

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



Polycopié de Cours d'Ecologie Générale

Destiné aux étudiants de 2ème Année LMD

Conçu et préparé

Par

Dr. HANI Meriem

Année Universitaire 2020/2021

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| AVANT-PROPOS | I |
| L'EMERGENCE DE LA PENSEE ECOLOGIQUE: QUELQUES DATES CLEFS | II |
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE 1: NOTION D'ECOSYSTEME | 4 |
| 1.1. DEFINITION DE L'ECOSYSTEME ET DES CONSTITUANTS | 4 |
| <i>1.1.1.Écosystème</i> | 4 |
| <i>1.1.2. Notion de biocénose</i> | 15 |
| <i>1.1.3. Notion de biotope</i> | 15 |
| 1.2. BIOME (BIOME) | 15 |
| <i>1.2.1. Les biomes terrestres</i> | 15 |
| <i>1.2.2. Les biomes aquatiques</i> | 16 |
| 1.3. BIOSPHERE | 18 |
| 1.4. FACTEUR ECOLOGIQUE | 19 |
| 1.5. DOMAINES D'INTERVENTION | 26 |
| CHAPITRE 2 : LES FACTEURS DU MILIEU | 29 |
| 2.1. FACTEURS ABIOTIQUES | 29 |
| <i>2.1.1. Facteurs climatiques</i> | 29 |
| 2.1.1.1. Température | 37 |
| 2.1.1.2. Pluviométrie | 42 |
| 2.1.1.3. Lumière | 42 |
| 2.1.1.4. Vent | 45 |
| 2.1.1.5. Neige | 46 |
| <i>2.1. 2. Facteurs édaphiques</i> | 46 |
| 2.1.2.1. Texture du sol | 47 |
| 2.1.2.2. Structure du sol | 47 |
| 2.1.2.3. L'hygrométrie | 48 |
| 2.1.2.4. Le pH du sol | 49 |
| 2.1.2.5. Eléments minéraux | 50 |
| 2.1.2.6. Le gaz carbonique atmosphérique | 50 |
| <i>2.1.3. Facteurs hydriques</i> | 51 |
| 2.2. Factures biotiques | 54 |
| 2.2.1. Coactions homotypiques | 54 |
| 2.2.1.1. L'effet de groupe | 54 |
| 2.2.1.2. L'effet de masse | 55 |
| 2.2.1.3. La compétition intraspécifique | 55 |
| 2.2.2. Coactions hétérotypiques | 56 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.2.1. Compétition | 56 |
| 2.2.2.2. Prédation (Ravageurs et Prédateurs) | 57 |
| 2.2.2.3. Parasitisme | 58 |
| 2.2.2.4. Amensalisme | 58 |
| 2.2.2.5. Commensalisme | 59 |
| 2.2.2.6. Neutralisme | 59 |
| 2.2.2.7. Coopération | 59 |
| 2.2.2.8. Symbiose | 59 |
| 2.3. INTERACTION DES MILIEUX ET DES ETRES VIVANTS | 61 |
| 2.3.1. Rôle des facteurs écologiques dans la régulation des populations | 61 |
| 2.3.2. Notion d'optimum écologique (Loi de tolérance ou loi de Shelford) | 62 |
| 2.3.3. Valence écologique | 64 |
| 2.3.4. Facteur limitant (loi du minimum) | 66 |
| 2.3.5. Niche écologique | 67 |
| 2.3.6. Habitat | 68 |
| CHAPITRE 3 : STRUCTURE DES ECOSYSTEMES | 70 |
| 3. STRUCTURE DES CHAINES ALIMENTAIRES | 70 |
| 3.1. RELATIONS ENTRE LES PRODUCTEURS (AUTOTROPHES) ET LEUR DEPENDANCE DES NUTRIMENTS ET DE L'ENERGIE LUMINEUSE OU CHIMIQUE | 70 |
| 3.1.1. Chaîne trophique | 70 |
| 3.1.2. Réseau trophique | 72 |
| 3.1.3. Les producteurs primaires ou autotrophes | 73 |
| 3.2. LES CONSOMMATEURS (HETEROTROPHES) QUI SONT LIES AUX PRODUCTEURS | 74 |
| 3.2.1. Les consommateurs de matière fraîche | 74 |
| 3.2.2. Les consommateurs de cadavres d'animaux | 74 |
| 3.3. LES DECOMPOSEURS QUI ASSURENT LE RECYCLAGE ET LA MINERALISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE | 75 |
| 3.4. DIFFERENTS TYPES DE CHAINES TROPHIQUES | 75 |
| 3.4.1. Chaînes de prédateurs | 75 |
| 3.4.2. Chaînes de parasites | 76 |
| 3.4.3. Chaînes de détritivores | 76 |
| CHAPITRE 4 : FONCTIONNEMENT DES ECOSYSTEMES | 77 |
| 4.1. FLUX D'ENERGIE AU NIVEAU DE LA BIOSPHERE : | 77 |
| 4.2. NOTIONS DE PYRAMIDES ECOLOGIQUES, DE PRODUCTION, DE PRODUCTIVITE ET DE RENDEMENT BIOENERGETIQUES | 81 |
| 4.2.1. Pyramide écologique | 81 |
| 4.2.1.1. Pyramide des nombres : | 82 |
| 4.2.1.2. Pyramide des biomasses : | 83 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1.3. Pyramide des énergies: | 84 |
| 4.2.2. <i>Production</i> | 85 |
| 4.2.3. <i>Productivité</i> | 86 |
| 4.2.3.1. Productivité brute | 87 |
| 4.2.3.2. Productivité nette | 87 |
| 4.2.3.3. La productivité secondaire | 88 |
| 4.2.4. <i>Les rendements écologiques</i> | 90 |
| 4.2.4.1. Rendement écologique : | 90 |
| 4.2.4.2. Rendement d'exploitation : | 90 |
| 4.2.4.3. Rendement de production nette : | 90 |
| 4.3. CIRCULATION DE LA MATIERE DANS LES ECOSYSTEMES ET PRINCIPAUX CYCLES | |
| BIOGEOCHIMIQUES | 90 |
| 4.3.1. <i>Cycle de l'eau, cycle hydrologique</i> | 91 |
| 4.3.2. <i>Cycles biogéochimiques à phase gazeuse</i> | 93 |
| 4.3.2.1. Cycle du carbone | 93 |
| 4.3.2.2. Cycle de l'azote | 95 |
| 4.3.3. <i>Cycles biogéochimiques à phase sédimentaire</i> | 98 |
| 4.3.3.1. Cycle du phosphore | 98 |
| 4.4. INFLUENCE DES ACTIVITES HUMAINES SUR LES EQUILIBRES BIOLOGIQUES ET PARTICULIEREMENT SUR LA PERTURBATION DES CYCLES BIO GEOCHIMIQUES | 100 |
| 4.5. CONSEQUENCES DE LA POLLUTION DES MILIEUX AQUATIQUES ET DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE (EUTROPHISATION , EFFET DE SERRE , OZONE, PLUIES ACIDES.) | 105 |
| 4.5.1. <i>Eutrophication</i> | 109 |
| 4.5.2. <i>Effet de serre</i> | 110 |
| 4.5.3. <i>Trou dans la couche d'ozone</i> | 114 |
| 4.5.4. <i>Les pluies acides</i> | 116 |
| CHAPITRE 5 : DESCRIPTION SOMMAIRE DES PRINCIPAUX ECOSYSTEMES | 117 |
| 5.1. FORET, PRAIRIE, EAUX DE SURFACE, OCEAN | 117 |
| 5.1.1. <i>Forêt</i> | 117 |
| 5.1.2. <i>Prairie</i> | 118 |
| 5.1.3. <i>Eaux de surface</i> | 119 |
| 5.1.3.1. <i>Eaux courantes</i> | 120 |
| 5.1.3.2. <i>Eaux stagnantes</i> | 120 |
| 5.1.4. <i>Océan</i> | 124 |
| 5.2. EVOLUTION DES ECOSYSTEMES ET NOTION DE CLIMAX | 126 |
| 5.2.1. <i>Successions écologiques</i> | 128 |
| 5.2.2. <i>Notion de climax</i> | 131 |
| REFERENCES | 133 |

Listes des figures

| | |
|--|-----------|
| <i>Figure 1: Schéma du fonctionnement d'un écosystème.....</i> | <i>5</i> |
| <i>Figure 2: Répartition des biomes.....</i> | <i>19</i> |
| <i>Figure 3: Zonation vertical de la biosphère et répartition des macro-écosystèmes.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Figure 4: Représentation sous forme de « gâteau feuilleté » de la hiérarchie des sciences biologiques par ordre de complexité croissante.....</i> | <i>28</i> |
| <i>Figure 5: Classification des climats méditerranéens à partir du quotient pluviothermique d'Emberger.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Figure 6: Carte de répartition des climats à l'échelle du globe.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Figure 7: Migration des gnous (Connochaetes taurinus) entre le sud du Kenya et la Tanzanie</i> | <i>41</i> |
| <i>Figure 8: Répartition de la pluviométrie à la surface des continents.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Figure 9: Limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié.....</i> | <i>63</i> |
| <i>Figure 10: Intensité d'un Facteur écologique (Température).....</i> | <i>63</i> |
| <i>Figure 11 : Exemple d'une espèce à forte valence écologique (euryèce) et une espèce à faible valence écologique (sténoèce).....</i> | <i>65</i> |
| <i>Figure 12 : Exemple de chaine trophique.....</i> | <i>70</i> |
| <i>Figure 13: Schéma général des deux types fondamentaux des chaînes trophiques dans la biosphère : terrestres et aquatiques.....</i> | <i>70</i> |
| <i>Figure 14 : Representation d'un reseau trophique.....</i> | <i>72</i> |
| <i>Figure 15 : Structure globale d'une chaîne alimentaire.....</i> | <i>75</i> |
| <i>Figure 16 : Flux d'énergie à travers un réseau trophique.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Figure 17 : La répartition de l'énergie au niveau des producteurs et des consommateurs.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Figure 18 : Diverse schématisation des pyramides écologiques.....</i> | <i>80</i> |
| <i>Figure 19 : Pyramide des nombres.....</i> | <i>81</i> |
| <i>Figure 20 : Pyramide des biomasses.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Figure 21 : Pyramide d'énergie.....</i> | <i>83</i> |

| | |
|---|------------|
| <i>Figure 22 : Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire</i> | <i>88</i> |
| <i>Figure 23 : Schéma général du cycle de l'eau</i> | <i>92</i> |
| <i>Figure 24 : Schéma général du cycle du Carbone</i> | <i>93</i> |
| <i>Figure 25: Schéma simplifié du cycle du carbone représentant les principaux flux et stocks dans la biosphere</i> | <i>94</i> |
| <i>Figure 26 : Schéma général du cycle de l'azote</i> | <i>97</i> |
| <i>Figure 27 : Schéma général du cycle du phosphore</i> | <i>99</i> |
| <i>Figure 28: Forêt ombrophile tropicale dans le parc national de Corcovado</i> | <i>117</i> |
| <i>Figure 29: Prairie de graminées</i> | <i>118</i> |
| <i>Figure 30 : Une mare de grande taille</i> | <i>120</i> |
| <i>Figure 31: Un lac dans le parc naturel régional du Queyras</i> | <i>122</i> |
| <i>Figure 32 : Succession secondaire sur un champ abandonné en Caroline du Nord (Etats-Unis)...</i> | <i>129</i> |
| <i>Figure 33: Transect dans la région côtière du Nord de la Californie mettant en évidence la coexistence d'un climax climatique et de deux climax édaphiques</i> | <i>132</i> |
| <i>Figure 34 : Transformation successive d'une communauté en une autre jusqu'à l'établissement d'une communauté stable (climax)</i> | <i>132</i> |

Liste des tableaux

| | |
|---|------------|
| <i>Tableau1:Les propriétés physiques de l'eau</i> | <i>52</i> |
| <i>Tableau 2: Tableau récapitulatifs des différentes interactions entre espèces</i> | <i>60</i> |
| <i>Tableau 3: Quelques exemples des termes les plus utilisés pour désigner les facteurs écologiques</i> | <i>64</i> |
| <i>4</i> | |
| <i>Tableau 4 : Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère</i> | <i>104</i> |
| <i>Tableau 5: L'eau dans la biosphere</i> | <i>123</i> |

*«C'est une triste chose de songer que la nature parle et que le genre humain ne
l'écoute pas...»*

Victor Hugo

Nous n'héritons pas de la terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants.

Saint Exupéry

AVANT-PROPOS

Ce polycopié est le support de cours de la matière **Ecologie Générale**; unité d'enseignement méthodologie. Code: UEM 2.2.1Crédits: 4.Coefficients: 2.Destiné aux étudiants de **2ème Année LMD** avec un volume horaire semestriel de 16 semaines.

Ce polycopié est une synthèse établie à partir de divers ouvrages. C'est un support de cours qui a l'ambition de jouer le rôle de facilitateur pédagogique. L'objectif principal de la matière est d'acquérir une connaissance des notions générales de l'écologie; il s'agit essentiellement de connaître les concepts de base tels que la notion de facteurs écologiques, la notion de communautés vivantes: biocénoses, écosystèmes, biomes. Aussi, à travers la notion de facteurs écologiques, abiotiques et biotiques, les variables les plus significatives pour les biocénoses seront abordées.

L'émergence de la pensée écologique: quelques dates clefs

1805 : Alexandre de Humboldt, géographe et explorateur, observe les étages de végétation sur les flancs du mont Chimborazo à l'équateur. Il semble évident que la répartition des paysages végétaux à la surface du globe est fonction des climats.

1838: le botaniste allemand Grisebach crée le concept de "formation phytogéographique".

1866 : le biologiste allemand Ernst Haeckel propose le terme d'écologie pour désigner une nouvelle science des relations des organismes avec leur environnement mais il ne pratiquera pas l'écologie. C'est le danois Eugen Warming, professeur de botanique qui entreprend les premiers travaux d'écologie végétale.

1877: Möbius, en observant un banc d'huîtres, constate que les organismes vivants ne sont jamais réunis au hasard mais groupés en communautés vivantes.

1901: le botaniste Flahaut définit le concept d'association végétale.

1913: Braun-Blanquet et son école entament la recherche des espèces caractéristiques des différentes associations végétales. Fondation, la même année, de la Société britannique d'écologie.

1926: le Soviétique Vernardsky parle pour la première fois de biosphère;

1935: l'écologue anglais A.G. Tansley invente le mot "écosystème"

1939: création de l'expression "écologie du paysage" par le bio-géographe allemand Troll.

1941: l'écologue américain Raymond Lindeman, se basant sur l'étude d'un lac, présente une théorie du fonctionnement des écosystèmes à partir de la production végétale photosynthétique et de l'énergie solaire. La notion de réseau trophique émerge.

1953 : les frères Odum comparent les écosystèmes à des unités de production industrielles, leur ouvrage Fundamentals of ecology sera la bible des écologues.

1960: Ranon Margalef approfondit la notion de "niche écologique".

1967: naufrage du Torrey Canyon.

1968 : conférence de l'UNESCO à Paris sur l'utilisation rationnelle et la conservation des ressources de la biosphère. conférence de Stockholm sur la dégradation de l'environnement du globe.

1982: Création de l'Association internationale pour l'écologie du paysage.

1992: Sommet de la Terre à Rio de Janeiro. Idée maîtresse: les problèmes d'environnement et de développement sont liés. Une convention-cadre sur la préservation de la diversité biologique est cosignée par 157 pays.

1995: Conférence mondiale de Berlin sur les changements climatiques et l'effet de serre.

Conférence de Johannesburg.

Introduction

C'est en 1866 que Hæckel proposa le terme d'écologie pour désigner la science de l'habitat (du grec οἶκος= maison). Pour cet auteur, cette nouvelle discipline avait pour objectif d'étudier les êtres vivants dans leurs milieux naturels et non plus dans les conditions de laboratoire. Dans son ouvrage Morphologie générale des organismes, il désignait par ce terme: « **La science des relations des organismes avec le monde environnant, c'est-à-dire, dans un sens large, la science des conditions d'existence.** »

L'écologie est la science qui étudie les relations entre les organismes et leur environnement. Elle vise à expliquer les liens entre la structure et le fonctionnement des écosystèmes. De fait, un(e) écologiste est intéressé(e) avant tout par les rôles fonctionnels d'une espèce et par son importance dans le maintien de l'intégrité d'un écosystème, plutôt que par l'espèce elle-même. Pour cette raison, une espèce d'insectes défoliateurs peut être beaucoup plus importante, écologiquement parlant, qu'une espèce de mammifères de plus grande taille. Dans le contexte actuel des changements climatiques, l'écologie revêt une importance particulière puisqu'il est essentiel de comprendre comment les espèces végétales et animales réagiront à leur nouvel environnement (tant biotique qu'abiotique) pour assurer une conservation efficace des écosystèmes pour les générations futures.

Durant quelques décennies, les pionniers de l'écologie ont tenté d'expliquer la répartition géographique d'espèces considérées séparément (ce qui a été dénommé l'autécologie) à partir de leurs réponses aux conditions physiques et chimiques de l'environnement en fonction de leurs caractéristiques physiologiques.

Mais assez rapidement, il est apparu que ce type d'analyse était très réductionniste, dans la mesure où le développement et la répartition géographique d'une espèce ne sont pas uniquement régulés par son

adaptation au climat local, à la composition chimique du sol, de l'air ou de l'eau, mais également par ses interactions (prédation, compétition, facilitation...) avec les espèces avoisinantes. Il s'avérait donc indispensable de ne pas isoler une espèce de son environnement biologique, et d'aborder l'étude d'ensembles plurispécifiques, objet de la synécologie.

C'est dans les années 1960 qu'a émergé le concept actuel d'écologie. Les êtres vivants étant en inter-relations tant entre eux (relations intra et interspécifiques) qu'avec le milieu naturel (dont ils subissent les contraintes, mais qu'ils contribuent à modifier), c'est l'ensemble de ces inter-relations qu'il convient d'aborder pour comprendre l'organisation et le fonctionnement des systèmes naturels ou écosystèmes.

Ceux-ci peuvent être considérés comme des « super-organismes » présentant des propriétés globales non prévisibles par la seule étude des propriétés des éléments qui les composent. Pourrait-on envisager de comprendre le fonctionnement du corps humain en se limitant à l'étude, en laboratoire, des caractéristiques des cellules nerveuses, hépatiques, musculaires...?

Cette approche globale, prenant en compte de manière concomitante, les paramètres physiques, chimiques et biologiques ainsi que les liaisons fonctionnelles existant entre les composantes des systèmes naturels, s'inscrit dans le cadre général de l'analyse des systèmes complexes. Cette analyse, la systémique, est par ailleurs un courant de pensée beaucoup plus ancien que l'écologie, et va de la physiologie à la linguistique en passant par la physique, l'économie et la sociologie. Science de synthèse, c'est-à-dire utilisant les connaissances et les méthodes de nombreuses autres disciplines, l'écologie a permis depuis quelques décennies, grâce à son approche globale des processus, de mieux comprendre la «logique du vivant ». Cette logique se caractérise, au niveau des écosystèmes, par une augmentation, avec le temps, de la complexité des structures, en raison d'une consommation d'énergie. Le parallèle avec l'évolution des sociétés humaines apparut très vite comme évident...

L'écologie se devait-elle alors d'être 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.

