les nitrates sont consommés (réduits), différents micro-organismes sont capables d'utiliser l'oxygène présent dans les oxydes de manganèse ( $\text{MnO}_2$ ), les oxydes de fer ( $\text{FeO}_2$ ), et les sulfates ( $\text{SO}_4$ ). Finalement, lorsque tous ces oxydants sont réduits, les micro-organismes méthanogènes sont capables de dégrader les matières organiques en méthane ( $\text{CH}_4$ ). Ces réactions d'oxydoréduction produisent des gaz toxiques tels que : le  $\text{CO}_2$ , l' $\text{H}_2\text{S}$  (hydrogène sulfuré) ou le  $\text{CH}_4$  (méthane) émis dans l'eau puis l'atmosphère (Figure 4. 12). En sus, de la formation de dépôts de sulfure ferreux noirâtre dans les sédiments. À long terme, l'eutrophisation est la cause du comblement des biotopes lacustres, résultat ultime de leur inéluctable vieillissement (**Ramade 1982 ; 2008 ; Khaled-Khodja, 2016 ; Pinay et al., 2017 ; UNESCO, 2017**).

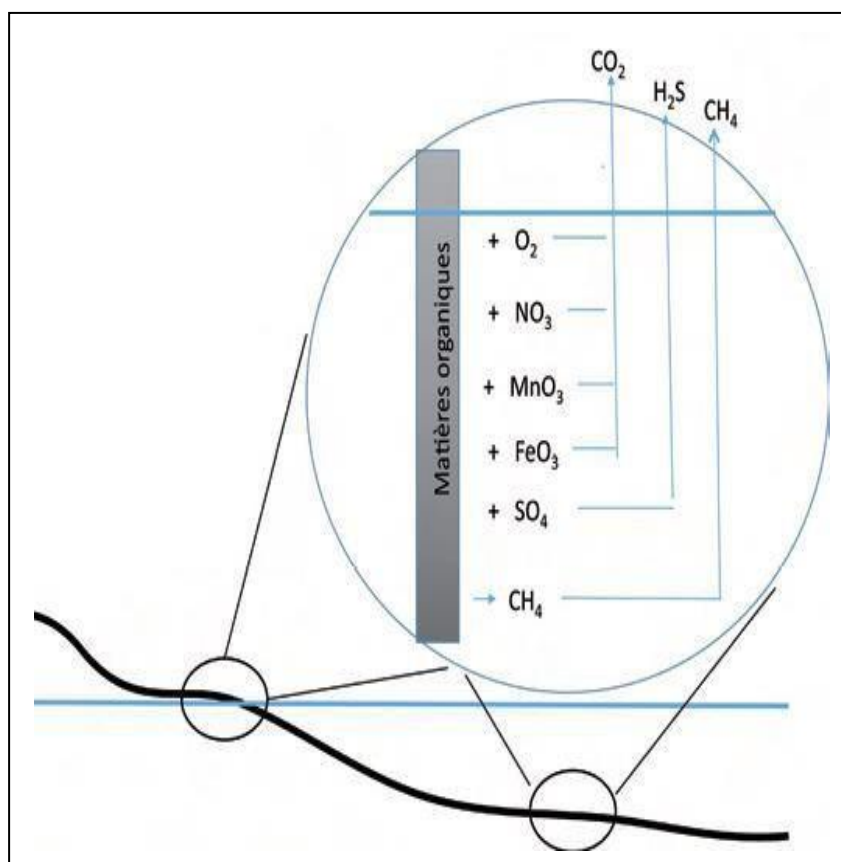


Figure 4. 12. Représentation schématique de la succession de réaction d'oxydation de la matière organique dans les sédiments en fonction du degré d'oxydoréduction (**Pinay et al., 2017**).

#### 4. 9. 1. 2. Conséquences de l'eutrophisation

Les proliférations végétales si elles ne sont pas dispersées par les courants ou consommées par les herbivores, s'accumuleront puis se décomposeront sous l'action bactérienne avec consommation d'oxygène, néfaste pour la faune ; la poursuite de la dégradation bactérienne en anaérobiose productrice de molécules indésirables ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ), voire, toxiques sera dramatique pour l'environnement aquatique.

*L'eutrophisation est donc très fréquemment le premier stade d'une évolution vers une destruction de la flore et de la faune, c'est-à-dire vers un état pathologique des milieux aquatiques.* Ce stade qualifié de **dystrophie**, survient souvent brutalement après l'eutrophisation et se caractérise par des modifications chimiques et une transformation régressive des peuplements (Gaujous, 1995 ; Ramade, 2012 ; Pinay et al., 2017).

#### 4. 9. 2. La pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique consiste en gaz, liquides ou solides, présents dans l'atmosphère à des taux suffisamment élevés pour porter atteinte aux hommes et à d'autres organismes ou matières. Bien que les polluants atmosphériques proviennent parfois de sources naturelles (comme lorsque la foudre provoque un feu de forêt ou quand un volcan est en éruption) les activités humaines dégagent toutes sortes de substances dans l'atmosphère et sont les principales responsables de la pollution atmosphérique. Le rejet intempestif de substances diverses dans l'atmosphère constitue sans aucun doute la plus évidente des dégradations de l'environnement par l'homme.

Quoique remontant à l'aube de la civilisation industrielle, la pollution atmosphérique s'est accrue dans des proportions considérables dans l'ensemble des pays développés. L'augmentation de la production industrielle et de la circulation des véhicules à moteur s'accompagne du dégagement dans l'air de quantités croissantes de fumées, de gaz toxiques et autres agents polluants.

Il serait vain de tenter d'attribuer cette croissance de la pollution atmosphérique à un type particulier d'activité industrielle, à une technologie moderne déterminée. C'est en fait la résultante de multiples facteurs qui caractérisent la civilisation moderne : accroissement de la production d'énergie, de l'industrie métallurgique, de la circulation routière et aérienne, des tonnages d'ordures incinérées, etc., lesquels interviennent tous de façon significative dans ce phénomène (Delmas et al., 2007 ; Raven et al., 2009 ; Ramade 2005 ; 2012).

##### 4. 9. 2. 1. Le trou dans la couche d'ozone

L'ozone ( $\text{O}_3$ ) est une forme d'oxygène polluante liée aux activités anthropiques dans la

---

*troposphère*<sup>2</sup>, mais également un *composé naturel essentiel dans la stratosphère*<sup>3</sup> qui entoure notre planète à une altitude comprise entre 17 et 50 km (**Raven et al., 2009**).

Bien que l’ozone existe dans l’air à toutes les altitudes, c’est dans la stratosphère qu’il se rencontre aux plus fortes concentrations, constituant la “*couche*” ou *écran d’ozone*. Ce dernier arrête la plupart du rayonnement ultra-violet, en particulier la bande de plus faibles longueur d’onde (la plus nocive). La fonction protectrice de cet écran a permis la colonisation des continents émergés par les êtres vivants (**Bovet et al., 2008 ; Ramade, 2012**).

Des études de l’atmosphère par satellite révèlent que l’épaisseur de la couche d’ozone diminue depuis 1975. La destruction de l’ozone stratosphérique résulte principalement de l’accumulation des *chlorofluorocarbures* (CFC), substances utilisées dans les appareils réfrigérants, dans certains procédés industriels et comme propulseurs dans les aérosols. Quand les produits de la décomposition de ces substances parviennent dans la stratosphère, le chlore qu’ils contiennent réagit avec l’ozone et le réduit en dioxygène (O<sub>2</sub>) (Fig. 4. 13). Puis d’autres réactions chimiques libèrent le chlore, qui réagit alors avec d’autres molécules d’ozone en un cycle catalytique sans fin (**Campbell & Reece, 2007**).

La destruction de la couche d’ozone pourrait avoir des conséquences graves pour la vie sur terre : augmentation des cataractes, le cancer de la peau et un affaiblissement du système immunitaire. L’augmentation des taux de rayons UV risque de perturber les écosystèmes.