Chapitre 01: Notion d'écosystème

1.1. Définition de l'écosystème et des constituants

1.1.1.Écosystème

Introduit en 1935, le terme écosystème est aujourd'hui employé dans tous les travaux de biogéographie et d'écologie, au point d'être présent depuis la fin des années 1960 et le début des années 1970 dans les dictionnaires de langue et les encyclopédies. L'introduction de ce terme n'est pas le fruit du hasard ni son succès l'effet d'une mode ; ce qui se joue en fait autour de ce mot, c'est la construction d'un concept.

L'objet immédiatement perceptible pour le naturaliste est un individu. Cet individu peut être rattaché à telle ou telle espèce, lombric, pervenche ou mésange charbonnière. Les individus n'ont de sens, pour l'écologue, qu'au travers du système de relations qui les lient, d'une part à d'autres individus de la même espèce et d'autre part à d'autres espèces et à leur environnement physico-chimique. On parlera de système écologique.

Selon la convention sur la diversité biologique: complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de microorganismes et de leur environnement non vivant qui, par leurs interactions, forment une unité fonctionnelle. Un écosystème correspond à l'ensemble des populations (individus de différentes espèces) vivant sur une aire géographique délimitée qui contient les ressources nécessaires à leur survie et à leur pérennité. Il inclut également les composants physiques de l'environnement avec lesquels les organismes interagissent, tels que l'air, le sol, l'eau ou le soleil. Un flux de matière et d'énergie relie les différents constituants de l'écosystème grâce à la naissance et à la mort des individus. L'ensemble des organismes habitant un écosystème particulier est appelé communauté ou biocénose.

« Écosystème = Biocénose ⊗ Biotope »

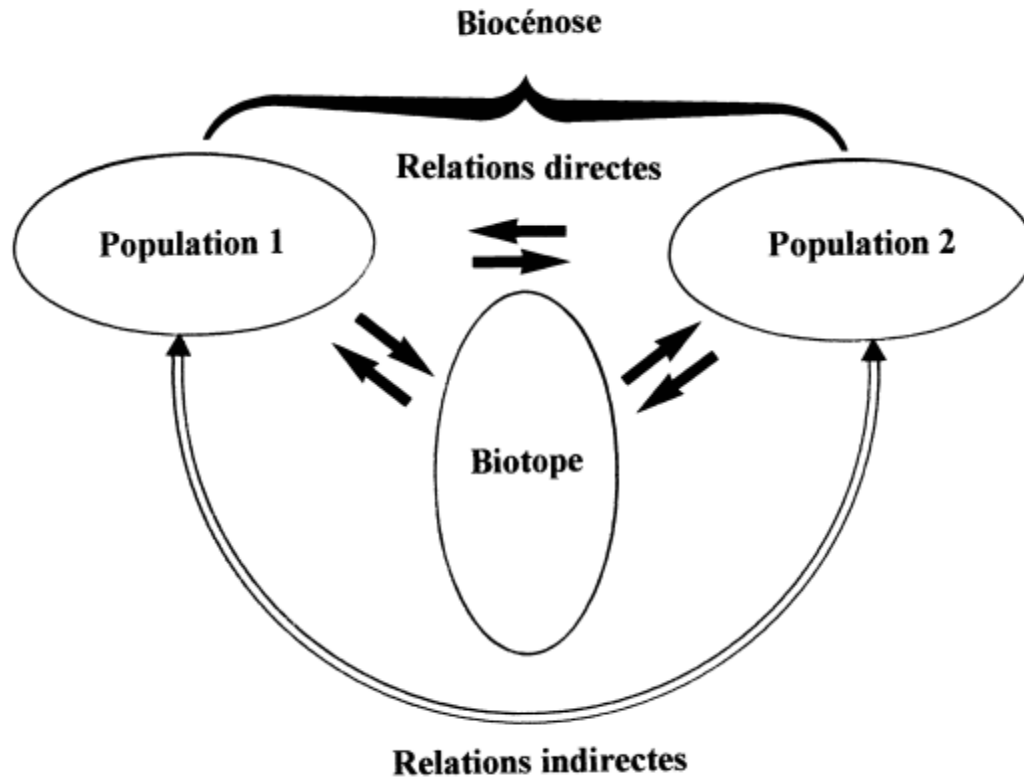


Figure 1: Schéma du fonctionnement d'un écosystème

(Faurie et al., 2012)

Les limites d'un écosystème sont définies par les interactions dynamiques, parfois appelées processus écosystémiques, parmi les composantes d'un écosystème (végétaux, faune, climat, paysage et activités humaines). Les limites d'un écosystème sont indépendantes de l'échelle ou de la localisation des processus écosystémiques qui se produisent à une multitude d'échelles.

Cette notion d'écosystème est multi-scalaire (multi-échelle) pouvant s'appliquer à des portions de dimensions variables de la biosphère; un lac ou une forêt (mésosystème), un arbre (micro-écosystème), une région ou un biome (macro-écosystème).

De plus, les écosystèmes sont souvent classés par référence aux biotopes concernés; on pourra alors distinguer les écosystèmes continentaux(ou terrestres) tels que: les écosystèmes forestiers

(forêts), les écosystèmes prairiaux (prairies), les écosystèmes des eaux continentales(écosystèmes lenticques des eaux calmes à renouvellement lent (lacs, marécages, ou écosystèmes lotiques des eaux courantes (rivières, fleuves) et les écosystèmes océaniques(mers, oceans).

Tout comme la diversité biologique est la somme de la variabilité au sein des espèces (génétique), entre les espèces et entre les écosystèmes, on peut considérer comme élément structurel clé des fonctions d'un écosystème la capacité des processus et composantes de l'écosystème naturel ou non, à fournir des biens et services qui satisfont directement ou non les besoins humains. Ces fonctions sont globalement regroupées en quatre catégories, la régulation, l'habitat, la production et l'information.

Les fonctions d'un écosystème peuvent être vues comme étant le résultat observable des processus écosystémiques et de la structure de l'écosystème. Dans le groupe de fonctions écosystémiques, un ensemble de services écosystémiques ayant des avantages visibles pour les sociétés humaines peut être identifié.

L'écosystème est donc l'ensemble des liens fonctionnels entre les éléments naturels inertes et vivants. Ces relations se produisent sous la forme de chaîne ou de cycle. La première catégorie est celle des chaînes trophiques : les substances physiques ou organiques alimentent les végétaux qui alimentent les animaux herbivores qui alimentent les animaux carnivores ; les micro-organismes décomposeurs intervenant à tous les maillons. La seconde catégorie est l'expression de ces chaînes en termes d'énergie : les végétaux sont transformateurs et accumulateurs d'énergie, d'origine solaire notamment, et les animaux sont consommateurs (et transformateurs) d'énergie.

La typologie des écosystèmes est fondée sur la mesure des flux et des transferts d'énergie à chaque niveau. Les écosystèmes naturels sont plus ou moins stables et équilibrés. Mais il y a peu

d'écosystèmes fermés, sans rapport avec l'écosystème voisin. C'est surtout l'apparition d'une action humaine finalisée qui est responsable d'écosystèmes à productivité très variable, à bilan énergétique positif ou négative

✓ **Écosystème de référence**

Écosystème analogue dans le monde réel ou écosystème hypothétique qui définit un état futur idéal d'une aire de terre ou d'eau à la suite d'un projet de restauration écologique. Il sert donc de modèle pour la planification d'un projet de restauration et ensuite pour son évaluation. Dans sa forme la plus simple, la référence est un site réel ou sa description écrite ou les deux. La limite est qu'il représente un seul état ou une seule expression des attributs d'un écosystème. La référence retenue peut donc n'être qu'une option, parmi différents états potentiels, qui se place dans la gamme de variations de cet écosystème. La référence reflète une combinaison particulière d'événements stochastiques qui se produisent pendant le développement de l'écosystème.

✓ **Écosystèmes aquatiques**

Regroupent les écosystèmes côtiers, marins et d'eau douce et correspondent à des écosystèmes particulièrement importants pour la biodiversité. Les écosystèmes d'eau douce ne représentent qu'une infime partie de la surface du globe mais ils contiennent un pourcentage très élevé de la biodiversité. Ils sont, localement, d'une très grande importance pour les populations humaines, et généralement pour les plus pauvres d'entre elles. Les écosystèmes d'eau douce constituent une ressource très fortement exploitée par une large gamme d'usages, dont beaucoup ont un impact important sur la biodiversité. On peut citer, parmi les principales, la surexploitation des ressources et le développement des espèces invasives et on peut donc considérer ces écosystèmes comme globalement menacés.

Les écosystèmes marins couvrent plus de 70 % de la surface du globe mais, proportionnellement, ils présentent une diversité moindre que les écosystèmes terrestres. Les pêches marines fournissent une source très importante de protéines pour les humains, mais les espèces pêchées souffrent pratiquement toutes de la surexploitation et d'une pollution de plus en plus importante, que ce soit en macro ou en microdéchets.

Les écosystèmes côtiers et les mers intérieures souffrent de la pollution de la dégradation des habitats en raison d'une pression démographique sur les côtes qui ne fait qu'augmenter. Gérer ces écosystèmes peut s'avérer particulièrement complexe en raison du fait qu'ils ne peuvent être considérés isolément. Ils sont en effet la plupart du temps partagés entre différents pays et l'impact d'une pollution peut provenir d'une source étrangère, ce qui nécessite donc une gestion internationale que seules les conventions internationales permettent de prendre en compte. Des programmes de travail sont à cet égard développés au sein de la convention pour la diversité biologique pour les eaux continentales d'une part et les eaux marines et côtières d'autre part.

✓ **Écosystèmes arides**

Bien que non caractérisés par une richesse spécifique élevée, ces écosystèmes renferment des espèces de haute valeur patrimoniale et présentent des problèmes de gestion très particuliers compte tenu du contexte. Ils sont localement très importants pour certaines populations humaines, notamment pour l'élevage, les productions de plantes médicinales et d'autres produits de forte valeur commerciale.

Ils sont menacés par la conversion des terres pour d'autres usages, particulièrement par l'irrigation, par la désertification, par les pompages d'eau en soussol, par des régimes de feux non appropriés et par le surpâturage. L'évaluation des pressions et le suivi du statut de la biodiversité sont compliqués en raison

des faibles densités des populations animales et du caractère nomade de la faune et des humains dans ces écosystèmes.

✓ **Écosystèmes associés**

Ensemble en relation permanente ou temporaire avec le milieu courant par des connexions soit superficielles soit souterraines : îles, bras morts, prairies inondables, forêts inondables, ripisylves, sources et rivières phréatiques.

✓ **Écosystèmes dunaires**

Écosystèmes caractérisés par l'extrême porosité de leurs sols qui empêche l'accumulation d'eau et nécessite de la part des végétaux le développement d'un système racinaire important soit en pivot, soit en ramification afin de récupérer autant d'eau que possible. Outre l'adaptation de ces végétaux, il faut noter que cette caractéristique permet de fixer le sable des dunes mobiles (dites également blanches) vers un stade partiellement végétalisé (dunes grises).

✓ **Écosystèmes émergents**

Écosystèmes devenant différents, par la composition et l'abondance relative des espèces, de ce qu'ils étaient auparavant en raison de changements en cours et souvent non prévisibles, causés par des forces et impacts naturels, sociaux, économiques et culturels. Ces écosystèmes sont le résultat d'actions humaines délibérées ou accidentelles mais ne dépendent pas de l'intervention continue des humains pour leur maintien.

✓ **Écosystèmes en bonne santé**

Des écosystèmes sont considérés comme en bonne santé quand les interactions entre les différentes espèces animales et végétales sont en équilibre dans le biotope. Des écosystèmes en bonne santé réduisent leur vulnérabilité aux risques tout en agissant comme des tampons

physiques pour réduire les conséquences de ces risques. Ainsi les infrastructures naturelles sont souvent efficaces pour réduire les impacts d'événements imprévus et sont généralement moins coûteuses que des infrastructures construites par l'Homme.

Les catastrophes entravent les buts de développement et cependant peu de gouvernements ou d'organisations de développement adoptent une démarche précautionneuse dans la définition et la gestion de projets, et peu reconnaissent le rôle et la valeur de la gestion des écosystèmes pour la réduction des risques de catastrophes.

Le bien-être humain dépend des écosystèmes qui permettent également aux personnes de supporter, faire face et récupérer de catastrophes. Les populations les plus pauvres sont généralement celles qui sont les plus sensibles aux catastrophes et ce fait est exacerbé là où les écosystèmes sont fortement dégradés. Les écosystèmes diversifiés et en bonne santé sont plus résilients aux événements météorologiques extrêmes. À l'inverse, des écosystèmes dégradés sont plus susceptibles d'être endommagés par des événements météorologiques extrêmes et sont également moins capables de séquestrer du carbone, ce qui augmente encore leur vulnérabilité.

✓ **Écosystèmes forestiers**

Réservoirs importants de la biodiversité à ses trois niveaux (écosystèmes, espèces, gènes) et qui contiennent plus de la moitié de toutes les espèces. Ils abritent de grandes populations indigènes et fournissent du bois d'œuvre, du combustible, des plantes médicinales et d'autres produits utilisés couramment par la civilisation moderne. Ils sont des réservoirs importants de carbone et jouent un rôle fondamental dans le cycle du carbone et donc dans le problème des changements climatiques.

Les forêts naturelles sont soumises à la pression liée à leur conversion afin de satisfaire aux besoins des populations humaines et plus de la moitié de la forêt primitive a été

perdue ou est dégradée. Cette nature complexe et la grande biodiversité militent pour la mise en place d'un suivi très fort. De nombreux taxa sont encore inconnus du monde scientifique et globalement, les espèces connues souffrent d'un déficit de connaissances en raison, souvent, de problèmes logistiques dans les forêts tropicales et bien des incertitudes demeurent sur le fonctionnement de ces milieux.

✓ **Écosystèmes lentiques**

Écosystèmes limniques dans lesquels le renouvellement de l'eau est très lent (lacs, étangs, marais). La photosynthèse se fait essentiellement en surface par le phytoplancton ; la matière organique est consommée par le zooplancton et les organismes du necton (poissons...). Les débris organiques tombent sur le fond, sont consommés par le zoobenthos détritivore et minéralisés lentement, sur place. Si la lame d'eau est importante, les échanges gazeux avec l'atmosphère sont très faibles dans les basses couches.

✓ **Écosystèmes limniques**

Ensemble des eaux courantes, lacustres et stagnantes, continentales.

✓ **Écosystèmes lotiques**

Écosystèmes limniques dans lesquels le renouvellement de l'eau est très rapide (fleuves, rivières, torrents). Un écosystème lotique comporte quatre régions bien distinctes d'altitude décroissante :

- *crénon* : représente la région la plus élevée correspondant aux sources généralement situées en zone montagneuse ;
- *rhitron* : constitue la partie supérieure du cours d'eau, il possède une eau bien oxygénée ;
- *potamon* : partie inférieure de l'écosystème lotique, située en plaine et correspondant à des

cours d'eau à débit lent caractérisés par des biotopes de nature eutrophe (riches en éléments nutritifs très productifs) ;

- *estuaire* : dernière région de l'écosystème lotique, zone de mélange des eaux fluviales et marines, elle présente une augmentation graduelle de salinité vers l'aval, et une turbidité élevée des eaux chargées en sédiments, et une grande productivité biologique.

✓ **Ecosystèmes marins vulnérables**

Écosystèmes fragiles de la haute mer qui comprend des espèces benthiques vulnérables aux engins de pêche et ont une faible capacité à récupérer de perturbations, en raison de leurs traits de vie (croissance lente, maturité lente, grande longévité, faible niveau de recrutement.

✓ **Écosystèmes montagnards**

Les écosystèmes montagnards sont difficiles à définir car fondés sur une combinaison de l'altitude, de la topographie et du climat. Ils fournissent généralement une diversité plus basse que les zones de vallées adjacentes mais ont des plus hauts taux d'endémisme et sont souvent des aires refuges pour des espèces aux effectifs réduits ou ayant été délogées des terres basses adjacentes.

La densité de la population humaine y varie très fortement, très élevée dans certaines zones, avec des humains dépendant essentiellement des ressources naturelles, très basse dans d'autres avec des humains simplement en passage. Les écosystèmes montagnards fournissent des services écosystémiques importants, particulièrement pour le cycle de l'eau et pour la conservation des sols, services qui concernent de plus vastes populations que les seuls habitants des montagnes. La topographie escarpée, des sols peu importants et une faible productivité à haute altitude rendent les écosystèmes et la biodiversité montagnards particulièrement vulnérables aux perturbations.

Les écosystèmes montagnards sont menacés par les activités de conversion des terrains en raison de l'expansion des populations, par la coupe non durable de bois et, localement, par le sur ou le sous pâturage. Les espèces locales ont peu de possibilités de refuge et risquent donc de disparaître. Ces menaces sont exacerbées par les changements climatiques. Le suivi de ces écosystèmes est généralement difficile en raison des difficultés d'accès.

✓ **Écosystèmes néritiques**

Régions de l'océan proches des côtes.

✓ **Écosystèmes reconstitués**

Écosystèmes sans équivalents dans l'environnement naturel, qui sont créés intentionnellement pour obtenir la mitigation, la conservation d'une espèce menacée ou tout autre but de gestion. Si la communauté d'organismes ainsi créée fonctionne correctement, elle optimise les services écologiques.

✓ **Écosystèmes restaurés**

Les neuf attributs listés ci-dessous fournissent une base pour déterminer si la restauration a été réalisée. L'ensemble de tous ces attributs n'est pas nécessaire pour décrire la restauration. Ces attributs doivent plutôt décrire une trajectoire appropriée du développement de l'écosystème vers les buts et les références souhaitées.

Certains attributs sont facilement mesurables. D'autres doivent être évalués indirectement, ce qui inclut la plupart des fonctions des écosystèmes qui ne peuvent être établies sans des efforts de recherche dépassant les capacités et les budgets de la plupart des projets de restauration.

1. L'écosystème restauré contient un ensemble caractéristique d'espèces de l'écosystème de référence qui procure une structure communautaire appropriée.

2. L'écosystème restauré est constitué pour la plupart d'espèces indigènes. Dans les écosystèmes culturels restaurés, des concessions peuvent être faites pour des espèces exotiques domestiquées et pour des espèces rudérales et ségétales (qui se développent dans les champs de céréales) non invasives ayant vraisemblablement coévolué avec elles. Les rudérales sont des plantes qui colonisent les sites perturbés tandis que les ségétales poussent typiquement en association avec des cultures.
3. Tous les groupes fonctionnels nécessaires à l'évolution continue et/ou à la stabilité de l'écosystème restauré sont représentés ou, s'ils ne le sont pas, les groupes manquants ont la capacité à le coloniser naturellement.
4. L'environnement physique de l'écosystème restauré est capable de maintenir des populations reproductrices d'espèces nécessaires à sa stabilité ou à son évolution continue le long de la trajectoire désirée.
5. L'écosystème restauré fonctionne en apparence normalement lors de sa phase écologique de développement et les signes de dysfonctionnement sont absents.
6. L'écosystème restauré est intégré dans une matrice écologique plus large ou un paysage, avec qui il interagit par des flux et des échanges biotiques et abiotiques.
7. Les menaces potentielles venant du paysage alentour sur la santé et l'intégrité de l'écosystème restauré ont été éliminées ou réduites autant que possible.
8. L'écosystème restauré est suffisamment résilient pour faire face à des événements normaux de stress périodiques de l'environnement local, ce qui sert à maintenir l'intégrité de l'écosystème.
9. L'écosystème restauré se maintient lui-même au même degré que son écosystème de référence et a la capacité à persister indéfiniment sous les conditions environnementales existantes. Cependant, les aspects de sa biodiversité, de sa structure et de son fonctionnement peuvent changer au cours de l'évolution normale d'un écosystème et fluctuer en réponse à des

évènements normaux de stress périodiques et à des perturbations occasionnelles de plus grande importance. Comme dans n'importe quel écosystème intact, la composition spécifique ainsi que les autres attributs d'un écosystème restauré peuvent évoluer si les conditions environnementales changent.

1.1.2. Notion de biocénose

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

1.1.3. Notion de biotope

Un biotope est un composant d'un écosystème dans ses dimensions physico-chimiques, abiotiques et spatiales. Il renferme des ressources suffisantes pour maintenir la vie. Les êtres vivants qui le peuplent constituent une biocénose.

1.2. Biome

Communauté écologique majeure, caractérisée par des formes de vie distinctes. Plus d'un type d'habitat et de communautés peut se rencontrer dans un biome. Il s'agit donc d'une vaste unité biogéographique définie sur un continent par ses caractéristiques climatiques et ses populations végétales et animales. Dans l'océan, ce sont les paramètres contrôlant la dynamique de la couche superficielle qui permettent de définir le biome. La spécificité des grands biomes est conditionnée par la nature des groupements végétaux (phytocénoses) qui les constituent.

1.2.1. Les biomes terrestres

Sont des écosystèmes caractéristiques de grandes zones biogéographiques soumises à un climat particulier et caractérisées par une biocénose ou communauté climacique caractéristique. Un biome est le stade final d'une succession (ou climax).

La répartition des biomes est sous le contrôle du macro-climat. Les biomes ont donc fréquemment une distribution zonale en bandes plus ou moins parallèles à l'équateur. Il peut y avoir des perturbations locales dans cette distribution, dues à des barrières physiques comme les océans, les montagnes ou d'autres irrégularités de surface traversant chaque continent. Cette disposition zonale est mieux marquée dans l'hémisphère Nord que dans l'hémisphère Sud où les terres émergées ont une superficie plus réduite, surtout dans les zones à climat froid et tempéré.

Dans la majorité des cas, la végétation fournit les traits essentiels de la physionomie des biomes, les animaux ayant une biomasse bien moins importante que les végétaux. La végétation donne également la réponse la plus visible des communautés vivantes aux conditions climatiques. C'est pour cette raison que les grandes lignes de la division du globe en biomes sont surtout établies à partir de l'étude de la végétation. Toutefois, les limites sont difficiles à définir en raison du changement graduel du type de communautés en relation avec le changement graduel du climat et du sol.

1.2.2. Les biomes aquatiques

Recouvrent la plus grande partie du globe. Ils présentent moins de variation latitudinale que les biomes terrestres. Les biomes marins montrent des concentrations en sels d'environ 30‰. Le plus grand biome marin est composé par les océans qui couvrent environ 75% de la surface de la terre et qui ont un impact énorme sur la biosphère.

Les biomes d'eau douce présentent des concentrations en sels de moins de 1‰. Ils sont étroitement liés aux sols et aux composants biotiques des biomes terrestres environnants.

La plupart des biomes aquatiques sont stratifiés en couches définies par la pénétration de la lumière, la température et la profondeur.

* **Les grands biomes sont :**

- **La toundra** est un biome circumpolaire situé entre forêt et glace. Le sol y reste gelé en permanence en profondeur. La saison de végétation ne dépasse pas 60 jours. La température moyenne du mois le plus chaud ne dépasse pas 10°C. La toundra se compose de pelouses, petits arbustes, arbres nains, lichens et tourbières. On retrouve un équivalent dans les tourbières d'altitude situées dans les Alpes, les Vosges ou le Jura.
- **La forêt boréale de conifères ou taïga** est présente aussi bien en Eurasie qu'en Amérique du Nord. Son équivalent dans les Alpes se situe entre 1500 et 2000 m. Elle exige deux mois consécutifs sans gelée où les températures moyennes restent supérieures à 10 ° C. C'est la plus vaste forêt du monde. Les sols y sont généralement pauvres; la litière se décompose mal. Les conifères sont adaptés à la rudesse des conditions de végétation (épicéas à cime étroite).
- **La forêt tempérée feuillue à feuilles caduques** est le type même de biome de nos latitudes. En altitude, on la retrouve jusque vers 1500 m. La température moyenne annuelle se situe entre 4 et 12 ° C et la pluviosité annuelle est comprise entre 600 et 1500 mm. Quatre saisons sont généralement bien marquées.
- **Les écosystèmes méditerranéens** se retrouvent dans les zones tempérées chaudes, avec une période de sécheresse estivale de trois mois ou plus. Chênaies (chêne vert, chêne liège, chêne pubescent, maquis sur sol acide, garrigue sur sol calcaire).
- **La steppe tempérée (prairie américaine).** Les précipitations inférieures comprises entre 250 et 750 mm d'eau par an sont insuffisantes à la forêt. La végétation est formée d'étendues de

graminées à feuilles adaptées à la sécheresse, parsemées de plantes à bulbes et à rhizomes et parcourue par des troupeaux de grands herbivores.

- **Les déserts** se retrouvent dans les zones où il pleut moins de 200 mm par an. La végétation, très clairsemée et pauvre supporte la sécheresse et la chaleur. Les amplitudes thermiques entre le jour et la nuit peuvent être élevées.
- **La savane tropicale** se compose d'herbes hautes avec des arbre isolés (baobab, acacias...). Elle se développe entre les tropiques partout où les précipitations sont insuffisantes pour permettre l'installation des écosystèmes forestiers. On y retrouve une saison sèche et une saison des pluies.
- **La forêt ombrophile équatoriale.** C'est la forêt pluvieuse toujours verte. C'est le biome le plus complexe et de loin le plus riche en espèces de la biosphère. Il y tombe de 1800 à 4000 mm (voire plus) d'eau par an; les pluies étant réparties de manière régulière tout au long de l'année. Les conditions climatiques y restent constantes.

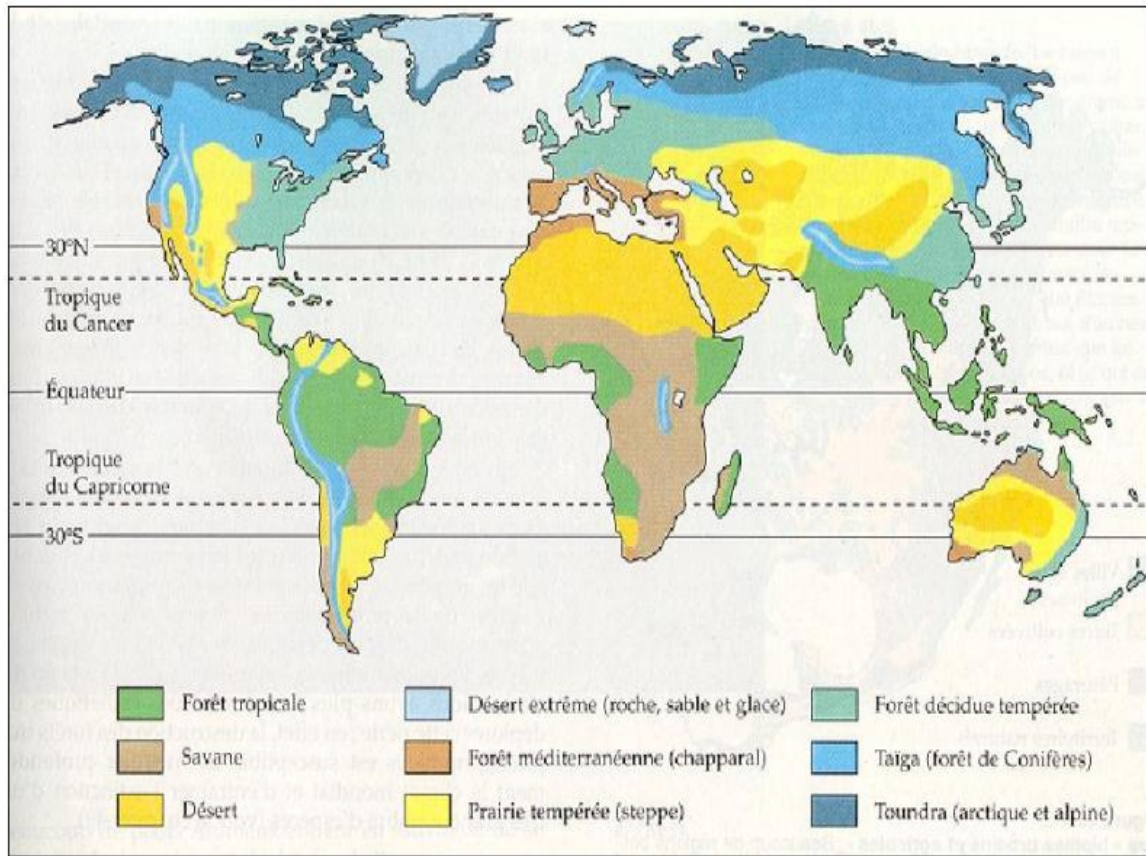


Figure 2: Répartition des biomes

1.3. Biosphère

La notion de biosphère fut dégagée pour la première fois par un biologiste français de génie, Lamarck, qui dans sa Géochimie fut le premier à entrevoir l'importance de l'interaction entre les êtres vivants et le milieu physico-chimique dans la genèse des conditions qui caractérisent la surface de la planète actuelle.

Cependant, le terme de biosphère fut créé par Vernadsky en 1925 pour désigner le système complexe que constitue l'association à la surface de la planète Terre de milieux présentant des caractéristiques physico-chimiques uniques : océan, atmosphère, couches supérieures de la lithosphère, auquel est associé l'ensemble des êtres vivants. La biosphère est caractérisée par un état d'équilibre dynamique résultant d'interactions extrêmement complexes entre les processus biologiques et physico-chimiques

propres aux compartiments dans lesquels la vie a pu se développer au cours des 3,98 milliards d'années qui nous séparent du moment où s'acheva la condensation de l'Océan mondial.

La biosphère peut se définir de la façon la plus simple comme la région de la planète dans laquelle la vie est possible en permanence et qui renferme l'ensemble des êtres vivants.

En première approximation, la biosphère peut se subdiviser en trois compartiments :

- **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 rattachent aussi en principe les eaux continentales ;
- **l'atmosphère** qui en est l'enveloppe externe et gazeuse, actuellement d'origine biologique pour une grande part.

Les écosystèmes présents dans la biosphère se répartissent en deux groupes fondamentalement distincts

- **les écosystèmes terrestres**, associés aux continents émergés ;
- **les écosystèmes aquatiques**, qui pris dans leur ensemble constituent l'hydrosphère. Celle-ci peut se subdiviser en écosystèmes limniques (fleuves et lacs), en écosystèmes aquatiques littoraux (lagunes, estuaires, mangroves), enfin et surtout écosystèmes marins.

On peut distinguer deux types de zonation des macroécosystèmes dans la biosphère : celle en latitude qui correspond à la distribution de l'équateur vers les pôles des divers grands biomes et celle en altitude qui décrit la distribution vertical des écosystèmes.

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. En

première approximation, l'hémisphère boréal est caractérisé par la prépondérance des ecosystems 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 362.106 km² soit plus de 71 % de la surface planétaire contre moins de 29 % pour les continents.

La répartition en latitude 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. Si l'on chemine ainsi de l'équateur vers les pôles, on trouve ainsi une certaine symétrie dans la répartition des divers biomes de chaque hémisphère.

À l'opposé de la zonation en latitude des grands biomes continentaux, qui apparaît de façon très nette, celle des macroécosystèmes océaniques, donc de leurs biomes, est inapparente – à quelques exceptions près – la plus notable étant celle des récifs coralliens. En effet, par suite de l'isotropie importante du milieu aquatique, les facteurs physicochimiques y varient beaucoup moins et de façon plus lente et progressive qu'en milieu continental. Les phénomènes de convection et de diffusion des substances solubles ainsi que les mouvements intenses des masses d'eau, assurent une homogénéisation significative des conditions ambiantes.

Enfin, les déplacements des êtres vivants des zones équatoriales vers les hautes latitudes et réciproquement sont très faciles en milieu océanique. Ces divers facteurs conjugués rendent difficile la différenciation de grands biomes, terme d'ailleurs inutilisé par les biologistes marins.

En définitive, dans les océans ne peuvent être nettement distingués en fonction de la latitude que quelques types de macro- écosystèmes : les récifs coralliens qui sont distribués dans les zones benthiques littorales situées entre les deux tropiques, en milieu pélagique, au large, le macro-écosystème constitué par les eaux bleues tropicales, enfin, les communautés propres aux océans glaciaux, qui se rencontrent au-delà des cercles polaires arctiques et antarctiques, marquées ici par une adaptation à des eaux très froides.

Zonation verticale des écosystèmes. 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.

Zonation en profondeur de l'hydrosphère. Le domaine océanique s'étend des fosses les plus profondes (-11 000 m environ) au niveau 0 (surface de la mer). Sa profondeur moyenne est de 3 850 m. L'existence du plateau continental, zone marquée par une brusque rupture de pente (talus continental) située vers -150 m, permet de distinguer une province néritique et une province océanique.

Dans la première, la teneur des eaux en éléments nutritifs varie beaucoup selon l'importance des apports fluviaux 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 9/10e de la surface totale de l'Océan.

Plus importante encore au plan écologique est la distinction entre zones 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 euphotique qui ne dépasse guère 100 m de profondeur en moyenne.

– Puis s'étend une étroite zone dysphotique dans laquelle l'intensité lumineuse est trop faible pour induire la photosynthèse même chez les organismes les plus sciaphiles. 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 détritivores — surtout des invertébrés, qui se nourrissent aux dépens de la matière organique morte provenant des zones supérieures. Cette matière est constituée essentiellement par les cadavres et les excréta des êtres vivants de la zone euphotique et tombe en pluie perpétuelle sur les abysses.

Zonation en altitude de la biosphère continentale. La zonation verticale des communautés terrestres apparaît très nettement dans les régions continentales au relief accusé. À bien des égards, la répartition en altitude des communautés

En un sens, une ascension en montagne aux moyennes latitudes correspond à effectuer en quelques milliers de mètres de dénivelé un voyage de plusieurs milliers de kilomètres en direction du pôle.

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 bordure des calottes glaciaires constitue la frontière naturelle de régions parabiogéographiques.

L'altitude moyenne des continents, qui est de 875 m, correspond à l'extension maximale des forêts ou des formations herbacées (steppes, savanes et... cultures). La limite supérieure théorique des forêts est de l'ordre de 4 500 m, mais elle est en réalité d'environ 4 000 m à l'heure actuelle par suite du déboisement des forêts orofitales des Andes équatoriales qui atteignaient l'altitude maximale pour ce type d'écosystème.

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 parabiophysériques.

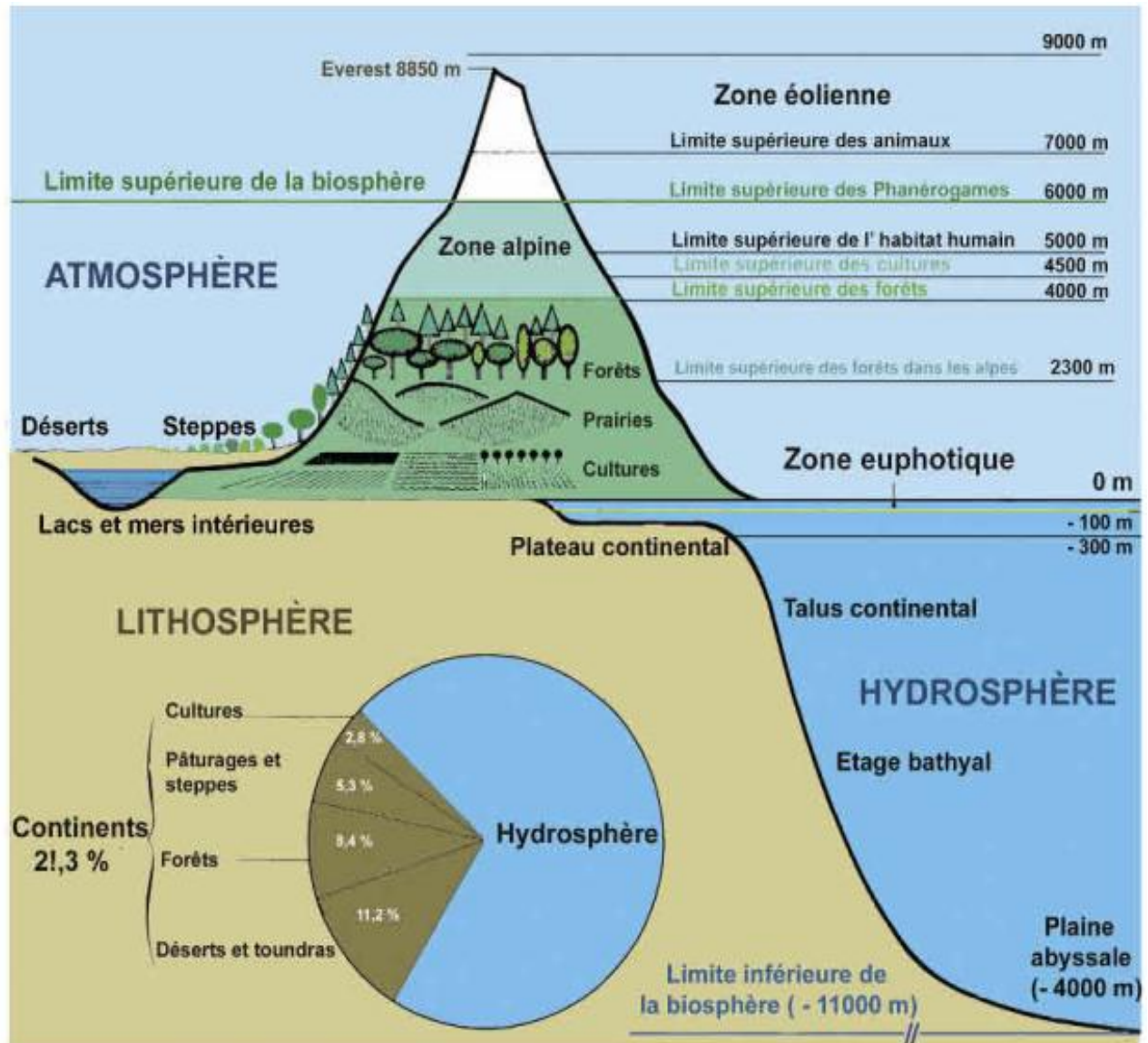


Figure 3: Zonation verticale de la biosphère et répartition des macro-écosystèmes

(Ramade F., 2009)

1.4. Facteur écologique

Paramètre du milieu influençant directement tout ou partie du cycle biologique d'une espèce. Il détermine 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 de 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, l'hibernation...

Ils agissent également sur la répartition, géographique des espèces végétales et animales et sur la densité d'une population d'une espèce donnée.

Les facteurs écologiques peuvent agir directement ou indirectement sur les êtres vivants.