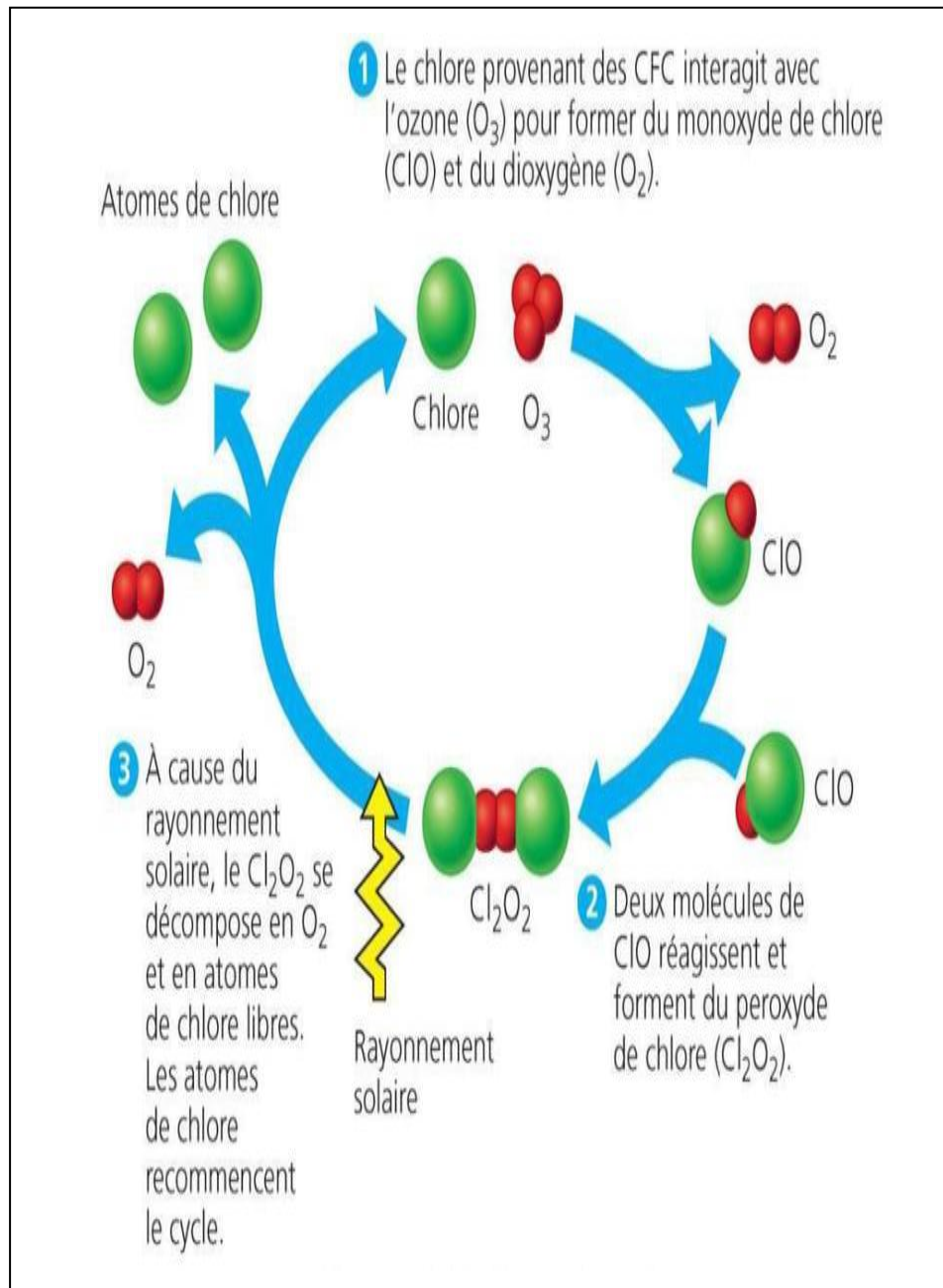


Figure 4. 13. Destruction de l'ozone par le chlore libéré dans l'atmosphère (Campbell & Reece, 2007)

La production de phytoplancton de l'Antarctique, les algues microscopiques qui sont à la base du réseau trophique de ce continent, a diminué à cause d'une plus grande exposition aux rayons UV, qui a eu pour effet l'inhibition de la photosynthèse. Des mutations de l'ADN sont observées dans les œufs et les larves des poissons. Les cultures et les forêts peuvent subir des dommages graves suite aux forts taux de rayons UV (Campbell & Reece, 2007 ; Raven et al., 2009).

#### 4. 9. 2. 2. Les pluies acides

À l'échelle continentale, l'une des conséquences dramatiques de la pollution atmosphérique est l'extension des pluies acides qui affectent aujourd'hui pratiquement tout l'hémisphère boréal. Leur impact est considérable sur les écosystèmes continentaux, aquatiques et forestiers (Beaux, 2004). Les pluies acides sont des précipitations qui présentent une acidité anormalement élevée par rapport aux précipitations recueillies dans des environnements non pollués. L'acidité de ces pluies provient essentiellement de deux polluants atmosphériques, pour 70 % le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), produit en abondance par les centrales thermiques de charbon, les industries métallurgiques et de pâte à papier, et pour 30 % des oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) provenant des combustions et des gaz d'échappement. Dans l'atmosphère ces gaz se combinent à l'humidité de l'air pour donner, respectivement de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique. Des acides organiques peuvent aussi être produits dans les réactions d'oxydation d'hydrocarbures. Ces acides sont ensuite déposés sur la terre par les pluies, la neige ou la condensation (rosée) dont le pH est inférieur au pH naturel de 5,6. (Beaux, 2004 ; Campbell & Reece, 2007 ; Delmas *et al.*, 2007).

Les pluies acides ont des conséquences écologiques désastreuses. Elles provoquent, en particulier, l'acidification de nombreux lacs et rivières. L'acidification des eaux entraîne un appauvrissement considérable des communautés vivantes, une simplification des réseaux trophiques et peut, à terme provoquer la mort écologique du lac.

L'autre aspect dramatique des pluies acides est le dépérissement important des forêts boréales et tempérées. Les lésions apparaissent d'abord sur les conifères, dont les aiguilles, exposées toute l'année, jaunissent et tombent (Fig. 4. 14). L'arbre, conifère ou feuillu, subit une défoliation progressive, se dessèche et meurt sur pied (Beaux, 2004 ; Raven *et al.*, 2009).

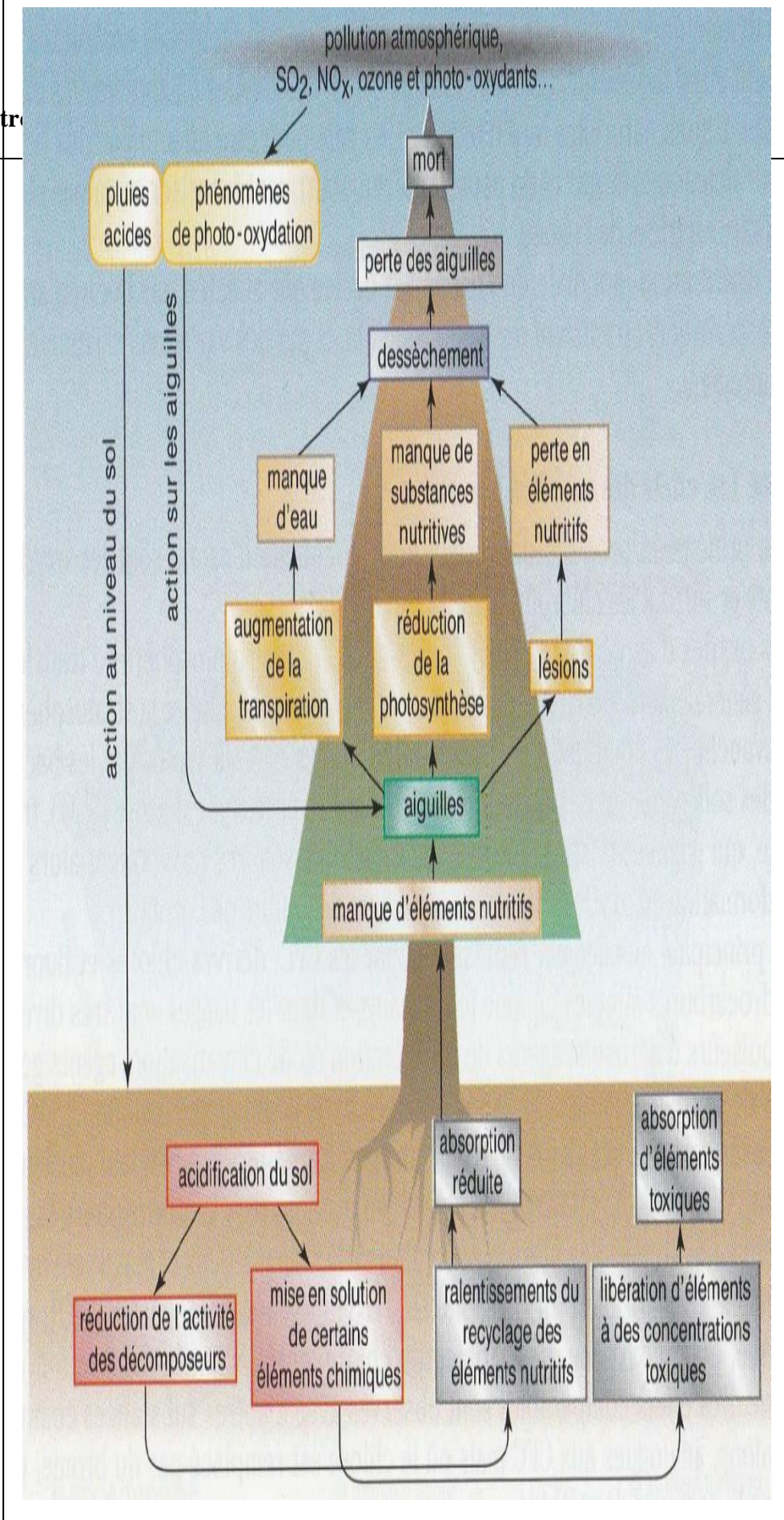


Figure 4. 14. Effets des pluies acides sur les arbres (Beaux, 2004)

L'acidification des sols aura pour effets le lessivage des éléments nutritifs (Ca, Mg, K, etc.) et le ralentissement de l'activité des décomposeurs (la microfaune et de la microflore) d'où une carence minérale. La croissance des végétaux sera ainsi inhibée (Fig. 4. 14).