-Manière directe : ressources minérales ou nutritives du sol dont la plante se nourrit directement pour sa croissance et son développement.

-Manière indirecte : facteur d'altitude, en haute altitude les variables écologiques comme l'ensoleillement et la pression atmosphérique sont plus élevés que celle de basse altitude, donc l'altitude agit bien indirectement sur les êtres vivants par le biais des variables citées.

Les facteurs écologiques se classent de trois manières:

-en facteurs biotiques et abiotiques;

-en fonction de la classification de Mondchasky;

-en facteurs dépendants et indépendants.

1.5. Domaines d'intervention

Les études écologiques portent conventionnellement sur trois niveaux : L'individu, la population et la communauté.

- **Individu**

Est un spécimen d'une espèce donnée. Un individu biologique est soit une cellule vivante isolée (Organisme unicellulaire), soit un groupe de cellules vivantes attachées ensemble et provenant d'une même cellule-mère (Organisme pluricellulaire).

- **Population**

Groupe d'individus ayant des ancêtres communs qui sont plus susceptibles de se reproduire entre eux qu'avec des individus d'une autre population. Ces individus appartenant à la même espèce vivent sur un territoire dont les limites sont généralement celles de la biocénose dont cette espèce fait partie. Une population est une entité réelle qui possède sa propre organisation, ses propres paramètres de répartition spatiale, de densité, de structure, de natalité et de mortalité...

Le terme population est défini dans les critères de la Liste rouge comme étant le nombre total d'individus des taxons. Pour des raisons fonctionnelles, principalement en raison des différences entre les formes de vie, la taille de la population est mesurée par le nombre d'individus matures seulement. Dans le cas de taxons obligatoirement dépendants d'autres taxons pour une partie ou la totalité de leur vie, des valeurs appropriées sur le plan biologique doivent être utilisées pour le taxon-hôte. L'interprétation de cette définition dépend fortement de la compréhension de la définition du terme individus matures.

Dans le cas de taxons dont le cycle de vie dépend obligatoirement, en totalité ou en partie, d'autres taxons, il convient d'utiliser des valeurs biologiquement appropriées pour le taxon hôte.

- **Communauté ou Biocénose**

Est l'ensemble des populations d'un même milieu, peuplement animal (zoocénose) et peuplement végétal (phytocénose) qui vivent dans les mêmes conditions de milieu et au voisinage les uns des autres. Les organismes d'une communauté s'influencent mutuellement dans leur distribution, leur abondance et leur évolution. Le terme de communauté végétale couvre, selon l'hypothèse intégrée (integrated hypothesis), un assemblage d'espèces étroitement liées dans une association qui implique que la communauté fonctionne comme une unité intégrée. Par contre, selon l'hypothèse individualiste (individualistic hypothesis), une communauté végétale est un assemblage d'espèces trouvées dans un même lieu simplement parce que ces espèces ont besoin des mêmes conditions biotiques. Une séquence de communautés végétales successives s'installant après une perturbation est appelée chronoséquence.

Chacun de ces trois niveaux fait l'objet d'une division de l'écologie :

- ✓ **L'autoécologie**

C'est une branche de l'écologie qui étudie les rapports qui se créent entre une espèce et son environnement. Plus précisément, elle définit les limites de tolérance et les préférences des espèces, face aux diverses pressions qu'elles subissent de la part du milieu (=facteurs écologiques), et étudie parallèlement l'action de ce dernier sur la morphologie, la physiologie et le comportement (pour un animal) ; l'on parle parfois **d'écophysiologie**.

- ✓ **L'écologie des populations ou la dynamique des populations**

Vise à l'étude des caractéristiques qualitatives et quantitatives qui entraînent des variations d'abondance des populations pour en rechercher les causes et si possible les prévoir;

- ✓ **La synécologie**

Analyse les rapports entre les individus qui appartiennent aux diverses espèces d'un même groupement et de ceux-ci avec leurs milieux.

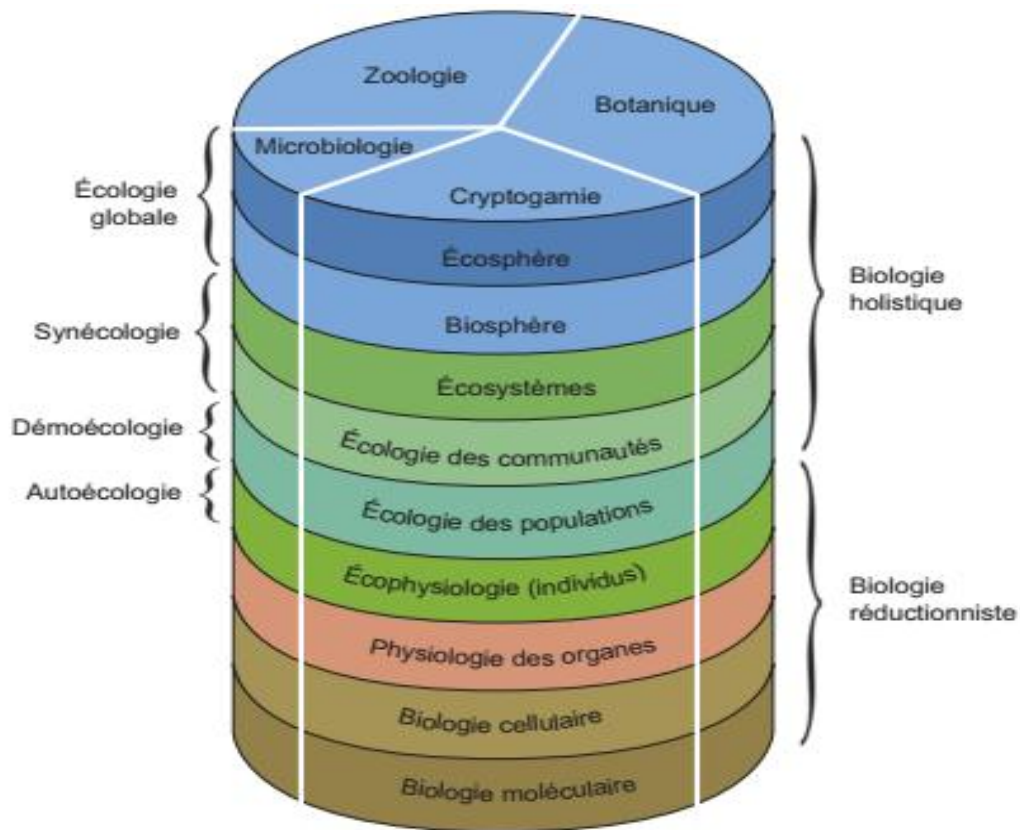


Figure 4: Représentation sous forme de « gâteau feuilleté » de la hiérarchie des sciences biologiques par ordre de complexité croissante.

(Ramade F., 2008)

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, zoologie, etc.) tandis que les coupes selon des plans horizontaux parallèles figurant 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).

Chapitre 02 : Les Facteurs du milieu

2. Les Facteurs du milieu

Paramètre physicochimique ou biologique susceptible d'agir directement sur les êtres vivants, qui conditionne 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 physicochimiques du milieu et des facteurs biotiques qui correspondent à tout ce qui dépend des êtres vivants. On peut aussi les réunir en facteurs dépendants et indépendants de la densité, les premiers étant essentiellement des facteurs abiotiques, les autres biotiques.

2.1. Facteurs abiotiques

Facteur n'appartenant pas au monde vivant et faisant partie de l'environnement physique dans lequel évoluent les formes vivantes. On classe ici les facteurs édaphiques, les facteurs climatiques (pluviosité, humidité atmosphérique et/ou substratique, brouillards, lumière, température, vent), géologiques, le sol, la salinité, le pH, la température, l'humidité... Leur connaissance, parfois complexe, est nécessaire afin de comprendre l'abondance ou le comportement des espèces.

2.1.1. Facteurs climatiques

Le climat, selon la définition de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) est la "synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère"

Les changements saisonniers comme le passage de l'hiver au printemps, à l'été et à l'automne dans les zones tempérées et de l'humidité à la sécheresse dans les régions tropicales font aussi partie du climat.

Il peut donc être défini comme étant les conditions moyennes qu'il fait dans un endroit donné (température, précipitations...) calculées d'après les observations d'au moins 30 ans (défini par l'Organisation météorologique mondiale). Le climat est donc caractérisé par des valeurs moyennes, mais également par des variations et des extrêmes. À l'échelle de la planète, le climat est le résultat d'interactions entre:

-l'atmosphère;

-la lithosphère (la croûte terrestre);

-l'hydrosphère (l'ensemble des mers, des océans, des lacs et des cours d'eau de la planète);

-la cryosphère (les glaces du monde entier);

-la biosphère (l'ensemble des êtres vivants, en particulier la végétation).

Echelle du climat:

Le climat peut être considéré à différentes échelles :

***Le macroclimat (climat régional)**: relatif à une zone géographique vaste, qui due à l'altitude (l'élévation au niveau de la mer), la latitude (au Nord et au Sud) et la proximité des mers (courants marins). Exemple : Continent, Nation.

***Le mésoclimat**: relatif à une région naturelle d'étendue limitée, subit des variations topographiques. Exemple : climat d'une forêt, climat d'une vallée.

***Le microclimat**: qui s'étend entre des centaines de m² à des dizaines de cm², à l'échelle de chaque organisme les conditions environnementales. Exemple : la face inférieure d'une pierre.

Pour déterminer le climat d'une région donné, on utilise: le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et le climagramme d'emberger.

.Diagrammes ombrothermiques :

Le diagramme ombrothermique est un mode de représentation classique du climat d'une région. Il met en évidence les régimes thermiques et pluviométriques d'un site donné.

Les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (1953) permettent de comparer l'évolution temporelle des valeurs de températures et des précipitations.

BAGNOULS & GAUSSEN (1953) définissent le mois sec comme celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètre est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimé en degré celcius ($P \leq 2T$). Avec :

P : précipitations mensuelles (mm)

T= (M+m)/2 : Température moyenne mensuelle (°C)

M : température maximale de chaque mois (°C).

m : température minimale de chaque mois (°C).

La construction du diagramme se fait en plaçant sur l'axe des abscisses les mois de l'année, et sur l'axe des ordonnées à double échelle, on porte sur le côté droit les précipitations, et sur la gauche la température avec **P=2T**.

La période sèche correspond à toute la partie pour laquelle la courbe thermique se tient au-dessus de la courbe pluviométrique. Les autres zones extrêmes du graphique sont des périodes humides.

2.Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2) (1955) permet de classer la région étudiée dans un étage bioclimatique distinct.

Les paramètres (m et Q_2) connus et placés sur le climagramme déterminent, selon leur appartenance à un certain étage, le type de climat (voir figure). Les tracés qui délimitent les différents étages sont en relation avec le **changement de la végétation.**

Nous tenons à signaler que ce quotient est spécifique seulement au climat méditerranéen, il a été formulé de la façon ci-après (DAJOZ, 2000) :

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

Ou

$$Q_2 = 2000P / (M+m) \cdot (M-m)$$

P : Pluviosité moyenne annuelle en mm.

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés Kelvin.

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en degrés Kelvin

Cette formule a été simplifiée par Stewart en 1969 (a établi pour l'Algérie et le Maroc) et devient :

$$Q_2 = 3,43P / (M - m) \quad (M \text{ et } m \text{ sont exprimées en degré Celsius}).$$

3-Les indices climatiques :

Le calcul d'un indice d'aridité, au même titre que la classification des climats, a toujours été un sujet de recherche en climatologie. Il existe une multitude d'indices et de formules, certaines basées sur des critères climatologiques, d'autres biogéographiques. Parmi tous ces indices, les plus connus restent ceux d'Emmanuel de Martonne (1926 à 1941), et de Bagnouls et Gausson (1953 à 1957).

3-1/Indice de Gaussen

Selon Gaussen, un mois est dit aride, quand : $P < 2 \times T$

(P : précipitations totales en millimètres sur 1 mois, T : température moyenne en °C sur le même mois)

Cet indice est très utile quant à l'utilisation d'un diagramme ombrothermique, ce dernier toujours construit sur le modèle d'échelle : $1\text{ °C} = 2\text{mm}$.

3-2/Indice d'aridité de De Martonne

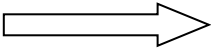
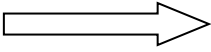
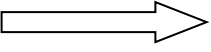
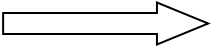
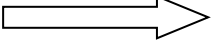
L'indice d'aridité de De Martonne, **noté I**, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

Pour le calculer, on utilise la formule :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

où P désigne les précipitations totales annuelles et T la température moyenne annuelle ;

P: précipitation moyenne annuelle (mm). **T**: température moyenne annuelle (C°).

| | | |
|---|---|-------------------------|
| I<5 : climat hyperaride. |  | Désert absolu |
| 5<I<10 : climat aride. |  | Désert, regs et hamadas |
| 10<I<20 : climat semi-aride. |  | Steppe |
| 20<I<30 : climat humide. |  | Forêts, prairies |
| 30<I<50 : hyperhumide |  | forêts |

Les **régions hyperarides** ont un indice d'aridité inférieur à 5. Ces régions correspondent à des déserts absolus (Atacama, Tanezrouft). Les précipitations annuelles sur ces régions sont inférieures à 50 mm par an. Dans les régions hyper-arides, les précipitations sont exceptionnelles (10 à 50 mm en moyenne annuelle) très inégalement réparties avec des interruptions de plus de douze mois consécutifs. L'écoulement y est rare, épisodique et inorganisé.

Les **régions arides** sont celles où les valeurs de l'indice d'aridité sont comprises entre 5 et 10. Ces régions comprennent la grande partie du Sahara, les déserts d'Arizona et de Sonora, les déserts d'Iran (Désespoir) ou d'Inde (Thar). Sur ces régions, l'ensemble des précipitations est inférieur à 250 mm d'eau par an. En Europe, la seule région désertique, c'est-à-dire le petit désert d'Almeria, reçoit moins de 130 mm d'eau par an.

Les **régions semi-arides** sont celles où les valeurs de l'indice comprises entre 10 et 20. Ce sont essentiellement les régions sahéliennes, steppes maghrébines, le Kalahari, le Nordeste brésilien.

Les **régions hyperhumides** ont un indice compris entre 30 et 50 ; elles correspondent aux régions forestières.

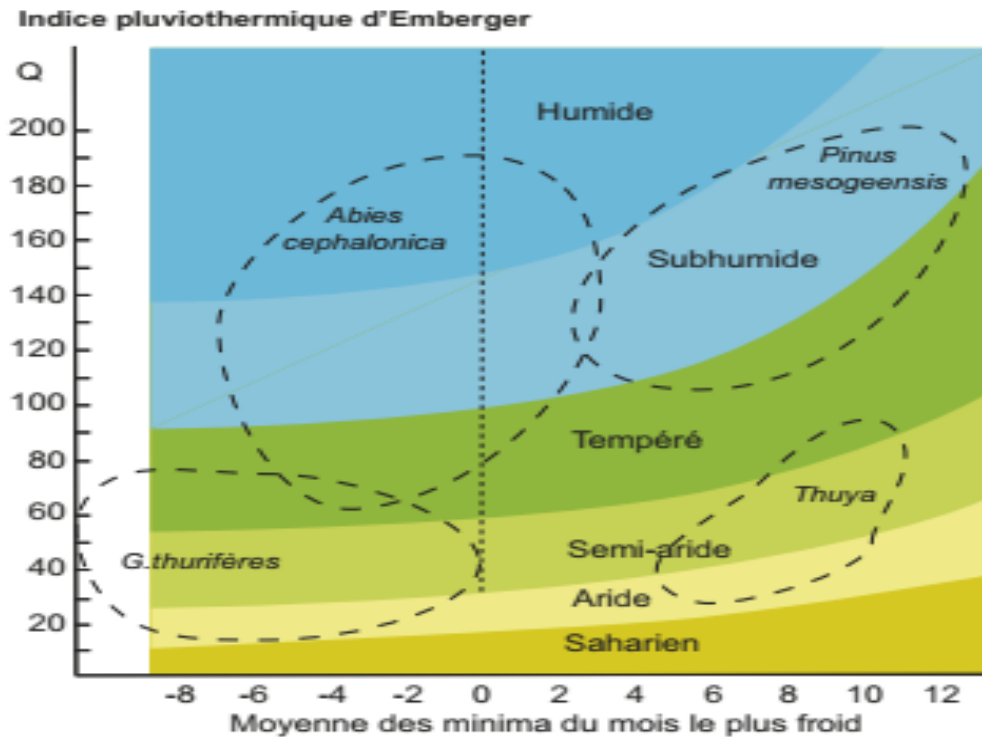


Figure 5: Classification des climats méditerranéens à partir du quotient pluviothermique d'Emberger et application de ces diagrammes à la délimitation de l'aire d'extension de certaines espèces de conifères méditerranéennes.

(Ramade F., 2008)

principaux types de climats : il existe un grand nombre de types climatiques à la surface des continents.

On distingue en première approximation :

- **des climats équatoriaux**, marqués par la régularité des températures et l'abondance des précipitations, avec une brève saison sèche ;
- **des climats tropicaux de mousson**, où l'alternance entre saison sèche et saison des pluies est marquée ;

- des *climats désertiques* où les précipitations sont occasionnelles et peuvent faire totalement défaut pendant plusieurs années ;
- des *climats méditerranéens, tempérés chauds*, où existe une période d'aridité estivale plus ou moins prolongée ;
- des *climats tempérés humides*, qui concernent les façades maritimes des continents aux moyennes latitudes ;
- des *climats continentaux* où les fortes températures de l'été contrastent avec des périodes de gel intense et prolongé pendant l'hiver ;
- des *climats subarctiques* où les températures moyennes mensuelles sont inférieures à 0 °C, à l'exception d'un ou deux mois d'été ; – des *climats polaires* où il gèle en permanence.

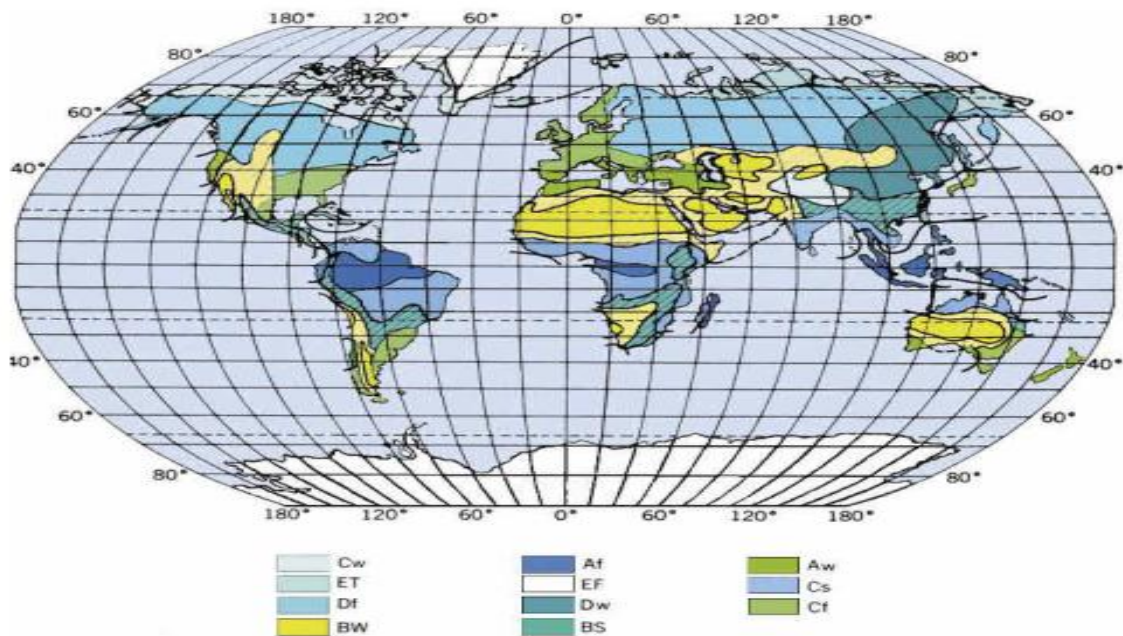


Figure 6: Carte de répartition des climats à l'échelle du globe

d'après Köppen. Cw = tempéré humide à hiver sec, Et = climat arctique (toundra),

Df = froid et humide, BW = désertique, Af = tropical humide, EF = zones glacées parabiosphériques, EF = froid humide à été sec, Dw = froid humide à hiver sec, BS = sec et tempéré froid (steppes), Aw = tropical avec défi cit hydrique plus ou moins accentué (savanes), Cs = tempéré humide à été humide, Cf = tempéré humide à été sec.