En outre, le pH acide favorise l'accumulation et la mise en solution d'éléments traces métalliques (aluminium) qui peuvent intoxiquer les racines (**Beaux, 2004 ; Delmas et al., 2007 ; Raven et al., 2009**).

#### 4.9. 2. 3. Effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel qui permet l'échauffement de l'atmosphère, dû à l'absorption du rayonnement solaire par les gaz atmosphériques (Fig. 4. 15). Une partie du rayonnement ultraviolet est absorbé par l'ozone stratosphérique, tandis qu'une partie de la lumière visible (incidente) est renvoyée vers l'espace par réflexion au niveau de l'atmosphère ou de la surface terrestre. Cette énergie renvoyée ou perdue est dite albédo. Enfin, une partie de l'énergie solaire incidente (environ la moitié) est absorbée par la surface de la terre. Pour maintenir l'équilibre thermique, la terre doit perdre de l'énergie par rayonnement. Elle restitue ainsi 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 dans le domaine du 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 ; Chémery, 2004 ; Vallée, 2004 ; Delmas et al., 2007 ; Ramade, 2012**).

L'effet de serre est ainsi appelé par analogie avec ce qui se passe dans une serre dont les parois vitrées arrêtent les radiations infrarouges émises par le sol (**Beaux, 2004**).

**Les gaz à effet de serre (GES)** sont les gaz susceptibles d'absorber les rayonnements infrarouges réémis par la surface terrestre. Les principaux GES sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), les oxydes d'azote (protoxyde d'azote, N<sub>2</sub>O), les chlorofluorocarbones (CFC) et l'ozone stratosphérique (**Ducroux & Jean-Baptiste, 2004**).

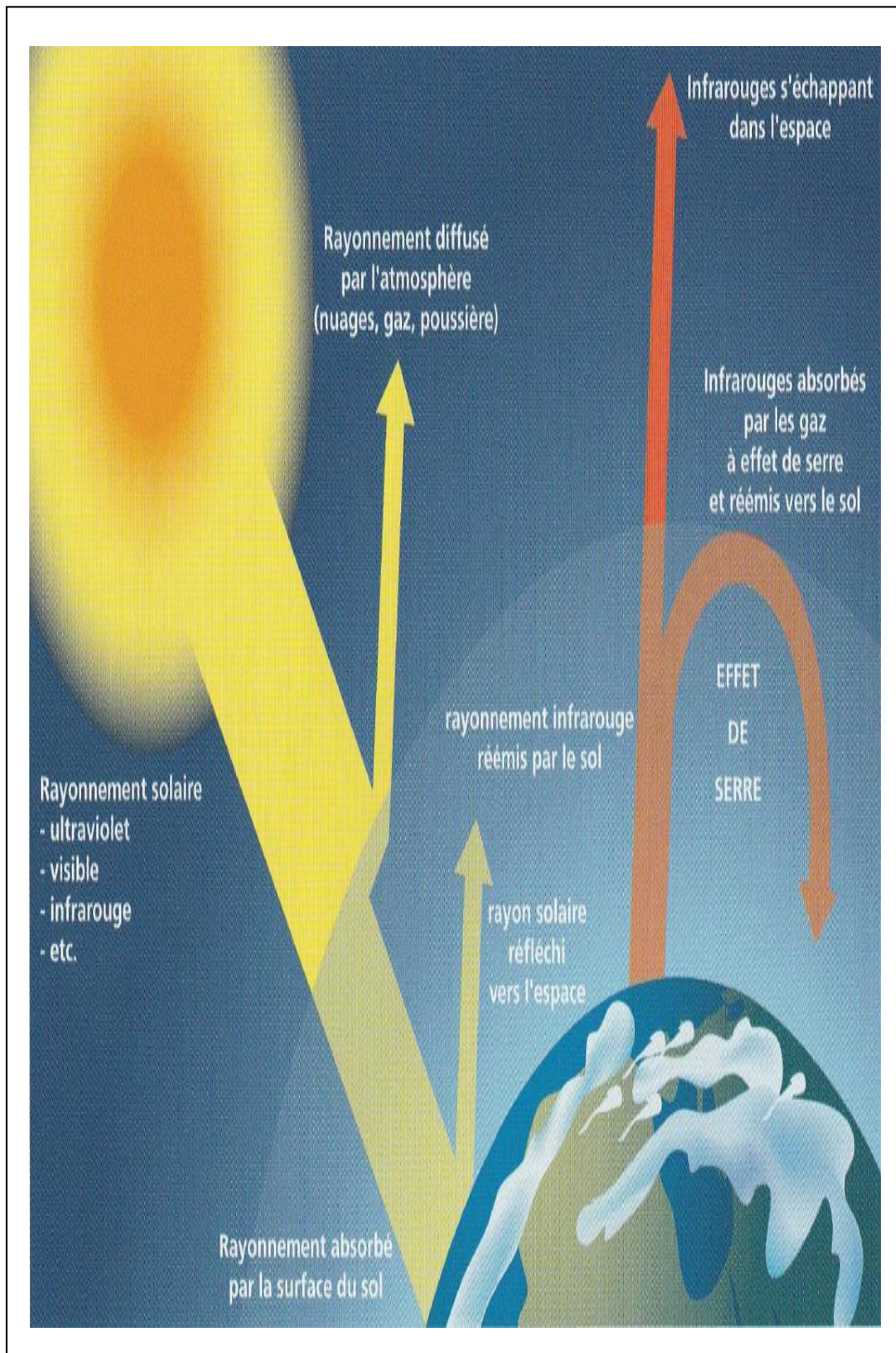


Figure 4. 15. Le mécanisme de l'effet de serre (Ducroux & Jean-Baptiste, 2004)

La participation des différents gaz à l'effet de serre dépend de leur concentration et de leurs

propriétés physico-chimiques d'absorption des infrarouges émis par le sol (Beaux, 2004 ; Chémery, 2004 ; Vallée, 2004 ; Delmas *et al.*, 2007). Le tableau 1 montre le *potentiel de réchauffement global*<sup>4</sup> ou *l'efficacité radiative* de certains GES, c'est-à-dire la *capacité d'une de leurs molécules à absorber du rayonnement infrarouge* (le CO<sub>2</sub> étant pris comme référence, unité 1) et leur contribution relative à l'accroissement de l'effet de serre planétaire (dernière ligne). Les *GES impliqués dans la crise climatique actuelle* sont principalement le CO<sub>2</sub> et le CH<sub>4</sub>, qui sont responsables à eux seuls des ¾ du problème (Bovet *et al.*, 2008).

Tableau 1. Capacité radiative de certains GES (Chémery, 2004)

CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CFC-11	CFC-12
1	32	150	14 000	17 000
55 %	15 %	4 %	7 %	12 %

L'*ère industrielle*, avec l'utilisation abondante des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) d'une part et la *déforestation* d'autre part ont augmenté la concentration en GES, principalement du gaz carbonique et du méthane, mais aussi du protoxyde d'azote, de l'ozone, et des *halocarbones* ou *hydrocarbures halogénés* qui sont des gaz purement artificiels. Ces derniers comprennent notamment les gaz fluorés (*chlorofluorocarbures* (CFC), *hydrochlorofluoro carbures* (HCFC), *hydrofluorocarbures* (HFC), *perfluorocarbures* (PFC) et *hexafluorure de soufre* (SF<sub>6</sub>)). L'influence de ces gaz se rajoute à l'effet de serre naturel, ce qui se traduit par une augmentation de la température globe (Vallée, 2004 ; Ducroux & Jean-Baptiste, 2004). Le *réchauffement global* actuellement observé (la température moyenne du globe a augmenté de 1°C) est seulement une *intensification de l'effet de serre naturel*, quel'on appelle *effet de serre additionnel* ou *forçage radiatif additionnel* (Ducroux & Jean-Baptiste, 2004 ; Delmas *et al.*, 2007).