2.1.1.1. Température

Grandeur physique permettant de mesurer le degré ou la sensation de froid ou de chaleur dans l'atmosphère, dans l'eau ou dans un être vivant.

La température de l'eau est un paramètre qui conditionne la présence des espèces selon leur thermorésistance. En fonction du degré de perturbation de la température, les variations peuvent avoir une influence sur le déplacement des espèces (ex. barrière à la migration) ou avoir des impacts plus permanents en perturbant les évolutions physiologiques des organismes (ex. problèmes de croissance, de reproduction...).

En milieux estuariens, hormis les effets saisonniers, les variations spatiales de la température sont longitudinales, liées aux échanges entre les eaux douces et les eaux marines. Le mélange de ces eaux associé à l'ensoleillement engendre également une variation de la température verticalement dans la colonne d'eau, en général de faible importance.

L'influence des activités anthropiques susceptibles de perturber ce paramètre physico-chimique est principalement à grande échelle et indirecte. La température des eaux peut être modifiée par un phénomène de grande ampleur tel que les changements climatiques

Ainsi, les impacts des activités anthropiques peuvent-ils être considérés comme indirects sur ce paramètre (amplification de l'effet de serre par les rejets de CO₂).

-Réponses des organismes aux variations thermiques

➤Conséquences spatio-temporelles

Toute espèce a ses propres exigences physiologiques vis à-vis de la température; il en résulte des conséquences sur sa répartition en latitudes, altitudes, selon les saisons...etc.

Aussi, pour chaque espèce, il y a deux paramètres: l'intervalle de tolérance (délimité par une température minimale et une maximale) et le préférendum thermique "optimum"

On distingue des sténothermes chaudes, froides-développées entre deux températures assez voisines, et les eurythermes à large intervalle de tolérance;

Globalement, les sténothermes chauds se localisent en pays chauds, en basse altitude (plaines) et sur versants exposés au soleil.

Les eurythermes se localisent sous différents climats thermiques et ont une vaste distribution.

-Actions de la température sur des processus biologiques

La température agit sur les fonctions vitales de la plante et sur la rapidité des processus biologiques. Une activité métabolique normale se déroule dans un intervalle de température de 0 à 50°C. Cependant il existe des exceptions: des espèces de bactéries qui vivent dans les eaux thermales à 90°C voire même des cyanobactéries à 110°C.

En deçà de 0°C, les cellules gèlent et se rompent et au-delà de 50°C, les protéines se dénaturent. À l'intérieur de cet intervalle, les réactions chimiques cellulaires sont possibles ; elles s'accélèrent avec l'augmentation de température (la loi de Van't Hoff:» vitesse des réactions chimiques doublée pour toute augmentation de 10°C de la température ambiante».

• **Phénomènes d'adaptation aux températures (la réponse des végétaux et animaux aux températures défavorables):**

Processus évolutif par le quel une population animale ou végétale devient plus performante dans son habitat en plusieurs générations.

Dans l'adaptation génotypique, l'ajustement est génétique et s'inscrit dans un processus évolutif, alors que dans l'adaptation phénotypique, l'ajustement se produit chez l'individu sur une base non génétique. L'adaptation phénotypique est réversible ou pas et comprend des processus tels que le développement de l'intelligence, des changements physiologiques... Elle peut être la conséquence de modifications de l'environnement qui exercent une influence sur l'animal à un stade précoce de sa vie (embryon ou larve). L'adaptation concerne également les ajustements physiologiques rapides comme la capacité à résister à des changements de température.

Chez les animaux: Les températures trop basses ou trop élevées déclenchent chez certains animaux un état de dormance (quiescence) appelé estivation ou hibernation. Dans les deux cas, le développement est quasiment arrêté.

❖ **L'hibernation**

Sommeil hivernal (état de torpeur profonde et prolongée) caractérisé par un ralentissement des processus du métabolisme et une chute marquée de la température du corps. L'entrée et la sortie d'hibernation sont sous le contrôle de signaux internes et de signaux externes saisonniers.

Exemple : l'ours, l'hérisson...etc.

❖ **L'estivation :**

Période de sommeil durant l'été, au contraire de l'hibernation qui est la période de sommeil durant l'hiver. Elle permet d'éviter les températures très élevées ou les sécheresses. (besoin de sommeil, de fraîcheur, d'hydratation, de repos...).

Exemple : les crocodiles enfouies son corps dans la boue pendant les périodes très chaudes. Les tortues creuser des trous dans la terre ou bien se cache le matin sous les végétaux et n'en plus bouger jusqu'au soir.

❖ **La migration :**

Déplacement saisonnier à dates peu variables d'une aire de nidification vers une aire d'hivernage avec retour dans l'autre sens. La migration permet aux oiseaux de bénéficier de conditions idéales de reproduction dans un endroit et de bonnes conditions d'hivernage dans un autre. La migration de printemps est dite pré-nuptiale, celle d'automne post nuptiale. Les juvéniles quittent leurs lieux de naissance à l'automne. Ce type de mouvement est appelé dispersion.

Définition de la convention sur les espèces migratrices (CMS) : « Espèce migratrice » signifie l'ensemble de la population ou toute partie séparée géographiquement de la population de toute espèce ou de tout taxon inférieur d'animaux sauvages, dont une fraction importante franchit cycliquement et de façon prévisible une ou plusieurs des limites de juridiction nationale.

Exemple : les tortues de mers, les crustacées, les poissons (la Morue), les oiseaux, les mammifères (éléphant, zèbre...) ...etc.



Figure 7: Migration des gnous (*Connochaetes taurinus*) entre le sud du Kenya et la Tanzanie (réserve naturelle de Masai Mara, Kenya). (Ramade F., 2008)

- Chez les végétaux :

lorsque les conditions thermiques sont défavorables, les végétaux répondent par la dormance.

❖ La dormance :

Stade de repos végétatif d'une plante destiné à lui permettre de passer la période de l'année climatiquement défavorable, ou d'une façon plus générale, une période biologiquement défavorable. Ce stade de repos est appelé kyste pour les algues unicellulaires. La dormance est caractérisée par la chute des feuilles lors de l'hiver européen ou de la saison sèche dans la zone tropicale.

Exemple :

les grains des plantes, les plantes bulbeuses (Tulipe, Narcisse, Oignon, Ail...)

2.1.1.2. Pluviométrie

Ensemble des précipitations tombant sur une surface donnée pendant une période déterminée.

- la pluviométrie constitue un facteur écologique fondamental pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres et pour les écosystèmes limniques (mares, lacs temporaires....) soumises à des périodes d'assèchement.

- on distingue diverses modalités d'action de la pluviosité, liées à la quantité annuelle de l'eau tombée, à l'alternance saisonnière et aux caractères réguliers ou sporadiques des précipitations.

- la répartition spatiale des précipitations dépend de nombreux facteurs généraux et locaux : latitude, altitude, exposition

- le phénomène de la rosée, en relation avec l'hygrométrie atmosphérique (qui n'est pas corrélée aux précipitations), peut modifier considérablement le bilan annuel des précipitations dans des milieux où existe une période d'aridité estivale.

On désigne sous le terme pluviométrie la quantité totale des précipitations (pluie, neige, grêle) reçues par unités de surfaces et unités de temps. L'hygrométrie désigne la vapeur d'eau de l'atmosphère.

- Les êtres vivants ont été classés en divers groupes écologiques en fonction de leurs besoins en eau (quantité décroissante):

-Espèces hydrophiles ou aquatiques (élodée, poissons)

-Espèces hygrophiles (batraciens, gastéropodes, lombrics)

-Espèces mésophiles (aulne, peupliers)

-Espèces xérophiiles (cactées, reptiles des déserts)

La répartition saisonnière des précipitations influe grandement sur la végétation. Par exemple en région méditerranéenne la pluie tombe surtout en hiver pendant la période froide quand les plantes en ont le moins besoin et fait défaut en été au moment où la température augmente l'évaporation, il en résulte donc une végétation xérophytique bien adaptée aux longues périodes estivales sèches.

Les plantes peuvent être classées en fonction de leur besoin en eau. On distingue généralement quatre grands groupes :

- Hydrophile, ce sont des plantes aquatiques vivant en permanence dans l'eau *Typha angustifolia*,
Nymphaea alba,

Wolffia arrhiza (plus petite plante a fleur du monde);

- Hygrophile, les espèces requiert un milieu très humide, exemple les joncs tel que *Juncus acutus*;
- Mésophile, ce groupe contient les espèces non spécialisées qui tolèrent des conditions modérées. Par ailleurs, elles peuvent supporter des alternances de périodes sèches et humides. Il s'agit de la majorité des espèces cultivées.
- Xérophile, ce sont des espèces adaptées au milieu sec telles que *Aristida pungens* ou *Drinn*, *Retama retam* et *Acacia raddiana*.

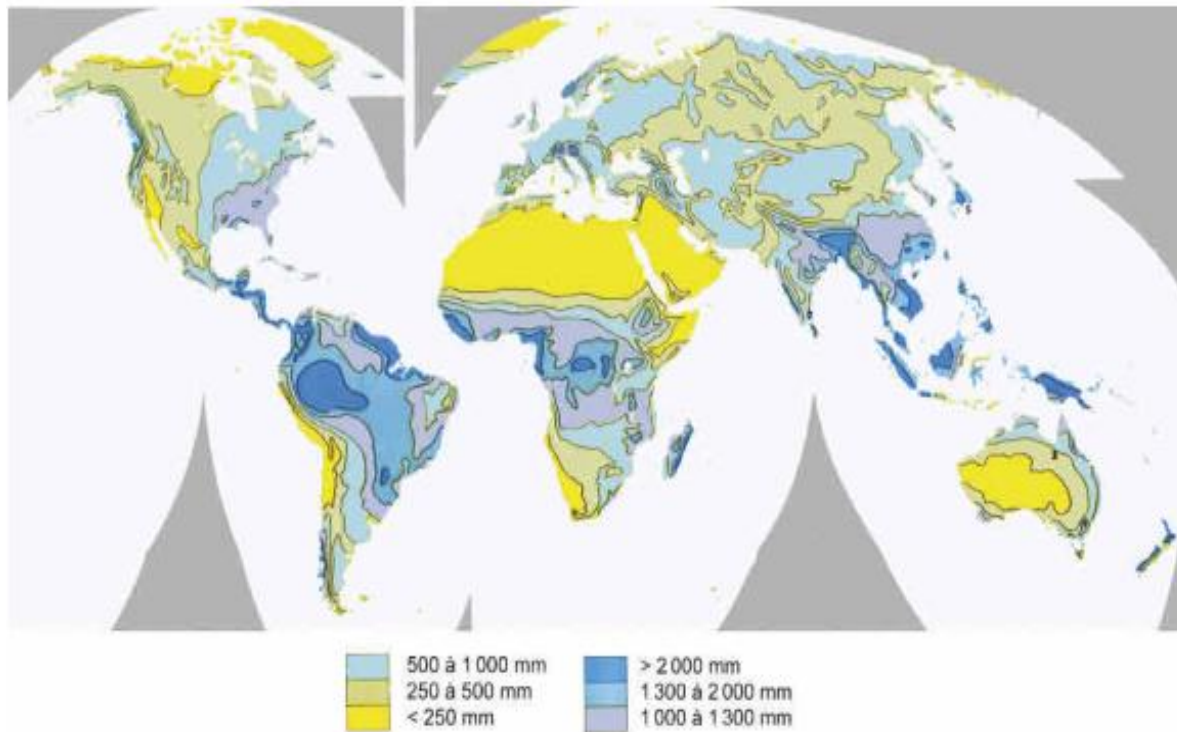


Figure 8: Répartition de la pluviométrie à la surface des continents.

Les êtres vivants s'adaptent à la sécheresse selon des modalités très variées :

Chez les végétaux

- Réduction de l'évapotranspiration par développement de structures cuticulaires imperméables.
- Réduction du nombre de stomates.
- Réduction de la surface des feuilles qui sont transformées en écailles ou en épines.
- Les feuilles tombent à la saison sèche et se reforment après chaque pluie.
- Le végétal assure son alimentation en eau grâce à un appareil souterrain puissant.
- Mise en réserve d'eau dans les tissus aquifères associés à une bonne protection épidermique.

Chez les animaux

- Utilisation de l'eau contenue dans les aliments.
- Réduction de l'excrétion de l'eau par émission d'une urine de plus en plus concentrée.

Utilisation de l'eau du métabolisme formée par l'oxydation des graisses (dromadaire).

2.1.1.3. Lumière

Le rayonnement solaire représente la part la plus importante permettant le maintien de la vie sur terre. Il représente la source d'énergie fondamentale des deux facteurs écologiques que sont l'éclairement et la température. L'ultraviolet (UV) est absorbé en presque totalité par la couche d'ozone située vers 25 km d'altitude (stratosphère) de faible densité (donc susceptible de disparition rapide). L'infrarouge (IR) a un fort pouvoir calorifique et est absorbé par l'air, le sol et surtout l'eau. Les conséquences globales de ces absorptions sont des échauffements avec comme répercussion sur les milieux, une élévation de la température du milieu en surface, une évaporation d'eau liquide en eau gazeuse qui s'élève dans l'atmosphère, s'y recondense pour former les pluies et une mise en mouvements des fluides (eau, gaz) par les inégales répartitions des élévations de température (mouvements de convection), ceci ayant comme conséquence un transport et une dispersion de toute substance dans la totalité de la biosphère.

✓ Action biologique de la lumière

La lumière intervient sur les êtres vivants par sa durée (photopériode), son intensité et la qualité de ses radiations. La lumière dépend de la latitude et de l'altitude, de la saison, de la nébulosité, du couvert végétal, ...La plupart des plantes autotrophes sont photosynthétiques. La biomasse ainsi fabriquée est une forme de stockage de l'énergie qui sera ultérieurement libérée par les mécanismes inverses de la respiration et de la fermentation. Le rendement énergétique de la photosynthèse est faible, au maximum 1 %. Les végétaux présentent des adaptations variés aux variations de lumière notamment à l'intensité lumineuse, à la longueur d'onde

La lumière a un impact physiologique sur les animaux comme sur les végétaux et éthologique sur les animaux. Les rythmes d'éclairement, avec des rythmes jour-nuit (nyctéméraux ou

circadiens) et des rythmes saisonniers suscitent des comportements périodiques et des adaptations aux différentes périodicités naturelles, sous la dépendance des phénomènes hormonaux (végétaux et animaux).

2.1.1.4. Vent

Le vent résulte du mouvement de l'atmosphère entre les hautes et basses pressions. L'impact de ce facteur sur les êtres vivants peut se résumer comme suit :

- Il a un pouvoir desséchant car il augmente l'évaporation.
- Il a aussi un pouvoir de refroidissement considérable.
- Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux.
- L'activité des insectes est ralentie par le vent.
- Les coups de vent, en abattant des arbres en forêt, créent des clairières dans lesquelles des jeunes arbres peuvent se développer.
- Le vent a un effet mécanique sur les végétaux qui sont couchés au sol et prennent des formes particulières appelées anémomorphose.

2.1.1.5. Neige

La neige affecte surtout les régions nordiques et montagnardes. La neige est un bon isolant car les cristaux permettent l'installation d'une couche d'air. Les effets du froid sont moins dommageables (blé d'hiver, galeries des rongeurs,...). Ainsi, pour des températures de l'air de l'ordre de - 50 °C, on peut atteindre des valeurs proches de 0°C à quelques centimètres sous la

couche neigeuse. C'est ainsi que les campagnols résistent aux basses températures malgré leur fourrure peu épaisse.

La neige est aussi un moyen efficace de reconstitution des réserves en eau. Par contre, la neige réduit la période de végétation(combe à neige). Elle a une action mécanique défavorable sur la courbure des tiges en montagne. Elle peut aussi provoquer des ruptures de branches (adaptation par un port étroit des résineux Nordiques).

2.1. 2. Facteurs édaphiques

Caractère ou propriété d'un sol qui conditionne le développement de la végétation. Les principaux facteurs édaphiques sont la texture et la structure du sol, l'hygrométrie, le pH du sol, les éléments minéraux et le gaz carbonique atmosphérique.

2.1.2.1. Texture du sol

La texture du sol est définie par la grosseur des particules qui le composent: graviers, sables, limons, argiles (granulométrie : mesure de la forme, de la dimension et de la répartition en différentes classes des grains et des particules de la matière divisée).

Les éléments constitutifs sont classés selon leur taille:

-graviers plus de 2 millimètres;

-sables grossiers de 0,2 millimètres à 2 millimètres;

-sables fins de 20 μm à 0,2 millimètres;

-limons de 2 μm à 20 μm ;

-argiles moins de 2 μm

En fonction de la proportion de ces différentes fractions granulométriques, on détermine les textures suivantes :

- **Textures fines :** comportent un taux élevé d'argile (>20%) et correspondent à des sols dits « lourds », difficiles à travailler, mais qui présentent un optimum de rétention d'eau.
- **Textures sableuses ou grossières :** elles caractérisent les sols légers manquant de cohésion et qui ont tendance à s'assécher saisonnièrement.
- **Textures moyennes :** on distingue deux types :
 - Les limons argilo-sableux qui ne contiennent pas plus de 30 à 35% de limons, qui ont une texture parfaitement équilibrée et qui correspond aux meilleurs terres dites « franches ».
 - Les sols à texture limoneuse, qui contiennent plus de 35% de limons, sont pauvres en humus (matière organique du sol provenant de la décomposition partielle des matières animales et végétales).

2.1.2.2. Structure du sol

La structure est l'organisation du sol. Elle se définit également comme étant l'arrangement spatial des particules de sables, de limons et d'argiles. On distingue principalement trois types de structures :

- **Particulaire :** où les éléments du sol ne sont pas liés, le sol est très meuble (sols sableux).
- **Massive :** où les éléments du sol sont liés par des ciments (matière organique, calcaire) durcies en une masse très résistante discontinue ou continue (sols argileux). Ce type de sol est compact et peu poreux. Il empêche cependant, les migrations verticales des animaux sensibles à la température et à l'humidité et ainsi en interdire l'existence.

- **Fragmentaire** : où les éléments sont liés par des matières organiques et forment des agrégats (Assemblage hétérogène de substances ou d'éléments qui adhèrent solidement entre eux) de tailles plus ou moins importantes. Cette structure est la plus favorable à la vie des êtres vivants, car elle comporte une proportion suffisante de vides ou de pores qui favorisent la vie des racines et l'activité biologique en général, en permettant la circulation de l'air et de l'eau.

2.1.2.3. L'hygrométrie

Dans le sol l'eau peut être libre (dans les fissures, le ruissellement) c'est-à-dire circulante. Elle peut être interstitielle, sa circulation se fait de façon limitée entre les grains, enfin l'eau d'inhibition est intimement liée aux particules du sol et est peu disponible. L'hygrométrie est bien sûr un facteur fondamental dans la répartition des végétaux terrestres. La migration des animaux dans le sol se fait souvent en fonction de son hygrométrie (ver de terre).

2.1.2.4. Le pH du sol

Il correspond au pH des eaux libres et interstitielles. Nous distinguons les sols acides ($\text{pH} < 7$), neutre ou basiques (> 7). L'acidification d'un sol provoque la biodisponibilité d'anions et de cations, qui peuvent être des sels minéraux mais également des métaux toxiques comme l'aluminium. En général les sols acides naturellement sont riches en silice, les sols neutres ou basiques riches en calcium. Les organismes se répartissent selon leur tolérance.

2.1.2.5. Eléments minéraux

Nous retrouvons les mêmes éléments qu'en milieu aquatiques, leur absorption par les plantes se faisant en solution. En milieu terrestre les éléments minéraux sont souvent un facteur limitant pour les végétaux.

2.1.2.6. Le gaz carbonique atmosphérique

Il est primordial pour la photosynthèse des végétaux terrestres. Le taux actuel de CO₂ n'a jamais été atteint durant les millénaires. Ce CO₂ est responsable de l'effet de serre donc contribue au réchauffement global de l'atmosphère.

***Une banque alimentaire : l'humus**

Si en latin "humus" veut dire " terre ", le mot humain s'y apparente, tout comme humilité par ailleurs. Le sol digère les corps morts mais pas seulement. Son véritable rôle est biogénique (il donne la vie) pour l'ensemble de la biosphère, du moins pour sa partie terrestre et littorale. Des mécanismes biologiques propres à l'humus dépend le recyclage de la matière morte qui est le déchet de l'expression du vivant. Avant d'être totalement minéralisée, la matière morte brute subit une transformation physico-chimique intense qui la conduit à cette forme organique complexe, composante essentielle d'un sol arable. L'humus est constitué de matières végétales et animales mortes mais non encore modifiées, d'une partie en cours de dégradation ou déjà transformée, le tout étant associé à des polymères organiques issus de cette dégradation.

Grâce à sa lignine et à ses dérivés phénoliques, cet hétéro-complexe possède, en automne, une structure favorable à la mise en réserve des nutriments issus de la minéralisation. Sans humus –celui-ci fixe les ions nutritifs– un sol serait lessivé par les pluies d'automne, alors que les conditions de minéralisation sont à leur optimum. Le lessivage des sels minéraux est provoqué par l'eau s'infiltrant en profondeur quand elle les entraîne avec elle ; ils sont perdus pour les végétaux qui en auraient besoin au printemps. La nature étant bien faite, notre humus va agir comme un retardateur (ralentisseur biologique) puissant de la minéralisation automnale.

Au printemps, l'activité de certains champignons va modifier la structure de l'humus, ce qui permettra à la minéralisation de reprendre au grès des besoins alimentaires des végétaux.

L'humus n'est pas séparé de la fraction minérale du sol : il est associé à des argiles –humus et argiles sont des colloïdes car ils restent en suspension dans l'eau pour former une structure chère aux spécialistes des sols (pédologues), le complexe argilo-humique (CAH).

L'humus est un banquier vivant et généreux, mais c'est aussi un excellent gestionnaire des ressources.

2.1.3. Facteurs hydriques

L'eau intervient en tant que facteur écologique par : ses propriétés physiques (chaleur, densité, pH), ses mouvements : l'agitation de l'eau entraîne une égalisation des températures et une augmentation de l'oxygène dissous.

2.1.3.1. Facteurs physiques

✓ Densité

La densité de l'eau varie avec la température et sa teneur en matières dissoutes. Sa densité relativement élevée (800 fois supérieure à celle de l'air) permet la flottaison d'organismes de taille considérable, la gravitation ne limitant plus la dimension maximale des organismes de façon aussi contraignante qu'en milieu terrestre. Ainsi, le plus grand animal qui ait jamais existé, le Rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*) peut mesurer plus de 30 m de long et peser 150 tonnes alors que le plus lourd des mammifères terrestres actuels, l'Eléphant d'Afrique (*Loxodonta africana*) ne dépasse pas les 7 tonnes. Malgré la présence des lipides dans leurs tissus et organes, les organismes aquatiques sont d'une densité intrinsèque légèrement supérieure à celle de l'eau. Ces derniers ont développé diverses adaptations morphologiques pour éviter de couler.

✓ **Courants**

Mouvements de masse d'eaux ou d'air engendrés par des différences de températures (et) de pression, ou encore par une différence d'altitude pour les eaux courantes continentales. Dans les cours d'eau, le courant souvent violent confère aux biotopes torrenticoles des particularités écologiques spécifiques. Les animaux qui y vivent sont dits rhéophiles car ils doivent pouvoir s'accrocher au substrat et résister à la pression des eaux. En outre, les milieux torrenticoles par suite de l'agitation bénéficient d'une sur-oxygénation des eaux.

✓ **Lumière**

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 micro-mètres (Tab. 1).

Tableau 1: Les propriétés physiques de l'eau

| Propriétés | En comparaison avec d'autres liquides | Signification sur l'environnement |
|---------------------------------|--|---|
| Masse volumique | Maximum vers 4 °C, détente lors des gelées | Difficultés en cas de gelées, donne lieu à des stratifications saisonnières |
| Point de fusion et d'ébullition | Exceptionnellement élevés | Possibilité d'eau sous forme liquide à la surface de la Terre |
| Capacité calorifique | Capacité calorifique la plus élevée de tous les fluides, exception faite de NH ₃ | Tampon face aux températures extrêmes |
| Chaleur d'évaporation | Extrêmement forte | Tampon face aux températures extrêmes |
| Tension superficielle | Élevée | Importante pour la formation des gouttes dans les nuages et les pluies |
| Absorption lumineuse | Élevée dans le domaine des infrarouges et des UV, moins forte dans le domaine de la lumière visible | Importante pour la régulation de l'activité biologique (photosynthèse) et pour la température atmosphérique |
| Propriétés en tant que solvant | À cause de la propriété dipolaire, l'eau convient à la dissolution des sels (ions) et des molécules polarisées | Transport de substances dissoutes dans le cycle hydrologique et dans la biomasse |

2.1.3.2. Facteurs chimiques

✓ **Les substances dissoutes**

De très nombreuses substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, certaines d'entre elles y subissent une dissociation électrolytique. En milieu marin nous recensons 90 ions principaux en proportions constants quelque soit la mer et la profondeur. En eau douce par contre la composition en électrolytes est très variable selon les terrains traversés (maximum au niveau des sources thermales).

Les sels nutritifs sont parmi les électrolytes indispensables à la vie des êtres vivants. Les principaux sont les anions nitrates NO_3^- , nitrites NO_2^- , phosphates PO_4H_2^- et PO_4^{3-} et le cation ammonium NH_4^+

Les gaz dissous les plus importants en écologie sont l'oxygène (présent dans les eaux en raison de 4 à 8 mL.L^{-1}) et le CO_2 dont le taux est extrêmement variable. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend surtout de la température, il est d'autant moins soluble que la salinité augmente. La concentration du CO_2 dépend aussi de la température en eau douce mais essentiellement du pH en eau de mer. Dans l'eau nous le trouvons soit sous forme dissoute, soit sous forme de carbonates et bicarbonates.

✓ **Salinité**

Selon leur salinité, on distingue des écosystèmes euryhalins dont la salinité est très variable au cours du cycle des saisons, et à l'opposé des écosystèmes sténohalins (syn.: homoiohalins) dont la concentration en sel est constante. Parmi eux, les eaux marines (écosystèmes polyhalins), dont la teneur moyenne en sel est élevée, de 35 p. 1000 en moyenne, s'opposent aux eaux douces de faible teneur en sel, en général, inférieure à 0,2 p. 1000 (écosystèmes oligohalins). La limite entre les eaux douces et saumâtres est fixée à 3 p. 1000 par les limnologues mais à 5 p. 1 000 par les agronomes car c'est la plus forte salinité des eaux d'irrigation qui effectuent leur cycle vital entre les eaux continentales et le milieu océanique, qui se rencontrent dans les cours d'eau de l'ensemble des régions tempérées froides et subarctiques de l'hémisphère Nord.

✓ **Le pH**

Il intervient dans de nombreux fonctionnements biochimiques et processus physiologiques. Les organismes aquatiques sont très sensibles aux baisses de pH.

2.2. Facteurs biotiques

Tout facteur de l'environnement d'un organisme qui se compose d'éléments vivants. Ces facteurs peuvent affecter un organisme de différentes façons: compétition, prédation, parasitisme... La distribution et l'abondance des organismes sont dépendantes de leur environnement biotique.

Les interactions entre les individus, appelées parfois coactions, sont des facteurs biotiques. Les relations entre des individus d'une même espèce sont dites homotypiques, alors que celles entre individus d'espèces différentes sont dites hétérotypiques.

2.2.1. Coactions homotypiques

Elles sont très variées. Les principales sont les effets de groupe et de masse et la compétition intraspécifique.

2.2.1.1. L'effet de groupe

Il existe dans de nombreuses espèces végétales et animales avec souvent comme conséquence une accélération de la vitesse de croissance. C'est en général un effet bénéfique. On parle d'effet de groupe lorsque des modifications ont lieu chez des animaux de la même espèce, quand ils sont groupés par deux ou plus de deux. L'effet de groupe est connu chez de nombreuses espèces d'insectes ou de vertébrés, qui ne peuvent se reproduire normalement et survivre que lorsqu'elles sont représentées par des populations assez nombreuses. L'effet de groupe correspond à tout phénomène, au sein d'une population, qui est directement rattaché au nombre d'individus qui la composent. C'est l'interaction liée au rapprochement des individus et qui entre dans le cadre de la coopération. Il s'agit d'un effet positif.

Il en résulte souvent des communautés caractérisées par des alliances (communautés migratoires, communautés de chasse (lion), communautés de reproduction (oiseaux marins). La taille des communautés offre une protection face aux ennemies, évite de trop forte perte de chaleur, augmente le succès à la chasse ou lors de la reproduction.

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

2.2.1.2. L'effet de masse

Est réalisé lorsque le milieu devient surpeuplé et est une conséquence de l'effet de groupe. Contrairement au précédent, c'est un effet négatif. Il en résulte une autoélimination de la population. Les effets néfastes de ces compétitions ont des conséquences sur le métabolisme et la physiologie des individus qui se traduisent par des perturbations, comme la baisse du taux de fécondité, la diminution de la natalité, l'augmentation de la mortalité. Elle peut être réalisée de diverses façons comme le cannibalisme.

2.2.1.3. La compétition intraspécifique

Entre les individus d'une même espèce, peut être d'ordre alimentaire. La hiérarchie sociale avec des individus dominants et des dominés est également un exemple de compétition intraspécifique.

2.2.2. Coactions hétérotypiques

Théoriquement la cohabitation de deux espèces peut avoir sur chacune d'elles une influence nulle, favorable ou défavorable. Nous observons huit types de combinaisons possibles : compétition, neutralisme, prédation, parasitisme, commensalisme, mutualisme, amensalisme et

coopération (Tab.02). Néanmoins cette classification est réductionniste car de nombreux intermédiaires peuvent exister. Par ailleurs, la nature des coactions peut évoluer au cours du temps.

2.2.2.1. Compétition

Il y a compétition quand plusieurs organismes de même espèce ou d'espèces différentes utilisent des ressources communes présentes en quantité limitée ou, si ces ressources ne sont pas limitantes, quand, en les recherchant, les organismes en concurrence interagissent et se nuisent.

Lorsqu'il n'y a pas action directe entre les individus ou les populations en concurrence, on parle de compétition par exploitation. Il y a compétition par interférence quand il y a interaction directe entre les individus, qui se traduit par l'interdiction d'accès à la ressource de l'un par l'autre ou une diminution du rythme d'ingestion des proies.

Qu'elle soit inter ou intraspécifique, la compétition se manifeste par la défense d'un territoire (de nidification ou d'alimentation), afin de garantir aux plus forts les meilleures chances de reproduction et de survie et d'assurer ainsi le succès de la génération suivante. La compétition devient plus intense, notamment entre les individus d'une même espèce, lorsque les ressources se font rares et que la densité de compétiteurs augmente pour l'exploitation d'une ressource limitée. Elle conduit à une augmentation de la mortalité.

Exemple : la compétition des plantes herbacées pour la lumière en milieu forestier.

2.2.2.2. Prédation (Ravageurs et Prédateurs)

Décrit l'interaction biologique dans laquelle **un prédateur** (un organisme en action de chasse) se nourrit d'une proie (un organisme attaqué). Les prédateurs peuvent ou non tuer leur proie avant de s'en nourrir, mais l'acte de prédation a toujours pour conséquence la mort de la proie et, dans la plupart des

cas, la consommation d'au moins une partie de sa masse biologique. Les autres catégories de consommation sont l'herbivorie (consommation de parties de végétaux) et la détritivorie (consommation de matière organique végétale ou animale morte et existant sous forme de détritits). Un prédateur est un individu d'une espèce tuant un individu d'une autre espèce, la proie, généralement plus petite, dans un but alimentaire. Cette définition exclut donc le cannibalisme, le parasitisme et les parasitoïdes qui tuent rapidement un autre individu en le consommant de l'intérieur.

Les prédateurs peuvent être polyphages (s'attaquant à un grand nombre d'espèces), oligophages (se nourrissant de quelques espèces), ou monophages (ne subsistant qu'au dépend d'une seule espèce).

Il existe une proportion sensiblement constante, en un lieu donné, entre les effectifs d'un prédateur et ceux de ses proies potentielles dont seule une faible fraction de la population est capturée par les prédateurs au cours du cycle annuel.

L'éradication des prédateurs s'accompagne toujours dans la nature d'une pullulation initiale de la proie suivie de son effondrement après que son effectif ait dépassé la capacité limite du milieu.

Dans les agroécosystèmes, la rupture des équilibres biologiques due aux traitements insecticides provoque une explosion des populations **de ravageurs**.

2.2.2.3. Parasitisme

Interaction entre membres d'espèces différentes dans laquelle le parasite exploite son hôte sans nécessairement conduire celui-ci à la mort. Une espèce parasite, la plus petite des deux, inhibe la croissance ou la reproduction de l'espèce hôte et en dépend plus ou moins directement pour son alimentation. La plupart des parasites sont totalement dépendants de leur hôte, ou plus

exactement de leurs hôtes lorsqu'il existe un hôte intermédiaire. Ceci est le cas, par exemple, de la douve ou de la bilharziose. Tout comme les prédateurs, les parasites peuvent être polyphages, oligophages ou monophages.

Exemples : certains parasites sont externes (la tique du chien) d'autres internes (le ténia). Certains s'installent durablement, d'autres non.

2.2.2.4. Amensalisme

Type d'interaction dans lequel une espèce A élimine l'espèce B quand elles sont en présence l'une de l'autre tandis que l'espèce B n'exerce aucune action favorable ou défavorable sur l'espèce A. Il s'agit d'un cas extrême de compétition interspécifique marqué par une asymétrie totale de l'interaction des espèces en présence. Dans les interactions entre végétaux, l'amensalisme est souvent appelé allélopathie.

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

2.2.2.5. Commensalisme

Association dans laquelle une espèce tire un avantage tandis que l'espèce hôte n'en a aucun sans que pour autant il y ait nuisance pour elle. Il y a cependant une tolérance réciproque. La phorésie (transport d'un organisme par un autre) est une forme de commensalisme.

Exemple : le chacal vient se nourrir des restes de proie laissés par les lions.

2.2.2.6. Neutralisme

Définit deux espèces indépendantes et qui n'ont aucune influence l'une sur l'autre.

Exemple : les chamois, les bouquetins et les mouflons dans le Mercantour.

2.2.2.7. Coopération

Se dit de deux espèces qui forment une association non indispensable qui leur apporte un avantage.

Exemple: nidification collective.

2.2.2.8. Interaction de coopération et de symbiose

C'est la forme la plus évoluée des interactions positives entre espèces et représente le type de mutualisme le plus achevé. Elle tient en un phénomène d'association obligatoire, donc permanente, entre les organismes qui la pratiquent. Dans les cas les plus évolués, et aussi les plus fréquents, elle se traduit par le fait qu'une des espèces héberge à l'intérieur de son organisme l'autre espèce du couple de symbiotes (endosymbiose), par opposition aux cas moins évolués où les deux organismes restent extérieurs l'un à l'autre (exosymbiose).

Un très grand nombre d'associations symbiotiques existent entre végétaux et micro-organismes, entre deux espèces de végétaux, entre une espèce de plante et une espèce animale.

Exemples : l'association entre une algue et un champignon, formant les lichens ; l'association entre les racines d'un arbre et d'un champignon (ex: bolet du chêne). Dans les deux cas, l'espèce (algue, arbre) procure les sucres à l'hétérotrophe (champignon), qui lui procure l'eau et les ions minéraux.

***Le mutualisme** : association non obligatoire à bénéfices réciproques.

Exemple : le petit crabe qui vit dans la moule reçoit protection et nourriture, tandis que l'intérieur de la moule est nettoyé par le crabe. Cependant, l'un et l'autre peuvent vivre séparés.

Tableau 2 : Tableau récapitulatifs des différentes interactions entre espèces.

0 : les espèces ne sont pas affectées

+ : la vie de l'espèce est rendue possible ou améliorée

- : la vie de l'espèce est rendue impossible ou réduite.

| Interactions | Espèce A | Espèce B |
|--------------------------------------|----------|----------|
| Neutralisme | 0 | 0 |
| Compétition | - | - |
| Amensalisme (B amensale inhibe A) | - | 0 |
| Parasitisme (A parasite B) | + | - |
| Prédation (A prédateur, B proie) | + | - |
| Commensalisme (A commensale, B hôte) | + | 0 |
| Coopération | + | + |
| Mutualisme | + | + |

2.3. Interaction des milieux et des êtres vivants

Action réciproque qui s'exerce entre des êtres vivants et leur environnement. Le concept d'interaction désigne donc le processus par lequel deux ou plusieurs éléments se déterminent mutuellement par une relation réciproque. Les interactions engendrent des co-évolutions qui peuvent être de nature directe ou indirecte (interactions directes ou indirectes). Un exemple d'interaction directe est la relation proie-prédateur que vont avoir deux populations A et B. Un exemple d'interaction indirecte est la relation de concurrence entre une population A et une population B à propos d'une ressource C dont elles dépendent toutes les deux.

2.3.1. Rôle des facteurs écologiques dans la régulation des populations

La régulation des populations est une mécanismes qui permettent de maintenir une population à un niveau compatible avec la capacité limite du milieu. Interviennent les facteurs biotiques et abiotiques, densité dépendants ou indépendants.