Les conséquences du changement climatique global sont nombreuses et variées :

☞ La biosphère et l'océan constituent un immense réservoir de carbone. Ils absorbent celui-ci dans l'atmosphère et l'intègre au sol ou le précipite en carbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dans l'océan. Ils ont ainsi déjà absorbé près de la moitié des rejets anthropiques. C'est la raison pour laquelle on les qualifie de "puits de carbone". Cependant, l'excès de CO<sub>2</sub> dissout dans l'océan commence à menacer de nombreuses formes de vie océaniques. Le CO<sub>2</sub> réagit avec l'eau pour former un acide faible, l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), l'absorption croissante du CO<sub>2</sub> a commencé à changer la chimie de l'océan en les rendant plus acides. L'acide attaque le carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) qui constitue les coquilles protectrices de nombreux organismes tels que : les coraux,

---

les crustacés et le plancton (Bovet et al., 2008 ; Raven et al., 2009). En outre, la dissolution du CO<sub>2</sub> est d'autant plus importante que l'eau est froide. Une augmentation de la température liée à l'accroissement de l'effet de serre peut réduire la dissolution et donc le piégeage de celui-ci. Ce qui contribue à renforcer l'effet de serre

**(Beaux, 2004).**

☞ *Fonte des glaces et l'élévation du niveau des mers* est susceptible d'avoir des conséquences environnementales importantes. Cette élévation est encore limitée à une dizaine de centimètres depuis un siècle et correspond essentiellement à la dilatation des eaux océaniques consécutives à l'augmentation de la température de l'océan. La fonte accélérée des glaces polaires et des glaciers de montagnes est cependant de plus en plus mise en cause également. La fonte des glaces continentales contribue à l'élévation du niveau de la mer (Delmas et al., 2007). Cette fonte progressive des glaciers du monde entier diminue les surfaces de haute réflectivité solaire (*diminution de l'albédo terrestre*) et amplifie le réchauffement climatique (Ducroux & Jean-Baptiste, 2004).

☞ *La déforestation des forêts tropicales et le changement d'usage des terres* (exploitation agricole ou urbanisation) réduisent encore le rôle compensatoire de la biosphère. Et la

désertification, qui s'accroît à la faveur du réchauffement, en particulier en Afrique subsaharienne, ne fait qu'accroître le phénomène (**Bovet et al., 2008**).

☞ *Les extrêmes climatiques* sont des événements météorologiques intenses (pluies torrentielles, inondations de grande ampleur, ouragans, cyclones, vagues de chaleur, sécheresses graves...) occasionnant des destructions du milieu naturel et des infrastructures : coulée de boue, incendies de forêts, déracinement d'arbres, glissement de terrain, destruction des routes et des ponts, etc. (**Ducroux & Jean-Baptiste, 2004 ; Beaux, 2004 ; Delmas et al., 2007**).

☞ *Impact considérable sur les écosystèmes et leur biodiversité* : les ours polaires vont rencontrer des difficultés pour survivre dans un monde sans banquise. Les récifs coralliens sont des systèmes qui comprennent des organismes symbiotiques et d'autres organismes comme les poissons qui vivent, se nourrissent et se reproduisent autour des récifs.

La décoloration du corail liée à la température se produit quand la température dépasse un seuil, ce qui affecte les symbiotes du corail les rendant, ainsi que les coraux, plus vulnérables aux organismes vecteurs de maladies, auxquelles les coraux sains sont normalement résistants. La décoloration est exacerbée par l'acidité accrue de l'océan (**Raven et al., 2009 ; Ramade, 2012**).

☞ *Effets sur la santé humaine* : les relations entre santé humaine et le climat fonctionnent de manière systématique et elles sont à la fois complexes et indissociables. Le réchauffement climatique va vraisemblablement avoir un effet indirect sur la santé humaine. Les habitats de moustiques et d'autres vecteurs de maladies vont sûrement s'étendre à de nouvelles régions qui vont devenir chaudes et ils pourront en l'absence d'autres facteurs limitant, propager le paludisme, la dengue, la fièvre jaune, le choléra, la peste... (Raven et al., 2009). La présence de polluant gazeux atmosphériques affecte le système cardio-vasculaire et le système nerveux (troubles visuels et dans la coordination des mouvements). En sus, d'autres maladies sont rapportées telles que : le cancer de la peau, le cancer des voies nasales, les

maladies oculaires, affaiblissement du système immunitaire suite à l'exposition aux UV, maladies respiratoires (smog) et les allergies (**Ducroux & Jean-Baptiste, 2004 ; Delmas et al., 2007**)

# Chapitre V

**5.1. Écosystèmes terrestres**

Les écosystèmes terrestres englobent une variété d'environnements, allant des forêts aux prairies. Ils abritent une diversité d'espèces végétales et animales et jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre écologique

les écosystèmes terrestres sont des systèmes naturels complexes qui englobent différents types d'environnements terrestres, notamment les forêts, les prairies, les déserts, les marais, les montagnes, les toundras, les mangroves et bien d'autres. Chaque type d'écosystème a ses propres caractéristiques distinctives en termes de climat, de sol, de végétation et de faune.

Les écosystèmes terrestres abritent une immense diversité d'espèces végétales et animales, allant des grands arbres aux petits insectes. Ces espèces sont interconnectées et dépendent les unes des autres pour leur survie. Par exemple, les plantes produisent de l'oxygène par la photosynthèse, fournissant ainsi un habitat et de la nourriture aux animaux herbivores. Les animaux herbivores, à leur tour, se nourrissent de plantes, tandis que les carnivores se nourrissent d'animaux herbivores. Cette interdépendance crée un réseau complexe de relations dans l'écosystème.

Les écosystèmes terrestres fournissent également de nombreux services écosystémiques essentiels. Ils jouent un rôle dans la régulation du climat en stockant le carbone atmosphérique, agissant comme des puits de carbone naturels. De plus, ils participent au cycle de l'eau en régulant les flux d'eau, en filtrant les polluants et en rechargeant les réserves d'eau souterraines. Les écosystèmes terrestres contribuent également à la fertilité des sols, à la pollinisation des cultures, à la protection contre l'érosion et aux loisirs et au tourisme.

Cependant, les écosystèmes terrestres sont confrontés à de nombreux défis et menaces, notamment la déforestation, la fragmentation des habitats, la pollution, le changement climatique, l'exploitation excessive des ressources naturelles et l'introduction d'espèces envahissantes. Ces pressions anthropiques peuvent perturber l'équilibre écologique des écosystèmes et entraîner la perte de biodiversité et la dégradation des services écosystémiques.

Il est donc essentiel de protéger et de préserver les écosystèmes terrestres en adoptant des pratiques de gestion durable des terres, en promouvant la conservation des habitats naturels,

**Chapitre V.** Description sommaire des principaux écosystèmes en favorisant la reforestation et en réduisant notre empreinte écologique. La préservation de ces écosystèmes est cruciale non seulement pour maintenir la biodiversité, mais aussi pour assurer notre propre bien-être en tant qu'êtres humains, car nous dépendons des services fournis par ces écosystèmes pour notre survie et notre qualité de vie..

### **5.1.1. La forêt**

La forêt est l'un Ensemble d'écosystèmes qui se définissent par une couverture végétale dominante constituée par des arbres dont la frondaison (partie la plus élevée du feuillage) ou la canopée est continue en l'absence d'intervention humaine.

La forêt est l'un des écosystèmes terrestres les plus répandus. Elle se caractérise par une stratification verticale, où différents types de végétation occupent des strates distinctes en fonction de leur hauteur et de leur adaptation aux conditions environnementales (**Cain, 2014**).

Les forêts interfèrent en outre de façon majeure avec le cycle de l'eau et celui des autres éléments biogènes (**Beaux, 2004 ; Ramade, 2008**). Les forêts couvrent actuellement environ 27 % de la surface des continents émergés, avec des formations très différentes selon la latitude. Leur rôle écologique est primordial pour l'ensemble de la biosphère. Ce sont les biomes terrestres ayant la plus forte biomasse et la plus forte productivité primaire.

Les forêts peuvent être classées en différentes catégories à l'échelle mondiale, telles que les forêts ombrophiles tropicales, les forêts méditerranéennes, les forêts tempérées et la taïga boréale (**Crebs, 2019**).

#### **5. 1. 1. 1. Stratification verticale de la forêt tempérée (Fig. 5. 1)**

Dans un écosystème équilibré, toutes les espèces se disposent, les unes par rapport aux autres de façon à occuper et à exploiter tout l'espace, aérien et souterrain, disponible. Dans *une forêt, cela se traduit par une stratification de la végétation et de la faune*. Cette occupation optimale de l'espace est la résultante complexe d'une vive concurrence, entre individus d'une même espèce ou d'espèces différentes, dans la lutte pour la vie (pour l'eau, la lumière, etc.), mais aussi de certaines formes d' "entre aide" (symbiose) ou de parasitisme (**Becker et al., 1983**).

Dans une forêt, nous distinguons la *strate arborescente*, dont le développement conditionne la disponibilité en lumière du sous-bois. La *strate arbustive* est composée de jeunes arbres et d'arbustes. La *strate herbacée* correspond aux plantes à fleurs non ligneuses (ne renferment pas du bois dans ses organes) et aux fougères. La *strate muscinale* se développe à même le sol, avec les mousses, les champignons et les lichens (**Beaux, 2004 ; Angelier, 2002**).