La population n'a pas une structure figée mais est en évolution permanente. Une population se caractérise par plusieurs caractéristiques comme la répartition spatiale, l'effectif, la croissance, la survie et la mortalité.

Si rien ne venait la freiner, l'augmentation du nombre d'individus d'une espèce se ferait selon une progression géométrique. Ceci représente le taux d'accroissement potentiel. Le taux d'accroissement réel est beaucoup plus faible en raison des mortalités (maladies, parasitisme, sortie hors du biotope favorable, prédation à des stades divers).

Certaines fluctuations sont irrégulières et apparaissent de façon imprévisibles, d'autres au contraire sont régulières et donc prévisibles comme les fluctuations saisonnières et les fluctuations pluriannuelles.

L'introduction d'espèces dans un écosystème lui permet en général une colonisation très importante faute de prédateurs naturel. L'expansion qui se fait en général au détriment de la faune naturelle et provoque des catastrophes écologiques. Un exemple célèbre est l'introduction de quelques couples de lapins en Australie qui sont maintenant plusieurs millions.

A l'inverse l'homme peut provoquer un effondrement des stocks en effectuant des prélèvements trop important (chasse, pêche) et amener la disparition de certaines espèces.

Les causes des fluctuations sont nombreuses comme la fluctuation de la nourriture (facteur limitant), la compétition pour une même niche écologique ou le système d'interactions entre le prédateur et sa proie.

2.3.2. Notion d'optimum écologique (Loi de tolérance ou loi de Shelford)

Toute unité biologique (individu, espèce, groupement...) présente pour la plupart des facteurs du milieu : une valeur minimale, exigée pour son développement ; une valeur maximale au delà de laquelle, elle disparaît; Ces deux valeurs, sont appelées, respectivement limite inférieure et supérieure de tolérance.

En reportant sur un système d'axes, en abscisses, l'intensité d'un facteur « température, par exemple » et en ordonnées, la performance de l'espèce « biomasse, effectif, activité.... ». On trace une courbe à allure parabolique, délimitée par les deux limites, inférieure et supérieure (Fig. 09).

L'étendue de l'intervalle entre ces deux limites renseigne sur la tolérance de l'espèce en question, pour le facteur considéré et constitue son amplitude écologique qui représente le potentiel permettant à une espèce d'exploiter le milieu et supporter les variations environnementales.

Plus l'étendue de la courbe est large, plus l'espèce est tolérante « supporte une grande variation du facteur ».On appelle **optimum écologique**, la valeur du facteur au niveau de laquelle, l'espèce est la plus performante (activité maximale, croissance ou production maximales) (Fig. 10).

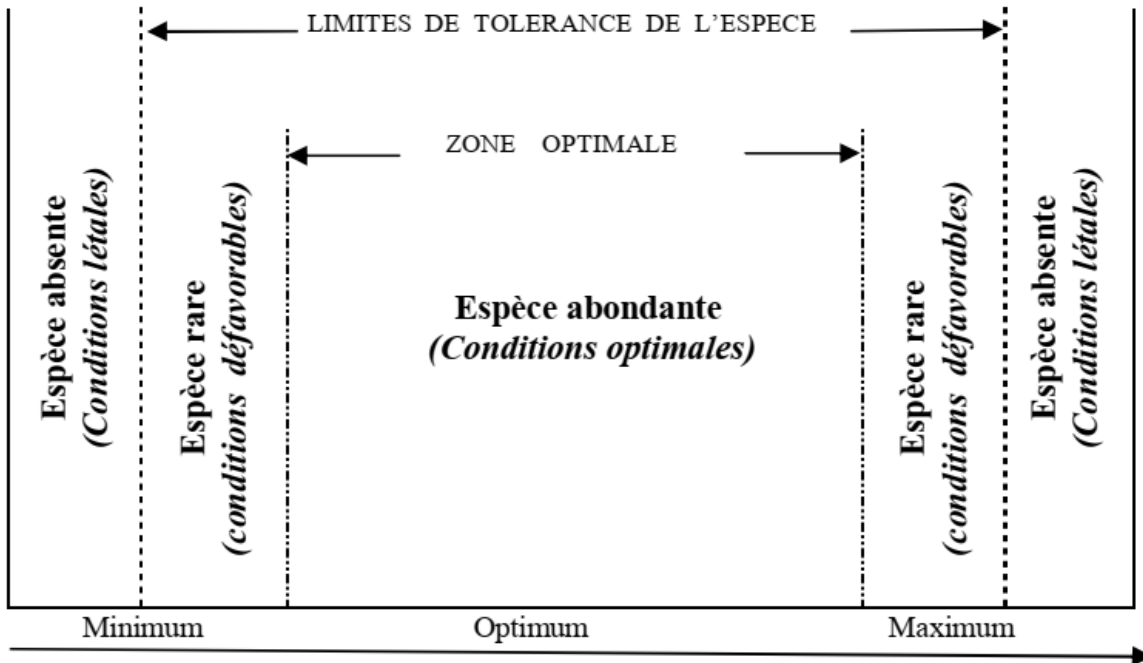


Figure 9: Limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié (Ramade F.,2008).

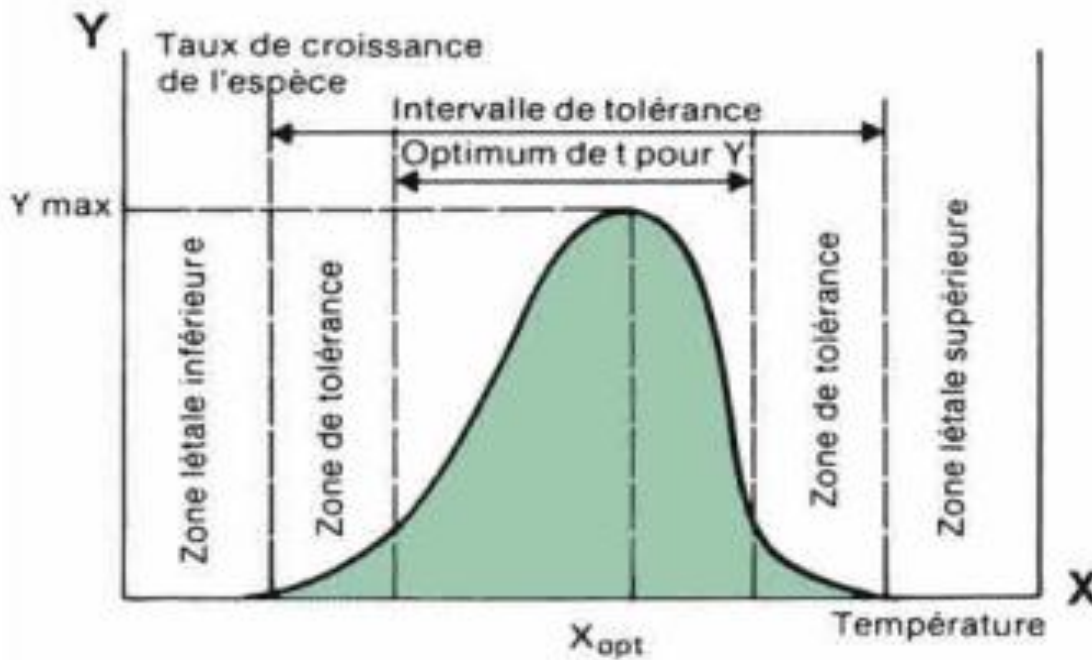


Figure 10: Intensité d'un Facteur écologique (Température) (Triplet P., 2015).

2.3.3. Valence écologique

La valence écologique, ou amplitude écologique, traduit les limites de tolérance d'une espèce vis-à-vis d'un facteur écologique donné. Une espèce est dite à forte valence écologique (euryèce) lorsqu'elle supporte une grande amplitude de variation de ce facteur, et de faible valence écologique (sténoèce) si elle présente une faible amplitude au facteur (Fig. 09). La valence écologique est donc la capacité de cette espèce à peupler des milieux différents caractérisés par des variations plus ou moins grandes des facteurs écologiques.

Une série de termes relatifs à la tolérance des espèces est devenue d'usage en écologie. Ces termes utilisent le préfixe grec "steno" pour désigner une faible amplitude de tolérance et le préfixe grec "eury" pour désigner une large amplitude de tolérance (Tab. 03).

Tableau 3 : Quelques exemples des termes les plus utilisés pour désigner les facteurs écologiques.

| Facteur écologique | Large amplitude écologique | Faible amplitude écologique |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Température | Eurythermique | Stenothermique |
| Eau | Euryhydrique | Stenohydrique |
| Salinité | Euryhalin | Stenohalin |
| Nourriture | Euryphagique | Stenophagique |
| Sol | Euryédaphique | Stenoédaphique |

| | | |
|----|-------------|--------------|
| | | |
| pH | Euryionique | Stenoionique |

Les espèces présentant de larges amplitudes de tolérance pour divers facteurs sont celles ayant une large distribution. Ce sont des espèces cosmopolites et qui croissent dans différents milieux.

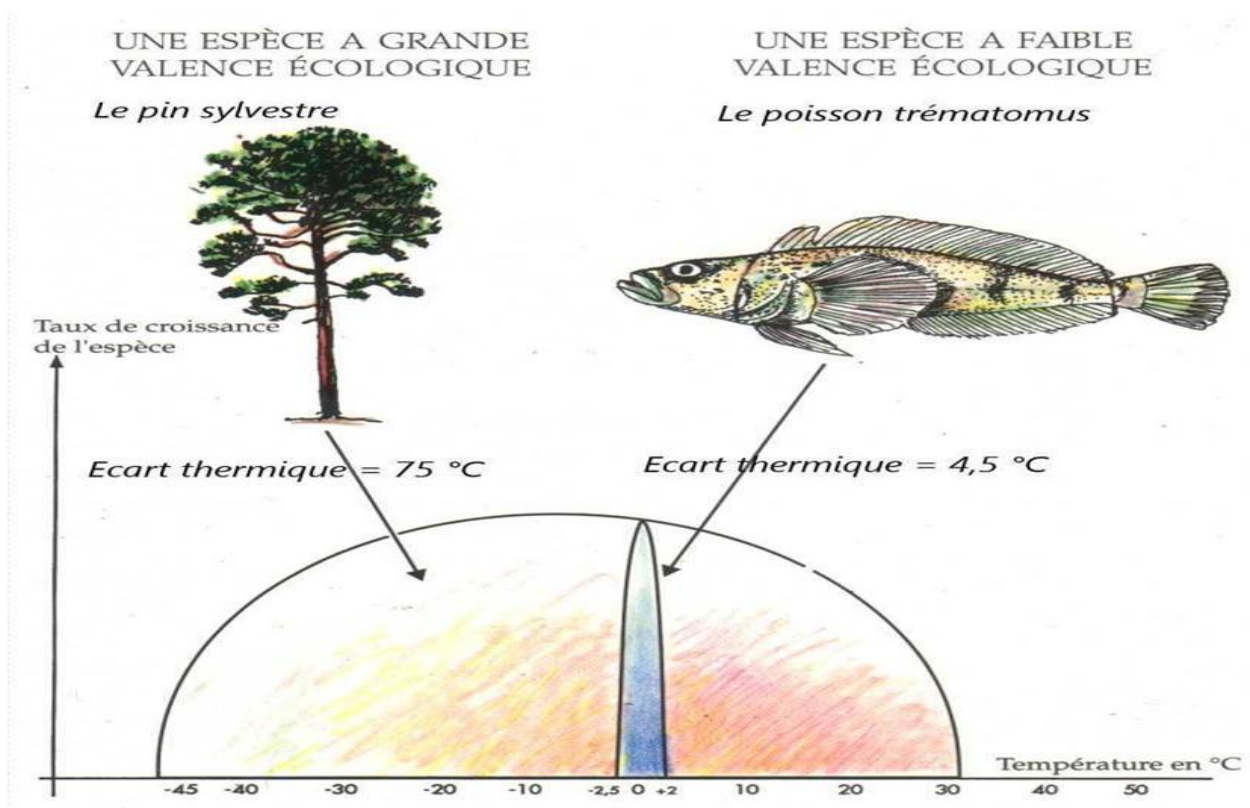


Figure 11 : Exemple d'une espèce à forte valence écologique (euryèce) et une espèce à faible valence écologique (sténoèce).

2.3.4. Facteur limitant (loi du minimum)

Un facteur écologique joue le rôle de facteur limitant lorsqu'il est absent ou réduit au-dessous d'un minimum critique ou s'il excède le niveau maximum tolérable. Un facteur limitant conditionne

les possibilités de succès d'un organisme dans ses tentatives d'invasion d'un milieu ou il peut affecter le métabolisme général d'un organisme. Chaque être vivant présente vis-à-vis des divers facteurs écologiques des limites de tolérance entre lesquelles se situe son optimum écologique.

La loi du minimum (Liebig, 1840)

Enonçait que le rendement d'une récolte dépend uniquement de l'élément nutritif qui est présent dans le milieu dans la quantité la plus faible, relativement à sa teneur optimale. Elle est complétée par la loi de tolérance de Shelford (1911) qui indique que pour tout facteur écologique existe un domaine de valeurs ou gradient dans lequel tout processus écologique sous la dépendance de ce facteur pourra se réaliser normalement.

-En milieu aquatique, facteur empêchant l'élévation vers un niveau supérieur de la qualité (ici des peuplements aquatiques). C'est aussi le facteur pénalisant le plus la vie aquatique.

2.3.5. Niche écologique.

Ensemble des paramètres qui caractérisent les exigences écologiques (climatiques, alimentaires, reproductives...) propres à une espèce vivante et qui la différencient des espèces voisines d'un même peuplement. Ces différents paramètres permettent à une espèce de former des populations viables.

Le concept de niche écologique définit le rôle et la place d'un organisme dans le fonctionnement d'un écosystème. Hutchinson la définit comme l'ensemble des conditions dans lequel vit et se maintient une population (Hutchinson 1957). Il s'agit donc d'un hypervolume à « n » dimensions correspondant à la niche potentielle ou optimale d'une espèce. La niche réelle est plus restreinte par suite des interactions biotiques et abiotiques entre la population considérée et les autres populations locales.

La niche représente la fonction qu'exerce une espèce dans un écosystème, où elle vit, ce qu'elle mange, son activité saisonnière. Elle est donc la place potentielle ou le rôle dans un écosystème donné dans lequel les espèces peuvent ou non avoir évolué. Niche écologique et habitat sont donc différents. Les préférences d'une espèce seront différentes selon que l'espèce est isolée ou doit cohabiter avec d'autres espèces.

Une niche écologique est dite potentielle (ou fondamentale) quand elle est représentée par l'ensemble des conditions de milieu nécessaires à l'espèce en l'absence de toute pression venant d'autres espèces. Elle correspond à l'expansion maximale que l'espèce peut atteindre.

Une niche écologique est dite réelle (ou réalisée) quand elle correspond à la portion de la niche potentielle qui est réellement occupée dans le biotope. Il faut donc pour cela que les conditions écologiques soient telles qu'une espèce, en compétition avec d'autres, puisse former des populations viables, ce qui veut dire également que la présence de compétiteurs rend une partie de la niche écologique inaccessible à une espèce donnée.

Deux espèces ayant les mêmes besoins, la même niche, ne peuvent cohabiter et l'une est éliminée au bout d'un certain temps. Il s'agit du principe de Gause ou d'exclusion compétitive.

Deux espèces qui cohabitent ont donc des niches réalisées différentes, au moins en partie.

Un changement des facteurs écologiques peut conduire à la régression voire à la disparition d'une espèce.

-soit parce que le nouvel environnement forme une niche écologique différente pour cette espèce.

-soit parce que les interactions compétitives avec les autres espèces sont modifiées.

2.3.6. Habitat

Peut désigner l'association végétale où se trouve localisée une espèce animale au sens initial du terme de niche écologique lorsqu'il est apparu en 1917 ou un domaine de tolérance vis-à-vis des principaux facteurs du milieu (définition de la niche écologique selon Hutchinson, applicables aussi bien aux espèces animales que végétales).

Au sens de la Convention de Rio, habitat désigne le lieu dans lequel un organisme ou une population existe à l'état naturel.

Une autre définition consiste à considérer l'habitat comme un emplacement particulier où se rencontre une espèce donnée (en quelque sorte l'adresse de l'être vivant, animal ou végétal) qui y trouve l'espace, les ressources et les conditions nécessaires pour remplir son cycle de vie.

L'habitat d'une espèce est considéré comme l'aire géographique de sa distribution, ou comme la localisation de sa présence, ou le milieu réel occupé, ce qui est le plus usité et le plus réaliste. Un habitat est donc un ensemble associant un milieu (le biotope, caractérisé par les conditions climatiques, les propriétés physiques et chimiques du sol...) et une communauté d'êtres vivants. Les scientifiques utilisent la notion d'habitat dans une perspective de classification.

Chapitre 03 : Structure des écosystèmes

3. Structure des chaînes alimentaires.

3.1. Relations entre les producteurs (autotrophes) et leur dépendance des nutriments et de l'énergie lumineuse ou chimique.

L'activité de tout être vivant nécessite l'utilisation d'une source d'énergie. Les deux principales sont la lumière pour les êtres autotrophes et les substances biochimiques (lipides, glucides, ...) pour les êtres hétérotrophes, donc la nourriture.

3.1.1. Chaîne trophique

Expression par laquelle on désigne l'ensemble des espèces végétales et animales qui participent à la transformation de l'énergie solaire en tissus végétaux puis au transfert à des niveaux supérieurs et enfin à la décomposition de la matière morte en éléments simples (Fig. 10).

Dans un écosystème les êtres vivants dépendent les uns des autres par des relations alimentaires. Les chaînes alimentaires assurent la circulation de la matière et par conséquent le transfert d'énergie sous forme biochimique entre les divers organismes de l'écosystème. Elles répondent au schéma général :

Organisme autotrophe → Herbivore → Carnivore 1 → Carnivore 2

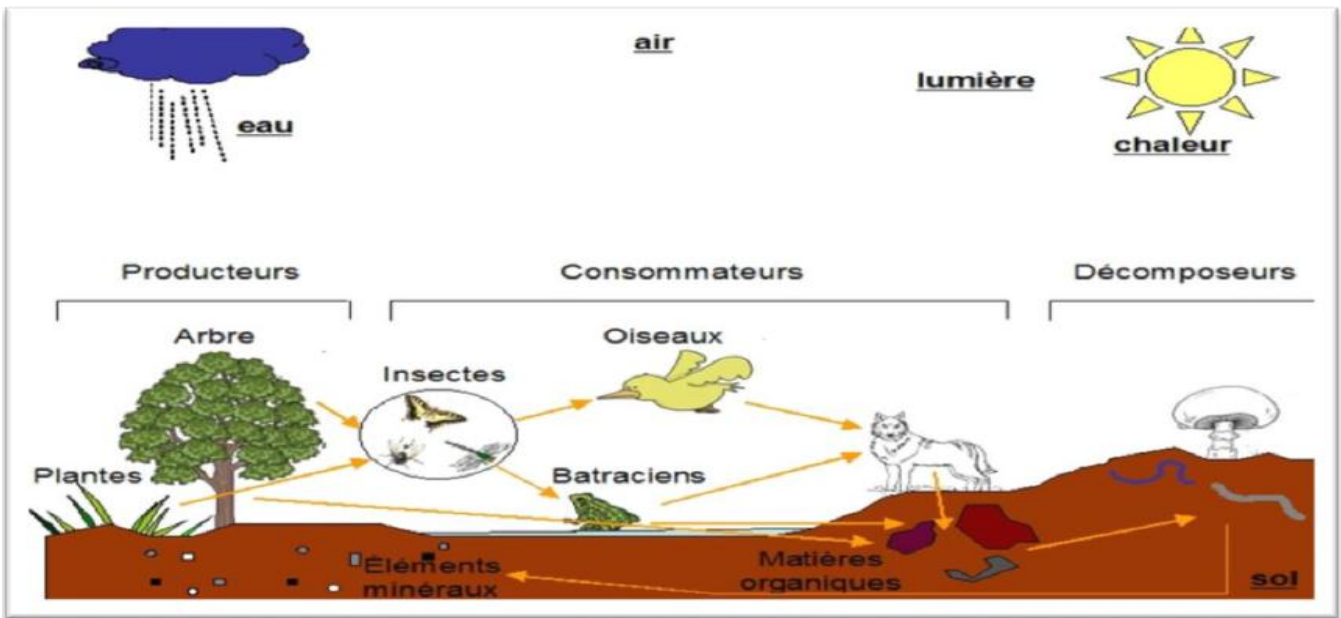


Figure 12 : Exemple de chaine trophique.