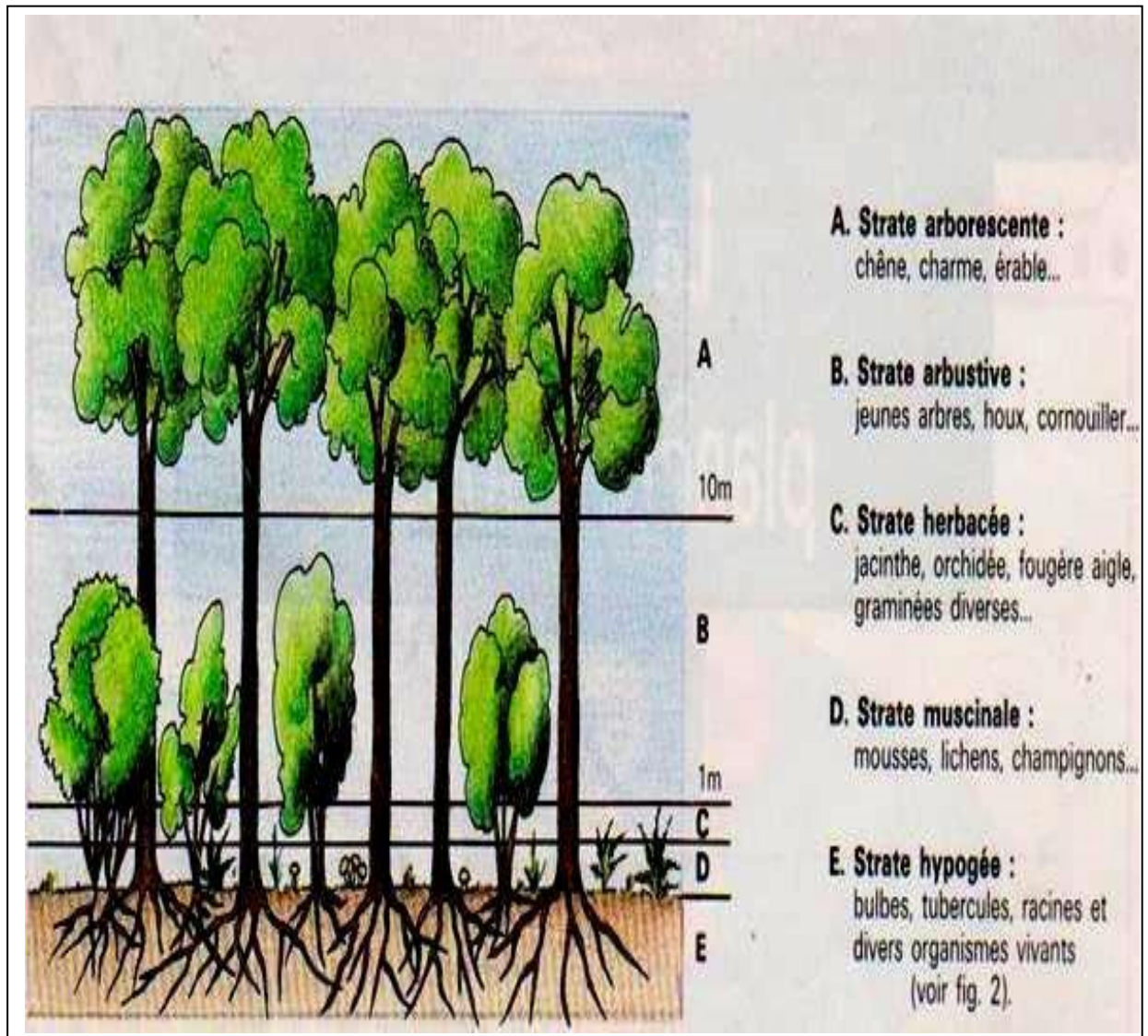


Figure 5. 1. Les différentes strates verticales de la forêt (Angelier, 2002)

### 5. 1. 1. 2. Les principales forêts à l'échelle du globe

**a. Les forêts ombrophiles (humides) tropicales :** ce sont des *forêts équatoriales luxuriantes* situées dans la zone intertropicale (Amazonie, Afrique, Asie du Sud-Est), elles représentent environ le tiers de la forêt mondiale. Elles se développent dans des régions caractérisées par un climat très chaud et très humides toute l'année. Elles se développent sur des terrains anciens fortement érodés et pauvres en éléments nutritifs. La matière organique s'accumule peu dans de tels sols parce que bactéries, champignons, fourmis et termites décomposent la litière rapidement. Les racines et les mycorhizes absorbent rapidement les éléments nutritifs des matières organiques en décomposition. Ainsi, les nutriments des forêts tropicales humides sont retenus dans la végétation plutôt que dans le sol. De tous les biomes, ces forêts

---

*b.* sempervirentes (à feuilles pérennes) sont sans égal au niveau biodiversité (**Beaux, 2004 ; Raven et al., 2009**).

En concentrant un nombre impressionnant d'espèces endémiques, les régions forestières tropicales constituent un vivier de substances naturelles bioactives qui sont potentiellement utilisables pour créer de nouveaux médicaments (**UNESCO, 2017**).

Dans l'immense source de diversité moléculaire que représentent les espèces vivantes, environ 200 000 structures de métabolites secondaires c'est-à-dire de composés chimiques ou substances actives présentant des propriétés pharmacologiques intéressantes ont pu être décrites...et sont aujourd'hui une ressource pour les biotechnologies (médecine, pharmacie, cosmétique, agrochimie) (**UNESCO, 2017**).

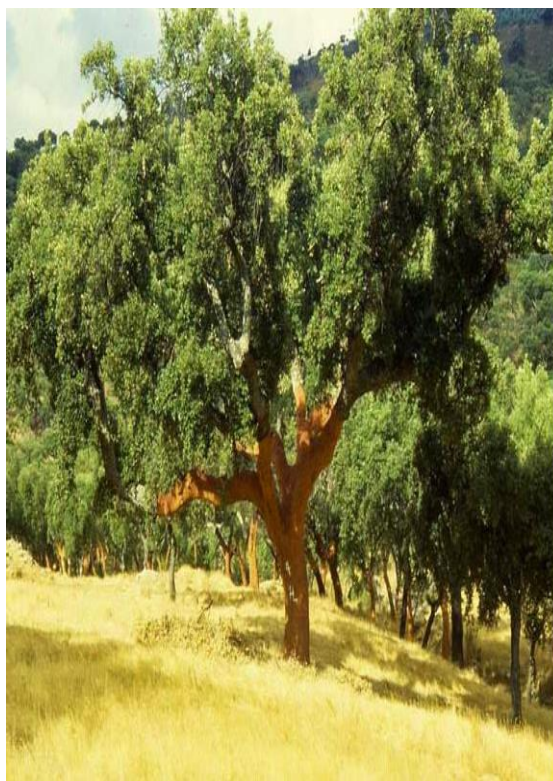


*Photo 1. Forêt tropicale dans le bassin supérieur de l'Amazone en Equateur (UNESCO, 2017)*

*c. Les forêts méditerranéennes* : elles s'observent sur le pourtour méditerranéen, mais aussi en Californie, au Chili et au sud de l'Australie. D'un continent à l'autre, elles présentent de grandes différences floristiques, mais elles montrent souvent des arbres à feuilles plus ou moins coriaces (très dures) et persistantes, adaptées à la sécheresse. Les espèces les plus fréquentes sont *le chêne vert* et *le chêne liège* (Photos 2 et 3), associés à divers *pins* (d'Alep, parasol ou pignon) (Photo 4). Sous les chênes pousse un ensemble varié d'arbustes. Maquis<sup>1</sup> et garrigues<sup>2</sup> sont des formes dégradées de la forêt (Beaux, 2004 ; Ramade, 2008).



*Photo 2. Chêne vert (*Quercus ilex* L.) avec les Feuilles et les fruits (Becker et al., 1983)*



*Photo 3. Chêne liège (*Quercus suber* L.) avec les Feuilles, les fleurs et les fruits (Becker et al., 1983)*



*Photo4. Pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) (à gauche) et le Pin Parasol ou Pin pignon (Pinus pinea L.) (Becker et al., 1983)*

**d. Les forêts tempérées** : leur maximum d'extension se situe entre les 40° et 50° de latitude Nord et elles couvrent environ 7 millions de km<sup>2</sup>. Elles se développent en Europe et en Amérique du Nord (Appalaches) et en chine orientale. Les principales essences des forêts européennes sont le hêtre (Photo 5), le chêne et le charme (Photo 6). Ces écosystèmes se caractérisent par une communauté d'arbres feuillus caduques, dont le feuillage tombe pendant la saison hivernale. À maturité, leurs arbres peuvent excéder 50 m de haut s'ils ne sont pas exploités. Ces forêts présentent une nette stratification, avec une importante strate arbustive et herbacée (Beaux, 2004 ; Ramade, 2008).

---

Les forêts tempérées sont des écosystèmes forestiers qui se trouvent dans les régions de climat tempéré, caractérisées par des saisons distinctes et des températures modérées. Voici quelques informations sur les forêts tempérées :

Répartition géographique : Les forêts tempérées se trouvent dans différentes parties du monde, notamment en Amérique du Nord (côtes du Pacifique et de l'Atlantique), en Europe occidentale, en Asie de l'Est (comme les forêts de conifères en Russie et en Chine) et en Océanie (comme les forêts humides de Tasmanie et de Nouvelle-Zélande).

Caractéristiques climatiques : Les forêts tempérées connaissent des saisons distinctes avec des hivers relativement doux et des étés modérément chauds. Les précipitations sont souvent réparties tout au long de l'année, mais les régions tempérées peuvent également connaître des pluies abondantes en automne ou en hiver. Les forêts tempérées sont adaptées à ces conditions climatiques spécifiques.

*e.* Biodiversité : Les forêts tempérées abritent une grande diversité d'espèces végétales et animales. On y trouve une combinaison d'arbres à feuilles caduques et d'arbres à feuilles persistantes, tels que les chênes, les érables, les hêtres, les pins, les sapins et les séquoias. La diversité des habitats dans les forêts tempérées soutient également une variété d'animaux, tels que les cerfs, les écureuils, les renards, les hiboux et une grande variété d'oiseaux.

Importance écologique : Les forêts tempérées jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat, la conservation de la biodiversité et la protection des sols. Elles agissent comme des puits de carbone, absorbant le dioxyde de carbone de l'atmosphère et contribuant ainsi à la réduction des changements climatiques. De plus, elles fournissent des habitats essentiels pour de nombreuses espèces, favorisent la préservation de la diversité génétique et protègent les sols contre l'érosion.

Pressions et menaces : Les forêts tempérées sont confrontées à plusieurs menaces, notamment la déforestation due à l'exploitation forestière excessive, la conversion des terres pour l'agriculture ou les infrastructures, ainsi que les incendies de forêt et les maladies des arbres. Ces activités humaines ont un impact significatif sur la biodiversité des forêts tempérées et peuvent entraîner la perte d'habitats et la fragmentation des écosystèmes.



*Photo 5. Le Hêtre (Fagus sylvatica L.) Feuilles et fruits (Becker et al., 1983)*



*Photo 6. Le charme commun (Carpinus betulus L.) et ses feuilles (Becker et al., 1983)*

## Chapitre 5. Description sommaire des principaux écosystèmes

---

**d. La forêt boréale ou taïga** : ce biome doit son nom au fait qu'il est inexistant dans l'hémisphère austral par suite de la quasi-absence des terres émergées aux latitudes sous lesquelles il peut se développer. Il présente son maximum d'extension entre 45° et 57° de latitude Nord mais dépasse localement le cercle polaire en Scandinave, en Sibérie et en Alaska. Il constitue le biome forestier croissant aux plus hautes latitudes, bordant au sud le domaine de la toundra<sup>3</sup>. *La taïga est le plus grand biome forestier après les forêts pluvieuses tropicales*, car elle couvre au total 12 millions de Km<sup>2</sup> (**Beuax, 2004**). De diversité faible, cette forêt boréale est constituée exclusivement de conifères (épicéas, pins, sapins, et mélèze) (Photo 7). La faune pauvre en espèces, présente des animaux adaptés au froid : nombreux mammifères à fourrure, herbivores ou carnivore (élan ou orignal, ours brun, renard argenté, lynx, tigre, etc.) (Photo 8). Des insectes très abondants, exploitent les arbres (**Raven et al., 2009 ; UNESCO, 2017**).

La forêt boréale, également connue sous le nom de taïga, est un écosystème forestier qui s'étend principalement dans les régions subarctiques et boréales du globe, notamment en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Voici quelques informations sur la forêt boréale :

### **Répartition géographique : L**

La forêt boréale se trouve principalement dans les régions situées au nord de la limite des forêts tempérées, couvrant une grande partie de l'Alaska, du Canada, de la Scandinavie, de la Russie et du nord du Japon. Elle s'étend sur des millions de kilomètres carrés, ce qui en fait l'une des plus grandes forêts du monde.

**Caractéristiques climatiques** : La forêt boréale connaît des hivers froids et longs, avec des températures moyennes inférieures à zéro degré Celsius, et des étés courts et frais. Les précipitations peuvent être modérées à élevées, sous forme de neige en hiver et de pluie en été. Les conditions climatiques rigoureuses de la forêt boréale influencent sa végétation et sa faune.

**Biodiversité** : La forêt boréale est caractérisée par une végétation dominée par des conifères,

**Chapitre 5.** Description sommaire des principaux écosystèmes tels que les épinettes, les sapins et les pins. Les arbres de la forêt boréale sont adaptés à la résistance au froid et ont des formes coniques pour permettre l'évacuation de la neige. La faune de la forêt boréale comprend des espèces emblématiques telles que l'orignal, le caribou, le loup, le lynx, l'ours, le castor et une variété d'oiseaux migrateurs.

**Rôle écologique :** La forêt boréale joue un rôle crucial dans la régulation du climat mondial. Elle stocke d'importantes quantités de carbone, ce qui en fait un réservoir essentiel pour atténuer les effets du changement climatique. De plus, la forêt boréale fournit des habitats essentiels pour la biodiversité, agit comme une zone de reproduction pour de nombreux oiseaux migrateurs et contribue à la préservation de la qualité de l'eau et à la prévention de l'érosion des sols.

**Pressions et menaces :** La forêt boréale est confrontée à plusieurs pressions et menaces, notamment l'exploitation forestière intensive, la conversion des terres pour l'agriculture, l'exploitation minière, les changements climatiques et les incendies de forêt. Ces activités peuvent avoir un impact significatif sur la biodiversité de la forêt boréale, la qualité de l'eau et les services écosystémiques qu'elle fournit.

### 5.1.2. La prairie

La prairie est un écosystème caractérisé par une végétation herbacée dense, généralement dominée par des graminées. Les prairies abritent une diversité d'herbivores et jouent un rôle important dans le cycle des nutriments et la conservation des sols (**Chapin III,2011**)

On distingue deux types de prairies : les prairies tempérées et les prairies tropicales.

Les prairies tempérées occupent l'intérieur des continents, où les étés sont chauds et les hivers froids, où un tapis d'herbes courtes couvre le sol. Ce sont les steppes d'Eurasie, les pampas sud-américaines et les prairies australiennes.

Les prairies tropicales sont situées dans des zones où les températures sont élevées toute l'année et où les pluies ne tombent que l'été. La végétation est formée de grandes herbes, atteignant jusqu'à 3 mètres de hauteur, et d'arbres à la cime étalée et largement espacés. On y trouve les savanes, qui recouvrent un tiers de l'Afrique, et sont également présentes en Australie et en Amérique du Sud.

## Chapitre 5. Description sommaire des principaux écosystèmes

Les plus gros des herbivores et les plus rapides des carnivores fréquentent les prairies où la meilleure arme défensive est la vitesse ou la grande taille (Photo 9). Une autre stratégie consiste à chasser ou se déplacer en groupe. Ainsi, les gnous migrent par troupeaux de milliers

d'individus et les hyènes chassent en bande à la tombée de la nuit (**Raven et al., 2009 ; UNESCO, 2017**).

### 5.2. Écosystèmes aquatiques

Les écosystèmes aquatiques comprennent les eaux de surface telles que les rivières, les lacs et les étangs, ainsi que les océans. Ces écosystèmes abritent une variété d'organismes aquatiques, des micro-organismes aux poissons et aux mammifères marins.

les écosystèmes aquatiques regroupent différents types d'environnements d'eau douce et d'eau salée, tels que les rivières, les lacs, les étangs, les marais, les estuaires, les mangroves et les océans. Ils sont caractérisés par des conditions hydrologiques particulières et abritent une biodiversité riche et diversifiée. Voici quelques informations supplémentaires sur les écosystèmes aquatiques :

**Eaux de surface :** Les écosystèmes d'eau douce, comprenant les rivières, les lacs et les étangs, sont essentiels pour la vie terrestre et aquatique. Les rivières sont des cours d'eau en mouvement qui transportent de l'eau et des sédiments, fournissant des habitats à de nombreux organismes aquatiques. Les lacs et les étangs sont des étendues d'eau stagnante qui peuvent varier en taille, en profondeur et en composition chimique, abritant des écosystèmes complexes.

**Océans :** Les écosystèmes marins sont les plus vastes écosystèmes de la planète, couvrant environ 70 % de la surface terrestre. Les océans se divisent en différentes zones, telles que la zone intertidale, la zone pélagique (eau ouverte), les récifs coralliens, les mangroves et les abysses. Ils abritent une biodiversité incroyable, allant des micro-organismes marins aux grands mammifères marins, tels que les dauphins, les baleines et les requins.

**Productivité primaire :** Les écosystèmes aquatiques jouent un rôle crucial dans la production de biomasse grâce à la photosynthèse des organismes aquatiques, notamment les phytoplanctons, les

**Chapitre 5. Description sommaire des principaux écosystèmes**  
 algues et les plantes aquatiques. Ils sont responsables d'une grande partie de la production d'oxygène sur Terre et servent de base alimentaire pour de nombreuses autres espèces aquatiques.

**Interactions écologiques :** Les écosystèmes aquatiques présentent une grande diversité d'interactions écologiques, telles que la prédation, la compétition, la symbiose et la migration. Les interactions entre les organismes aquatiques façonnent la structure de l'écosystème, la disponibilité des ressources et la dynamique des populations.

**Menaces et conservation :** Les écosystèmes aquatiques sont confrontés à de nombreuses menaces, notamment la pollution, la surpêche, la destruction des habitats côtiers, le réchauffement climatique et l'acidification des océans. Ces pressions peuvent entraîner la perte de biodiversité, la dégradation des habitats et la perturbation des cycles écologiques. La conservation des écosystèmes aquatiques implique la protection des habitats, la gestion durable des ressources, la réduction de la pollution et l'établissement de réserves marines.

Il est important de souligner que les écosystèmes aquatiques sont des systèmes complexes et dynamiques, et que des recherches scientifiques continues sont menées pour mieux comprendre leur fonctionnement et leur conservation.

### 5.2.1. Les eaux de surface

Les eaux de surface comprennent les cours d'eau, les lacs et les étangs. Ces écosystèmes abritent une diversité d'espèces aquatiques et jouent un rôle crucial dans le cycle de l'eau, la filtration des nutriments et la régulation des débits d'eau (**Wetzel,2001**)

les eaux de surface, notamment les cours d'eau, les lacs et les étangs, sont des écosystèmes aquatiques essentiels. Voici quelques informations complémentaires sur ces écosystèmes :

**Cours d'eau :** Les cours d'eau sont des flux continus d'eau qui peuvent prendre la forme de rivières, de ruisseaux, de fleuves et de rivières souterraines. Ils jouent un rôle crucial dans le cycle de l'eau en permettant le transport de l'eau des zones plus élevées vers les zones plus basses. Les cours d'eau abritent une grande diversité d'espèces, notamment des poissons, des insectes aquatiques, des amphibiens et des plantes aquatiques. Ils fournissent également des habitats et des corridors essentiels pour la migration et la reproduction de nombreuses espèces.

## **Chapitre 5. Description sommaire des principaux écosystèmes**

**Lacs et étangs :** Les lacs et les étangs sont des plans d'eau plus vastes et plus calmes que les cours d'eau. Ils peuvent être formés par des processus naturels tels que les glaciers, les volcans ou les mouvements de la croûte terrestre, ou par des activités humaines telles que la construction de barrages. Les lacs et les étangs jouent un rôle important dans la régulation des débits d'eau en agissant comme des réservoirs naturels. Ils abritent également une grande diversité d'espèces aquatiques, notamment des poissons, des crustacés, des mollusques et des plantes aquatiques.

**Fonctions écologiques :** Les écosystèmes d'eau douce jouent plusieurs rôles écologiques essentiels. Ils participent au cycle de l'eau en régulant les débits, en contribuant à la recharge des nappes phréatiques et en évaporant l'eau dans l'atmosphère. Ils agissent également comme des filtres naturels en éliminant les polluants et les nutriments en excès présents dans l'eau. Les écosystèmes d'eau douce fournissent des services écosystémiques vitaux, tels que la purification de l'eau, la régulation des inondations, la stabilisation des sols et le maintien de la biodiversité.

**Menaces et conservation :** Les écosystèmes d'eau douce sont confrontés à diverses menaces, notamment la pollution des eaux, la dégradation des habitats, la surexploitation des ressources aquatiques, la construction de barrages et les espèces invasives. Ces pressions peuvent entraîner la détérioration de la qualité de l'eau, la perte d'habitats et la disparition d'espèces. Pour préserver ces écosystèmes, il est crucial de mettre en œuvre des mesures de conservation telles que la gestion durable des ressources, la réduction de la pollution, la préservation des zones humides et la restauration des habitats dégradés.

Il est important de noter que les écosystèmes d'eau douce varient en fonction de leur localisation géographique, de leur climat et de leur géologie. Les caractéristiques spécifiques des écosystèmes d'eau douce peuvent donc varier d'une région à l'autre.

### **5.2.2. Les océans**

Les océans sont les plus vastes écosystèmes de la planète, couvrant environ 70 % de sa surface. Ils abritent une biodiversité marine exceptionnelle et sont essentiels pour la régulation du climat, la production d'oxygène et la fourniture de ressources alimentaires et économiques

**(Levinton,2018).**

**Chapitre 5. Description sommaire des principaux écosystèmes**

Les facteurs écologiques déterminent, à l'échelle du globe, l'existence de grandes formations végétales. Ces communautés, bien caractérisées et relativement homogènes du point de vue de leur physionomie, sont appelées biomes, qui correspondent à de grandes biocénoses. Ces formations présentent une extension généralement considérable, en relation avec les grandes zones climatiques. Un biome est donc, une vaste région comprenant de nombreux écosystèmes qui interagissent (**Beaux, 2004 ; Raven et al., 2009**).

Les principaux écosystèmes à l'échelle du globe peuvent être résumés en forêts, en prairies, en déserts et en écosystèmes limniques (eaux de surface) et marins (océans).

les océans sont les plus vastes écosystèmes de notre planète, couvrant une grande partie de sa surface. Voici des informations complémentaires sur les océans :

**Étendue et diversité :** Les océans couvrent environ 70 % de la surface terrestre et sont divisés en cinq principaux bassins : l'océan Pacifique, l'océan Atlantique, l'océan Indien, l'océan Austral et l'océan Arctique. Les océans abritent une biodiversité marine extraordinaire, comprenant une multitude d'espèces, allant des micro-organismes tels que le phytoplancton et le zooplancton, aux grands mammifères marins comme les baleines, les dauphins et les phoques. Les récifs coralliens, les mangroves et les prairies d'algues marines sont également des écosystèmes marins importants.

**Rôle climatique :** Les océans jouent un rôle fondamental dans la régulation du climat de la Terre. Ils absorbent une grande partie de la chaleur provenant du soleil et de l'atmosphère, jouant ainsi un rôle crucial dans la distribution de la chaleur autour de la planète. De plus, les océans agissent comme des réservoirs de carbone, absorbant et stockant une quantité importante de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de l'atmosphère, ce qui aide à atténuer les effets du changement climatique.

**Production d'oxygène :** Les océans sont une source majeure de production d'oxygène sur Terre. Les micro-organismes marins, en particulier le phytoplancton, réalisent la photosynthèse et produisent une quantité considérable d'oxygène. En fait, on estime que près de la moitié de

**Chapitre 5.** Description sommaire des principaux écosystèmes  
l'oxygène que nous respirons est produit par les océans.

---

**Ressources alimentaires et économiques :** Les océans fournissent d'importantes ressources alimentaires et économiques. Les poissons et les fruits de mer provenant des océans sont une source de protéines essentielle pour des millions de personnes à travers le monde. De plus, les océans abritent des ressources économiques précieuses, comme le pétrole, le gaz naturel et les minéraux marins, qui sont exploités à des fins industrielles.

**Menaces et conservation :** Les océans sont confrontés à de nombreuses menaces, notamment la surpêche, la pollution marine, l'acidification des océans, la destruction des habitats côtiers, le réchauffement climatique et les espèces invasives. Ces menaces ont un impact négatif sur la biodiversité marine, la santé des écosystèmes et les communautés dépendantes des ressources marines. Pour protéger les océans, il est essentiel de promouvoir la pêche durable, de réduire la pollution marine, de créer des aires marines protégées et de soutenir la recherche scientifique pour mieux comprendre les écosystèmes marins.

La préservation des océans et de leur biodiversité est d'une importance capitale pour assurer la durabilité de notre planète et le bien-être des générations futures.

# *Références Bibliographiques*

- 
- Alberti, M., Marzluff, J. M., & Hunt, V. M. (2003).** Urban driven ecological change: framework for a synthesis. In *Ecology of Cities and Towns: A Comparative Approach*, Cambridge University Press. (pp. 1-15).
- Angelier E.** 2002. *Introduction à l'écologie, des écosystèmes naturels à l'écosystème humain*. Lavoisier, Éd. TEC & DOC, Paris. 230 p.
- Arms K. & Camp Pamela S.** 1989. *Biologie*. tome1, Éd. Études Vivantes, Montréal. 544 p.
- Barbault R.** 2008. *Écologie générale, structure et fonctionnement de la biosphère*. 6<sup>ème</sup> Éd. Dunod, Paris. 390 p.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006).** *Ecology: From individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing. 21 p.
- Beaux J.-F.** 2004. *L'environnement*. Nathan Éd., France. 160 p.
- Becker M., Picard J-F. & Timbal J.** 1983. *Les arbres*. Éd. Collection Verte Masson, Paris. 142 p.
- Bovet P., Rekacewicz P., Sinaï A. & Vidal D.** 2008. *L'Atlas de l'environnement*. Éd. Armond Colin, Paris. 103 p.
- Bugnicourt M.** 2005. *Écologie*. 4<sup>ème</sup> Éd. De Boeck Université, Bruxelles. 821 p.
- Campbell N. & Reece J.** 2007. *Biologie*. 7<sup>ème</sup> Éd. Pearson Éducation France, 1334 p.
- Chémery L.** 2004. *Petit atlas des climats*. Petite Encyclopédie, Larousse. 128 p.
- Coudurier C., Bourgogne A., Toussaint H.** 2012. *Guide pédologique, les sols*. Alterre Bourgogne, France. 32 p.
- Couvert D. & Teyssède-Couvert A.** 2010. *Écologie et biodiversité*. Éd. Belin, Paris Cedex. 336 p.
- Dajoz R.** 2006. *Précis d'écologie*. 8<sup>ème</sup> Éd. Dunod, Paris. 631 p.
- de Parcevaux S. & Huber L.** 2007. *Bioclimatologie, concepts et applications*. Éd. Quæ, Versailles Cedex. 336 p.
- Delbard O.** 2011. *Dictionnaire bilingue de l'environnement et du développement durable*. Pocket, Paris. 351 p.
- Delmas R., Chauzy S., Verstraete J-M. & Ferré H.** 2007. *Atmosphère, Océan et Climat*. Éd. Belin, Paris. 287 p.

- Duchaufour Ph.** 1997. Abrégé de pédologie. 5<sup>ème</sup> Éd. Masson, Paris. 291 p.
- Duchaufour Ph.** 1983. *Pédogenèse et classification*. 2<sup>ème</sup> Éd. Masson, Paris. 491 p.
- Ducroux R. & Jean-Baptiste P.** 2004. L'effet de serre, Réalité, Conséquences et Solutions. CNRS Éd., Paris. 95 p.
- CRE Laurentides** : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides), 2016. Protocole de mesure de la transparence de l'eau, 3<sup>ème</sup> Éd., Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550- 75374-2 (PDF). 9 p.
- El Aboudi A.** 2014. *Écologie générale « Écologie végétale »*. Université Mohamed V-Agdal, Faculté des Sciences, Rabat. 124 p.
- Faurie C., Ferra C., Médori P. & Dévaux P.** 2012. *Écologie, approche scientifique et pratique*. 6<sup>ème</sup> Éd. TEC & DOC, Paris. 488 p.
- Fischesser B. & Dupuis-Tate M-F.** 2007. *Le guide illustré de l'écologie*. QUAE Éd., France. 350 p.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2004).** Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 557-581.
- Frontier S., Pichod-Viale D., Leprêtre A., Davoult D. & Luczak C.** 2008. *Écosystèmes, Structure, Fonctionnement, Évolution*. 4<sup>ème</sup> Éd. Dunod, Paris. 576 p.
- Frontier S. & Pichod-Viale D.** 1991. *Écosystèmes, Structure-Fonctionnement-Évolution*. Masson, Paris. 391 p.
- Gaujous D.** 1995. *La pollution des milieux aquatiques*. Aide-mémoire. 2<sup>ème</sup> Éd. TEC & DOC, Paris. 220 p.
- Greulich S.** 2016. *Écologie - mise à niveau*. École polytechnique de l'Université de Tours, Département d'Aménagement et Environnement. UMR CNRS (IPAPE). 102 p.
- Holling, C. S. (1978).** Adaptive environmental assessment and management. John Wiley & Sons. 44 p
- 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.
- Krebs, C. J. (2014).** Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. Pearson. 55 p.

- 
- Laberche J-C.** 2010. *Biologie végétale*. 3<sup>ème</sup> Éd. Dunod, Paris. 304 p.
- Lacaze J-C.** 1996. *L'eutrophisation des eaux marines et continentales, causes, manifestations, conséquences et moyens de lutte*. Ellipses, Paris. 191 p.
- Lacoste A. & Salanon R.** 2006. *Éléments de biogéographie et d'écologie*. 2<sup>ème</sup> Éd. Armand Colin, Paris. 318 p.
- Lavoie S., Burton P. & Commission scolaire des Grandes Seigneuries.** 2004. *Guide d'apprentissage, Biologie, l'écologie*. Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec. 130 p.
- Lévêque C.** 2001. *Écologie, de l'écosystème à la biosphère*. Dunod, Paris. 502 p.
- Mackenzi A., Ball A. S. & Virdee S. R.** 2000. *L'essentiel en Écologie*. Berti Éd. Paris, 368 p.
- Mimeche L.** 2016. *Écologie et Environnement*. Polycopié de cours, Université Mohamed Khidar, Biskra. 36 p.
- Moatar F., Pannard A. & Souchu P.** 2017. *L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité*. Synthèse de l'Expertise Scientifique Collective CNRS - Ifremer - INRA - Irstea (France), 144 pages.
- Musy A.** 2005. *Cours hydrologie générale, chapitre 1 résumé*. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, France. 4 p.
- Nentwig W., Bacher S. & Brandl R.** 2009. *Écologie, manuel de synthèse*. Vuibert, Paris. 368 p.
- Odum, E. P. (2007).** *Fundamentals of ecology*. Cengage Learning. 7 p
- Ouali M-S.** 2001. *Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux*. OPU, Alger. 156 p.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003).** A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37-42.
- Pickett, S. T. A., et al. (2007).** *Urban Ecology: Understanding the Human Environment*. Springer. 20 p
- Pinay G., Gascuel C., Ménesguen A., Souchon Y., Le Moal M., Levain A., Etrillard C.,**
- Planas D., Vanier c. & Lavirotte E.** 2014. *Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont*. Cahier 2, connaissances et concepts. Univ. Du Québec, Montréal. 29 p.
- Primack, R. B. (2010).** *Essentials of conservation biology*. Sinauer Associates. 13 p
- Ramade F.** 2012. *Éléments d'Écologie, Écologie appliquée : action de l'homme sur la biosphère*.

- 
- 7<sup>ème</sup>Éd., Paris. 791 p.
- Ramade F.** 2009. *Éléments d'Écologie, Écologie fondamentale*. 4<sup>ème</sup> Éd. Dunod, Paris. 689 p.
- Ramade F.** 2008. *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. Dunod Éd. Paris, 726 p.
- Ramade F.** 2005. *Éléments d'Écologie, Écologie appliquée*. 6<sup>ème</sup> Éd. Dunod, Paris. 864 p.
- Ramade F.** 2003. *Éléments d'Écologie, Écologie fondamentale*. 3<sup>ème</sup> Éd. Dunod, Paris. 690 p.
- Ramade F.** 1998. *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau*. EdiscienceInternational, Paris. 786 p.
- Ramade F.** 1982. *Éléments d'Écologie, Écologie appliquée*. 3<sup>ème</sup> Éd. McGraw-Hill, Paris. 452 p.
- Raven P. H., Berg L. R. & Hassenzahl D. M.** 2009. *Environnement*. Éd. De Bœck Université, Bruxelles. 687 p.
- Ricklefs, R. E., & Relyea, R. A. (2018)**. The economy of nature. Macmillan Higher Education. 24 p
- Rodier J., Legube B. & Merlet N.** 2009. *L'analyse de l'eau*. 9<sup>ème</sup> Éd. DUNOD, Paris. 1526 p.
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., & Pounds, J. A. (2003)**. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421(6918), 57-60.
- Rubin J-F.** 2007. *Module Écologie, Les lacs*. Haute École d'Ingénierie et d'Architecture de Genève. 13 p.
- Savary p.** 2003. *Guide des analyses de la qualité de l'eau*. Éd. Techni.Cités, France. 283 p.
- Sottiaux B.** 2008. *Cours d'écologie générale et appliquée, notes de cours*. Cours industriels et commerciaux. Couillet, Belgique. 31 p.
- Stern C. & Bardos M.** 2008. *Environnement et écologie*. Actes Sud Junior/ADME. France, 302 p.
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2015)**. Elements of ecology. Pearson Education. 10 p.
- Soulard B.** 2007. *Écologie fondamentale, eau et milieux humides*. École des mines, Paris. 66 p.
- Tirard C., Barbault R., Abbadie L. & Lœuille N.** 2012. *Mini manuel d'écologie*. Dunod Éd. Paris, 157 p.
- Triplet P.** 2018. *Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature*. 4<sup>ème</sup> Éd., Baie de Somme, Grand Littoral Picard. France, 1096 p.
- Triplet P.** 2015. *Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature*. Baie de Somme, Grand Littoral Picard. France, 722 p.
- UNESCO**, Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture. 2017, *Kit pédagogique sur la biodiversité*. Vol. 1. UNESCO, Paris. 192 p.

---

**Vallée J-L.** 2004. *Techniguide de la Météo*. Nathan Éd., Paris. 221 p.