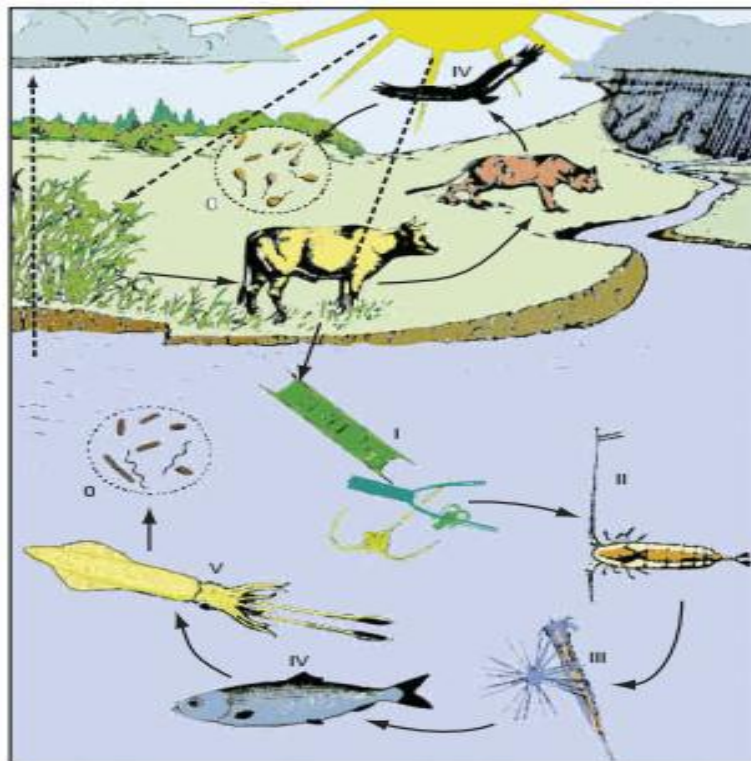


Figure 13: Schéma général des deux types fondamentaux des chaînes trophiques dans la biosphère : terrestres et aquatiques.

L'ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la matière circulent est appelé réseau trophique.

3.1.2. Réseau trophique

Ce terme désigne l'ensemble des relations trophiques existant à l'intérieur d'une biocénose entre les diverses catégories écologiques d'êtres vivants constituant cette dernière : les producteurs, les consommateurs animaux et les décomposeurs. Un réseau trophique peut aussi se définir comme la résultante de la totalité des chaînes alimentaires unissant les diverses populations des espèces que comporte une biocénose (Fig. 14).

Dans les écosystèmes aquatiques, on distingue usuellement des réseaux trophiques benthiques, qui concernent l'interface eau-sédiments tant des biotopes dulçaquicoles que marins et les réseaux trophiques pélagiques propres aux eaux libres des océans ainsi que celles de la zone limnétique des lacs.

Selon leur fonction dans les écosystèmes, les êtres vivants se répartissent en trois grandes catégories : les producteurs primaires ou autotrophes, les consommateurs primaires et secondaires ou hétérotrophes.

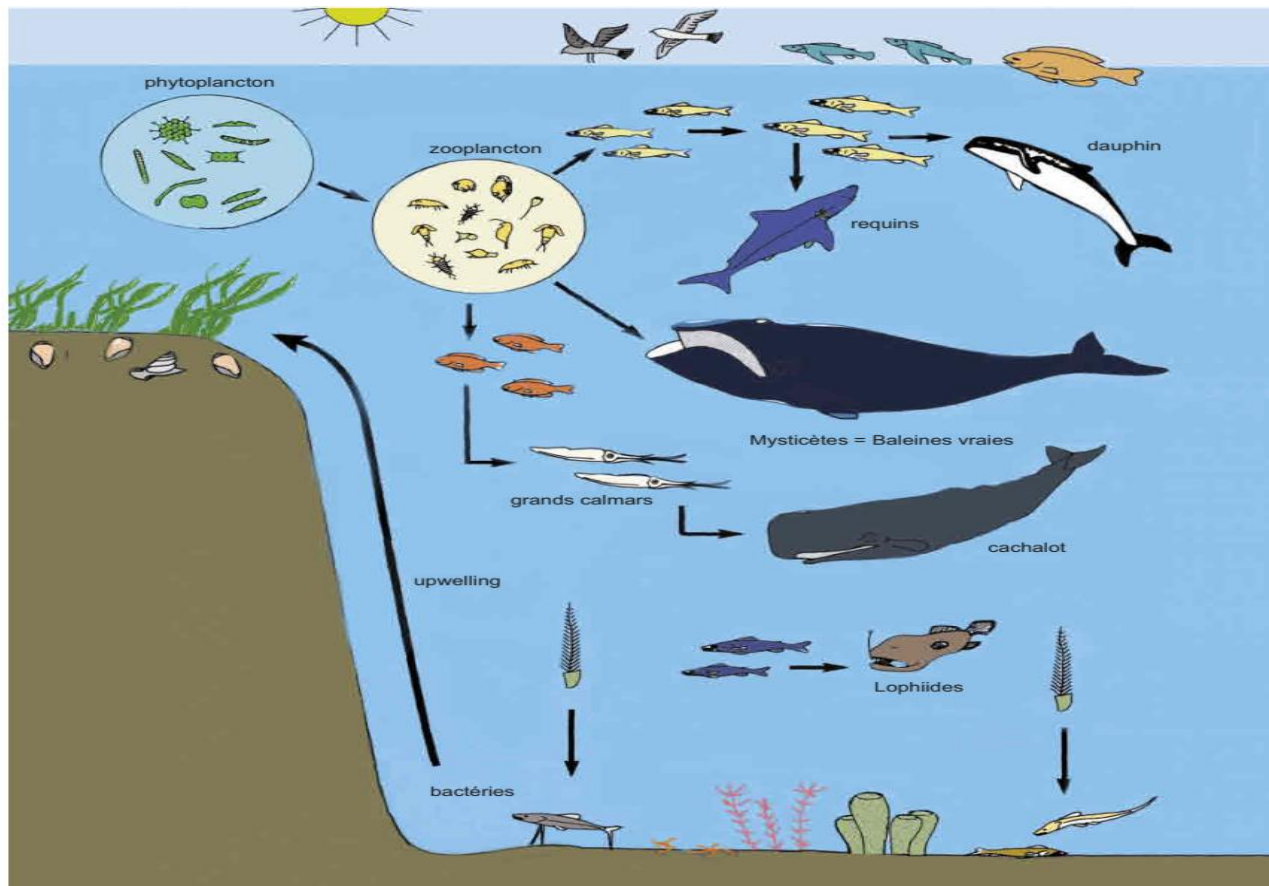


Figure 14 : Representation d'un reseau trophique

(Ramade F., 2008).

3.1.3. Les producteurs primaires ou autotrophes.

Groupe fonctionnel d'êtres vivants propre à tout écosystème. Ensemble des organismes autotrophes d'une biocénose, essentiellement plantes vertes en milieu terrestre, phytoplancton et algues macrophytes dans l'hydrosphère. Ils utilisent l'énergie solaire pour élaborer des substances biochimiques à partir du CO₂, de l'eau et des sels minéraux ; ce sont les premiers maillons des chaînes alimentaires.

3.2. Les consommateurs (Hétérotrophes) qui sont liés aux producteurs

Les consommateurs ou hétérotrophes qui ne peuvent se nourrir qu'avec des matières organiques synthétisées par d'autres êtres vivants. Les consommateurs de premier ordre sont les phytophages ou végétariens. Ils forment le second niveau trophique.

Les consommateurs d'ordre supérieur sont des zoophages ou carnivores. Ils forment le troisième, quatrième, ... niveau trophique. Tous les consommateurs fabriquent aussi de la matière organique, ce sont donc des producteurs secondaires.

3.2.1. 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,...).

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

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

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

3.2.2. 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,...

3.3. Les décomposeurs qui assurent le recyclage et la minéralisation de la matière organique

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

Saprophyte : Organisme végétal se nourrissant de matières organiques en cours de décomposition.

Exemple: Champignons.

Saprophage : Organisme animal qui se nourrit de matières organiques en cours de décomposition.

Exemple : Bactéries.

Détritivore : Invertébré qui se nourrit de détritits ou débris d'animaux et/ou de végétaux.

Exemple : Protozoaires, lombrics, nématodes.

Coprophage : Animal qui se nourrit d'excréments.

Exemple : Bousier.

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

3.4. Différents types de chaînes trophiques

Il existe trois principaux types de chaînes trophiques linéaires :

3.4.1. Chaînes de prédateurs

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

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

3.4.2. Chaînes de parasites

Ces dernières procèdent, à l'opposé des précédentes, d'organismes de grande taille vers des organismes de petite taille. Dans certains cas, plusieurs individus appartenant à des espèces fort éloignées au point de vue zoologique peuvent ainsi évoluer chacune à l'intérieur du corps de l'autre, le premier étant l'hôte du second et ainsi de suite. (la règle d'Elton n'est pas vérifiée dans ce cas).

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

3.4.3. Chaînes de détritivores

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

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

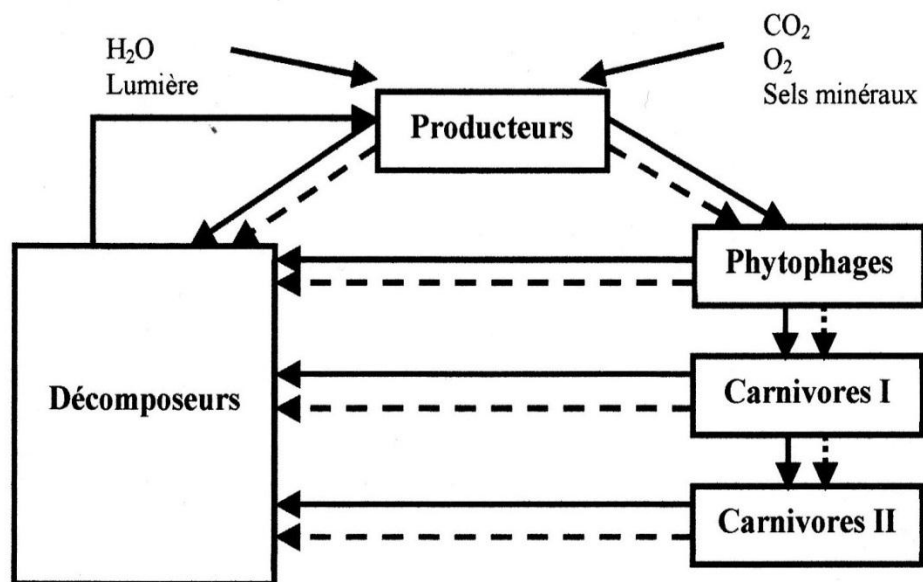


Figure 15 : Structure globale d'une chaîne alimentaire

Circulation de la matière (trait continu) et de l'énergie (trait discontinu)

Chapitre 04 : Fonctionnement des écosystèmes

4. Fonctionnement des écosystèmes

4.1. Flux d'énergie au niveau de la biosphère :

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.

Le maximum de complexité est atteint dans les écosystèmes qui résultent de plusieurs dizaines de niveaux d'associations. Le fonctionnement de l'écosystème dépend de celui de chaque composante qui garde ses propriétés et du fonctionnement général qui obéit à ses propres règles.

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.

***Flux au niveau des producteurs primaires (P1)**

-Une partie de la lumière solaire absorbée par le végétal est dissipée sous forme de chaleur.

-Le reste est utilisé pour la synthèse de substances organiques (Photosynthèse) et correspond à la Productivité primaire Brute (PB).

-Une partie de (PB) est perdue pour la Respiration (R1).

-Le reste constitue la Productivité primaire Nette (PN).

Nous pouvons donc écrire : $PB=PN+R1$

-Une partie de (PN) sert à l'augmentation de la biomasse végétale.

-Le reste de (PN) est utilisé par le niveau trophique suivant.

***Flux au niveau des consommateurs herbivores (C1)**

-Une partie seulement de la production végétale est ingérée par les herbivores qu'on appellera Partie Ingérée (PI1).

-Tout le reste est mis à la disposition des détritivores et décomposeurs à la mort des végétaux. Comme il n'est pas utilisé par les herbivores nous le nommerons (NU1).

-La quantité d'énergie ingérée (Partie Ingérée) (PI1) correspond à ce qui est réellement utilisé ou Assimilé (A1) par l'herbivore (Par digestion), plus ce qui est rejeté (Non Assimilée) (NA1) sous forme d'excréments et de déchets :

$$I1 = A1 + NA1$$

-La fraction assimilée (A1) sert d'une part à la Productivité Secondaire (PS1) et d'autre part aux dépenses Respiratoires (R2):

$$A1 = PS1 + R2$$

***Flux au niveau des consommateurs carnivores (C2)**

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

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

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

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

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

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

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

-Quant aux détritivores et aux décomposeurs, ils interviennent également dans le flux d'énergie qui traverse l'écosystème. Ce sont eux qui récupèrent l'énergie stockée dans tout ce qui n'est pas utilisé (NU1, NU2, NU3,...). Ils en tirent tout ce qui est nécessaire à leur métabolisme et à l'accroissement de leur biomasse, et comme les autres consommateurs, perdent de l'énergie par le catabolisme respiratoire ou les fermentations.

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

$$PB = PN + R1.$$

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

$$A1 = PS1 + R2.$$

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

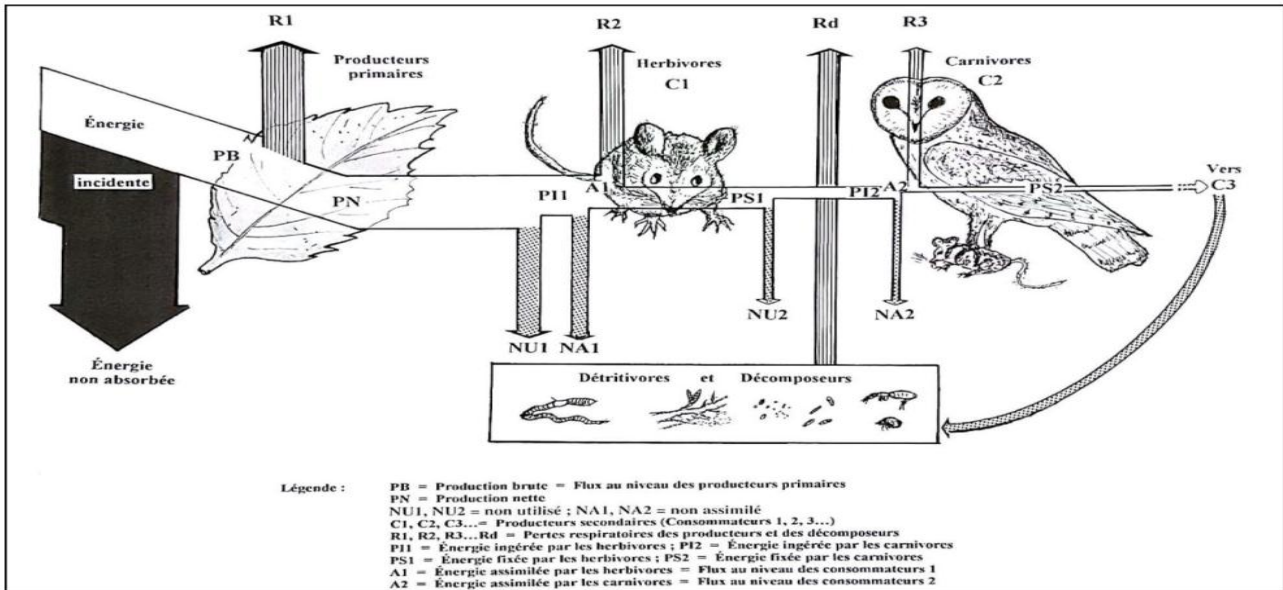


Figure 16 : Flux d'énergie à travers un réseau trophique

(Faurie et al., 2012).

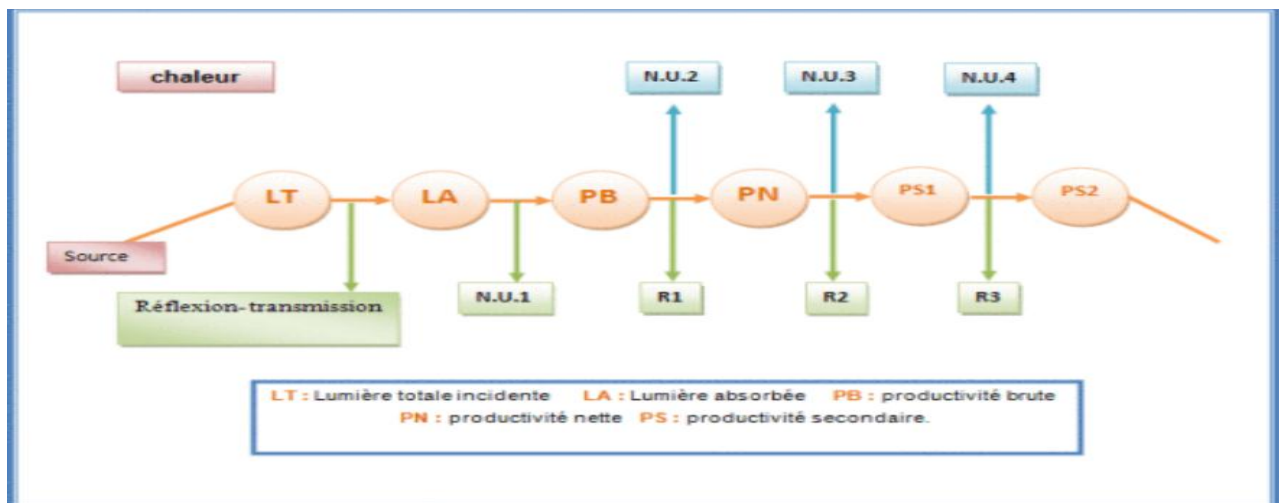


Figure 17 : La répartition de l'énergie au niveau des producteurs et des consommateurs

(Triplet F., 2017).

4.2. Notions de pyramides écologiques, de production, de productivité et de rendement bioénergétiques.

4.2.1. Pyramide écologique

Description graphique de la structure trophique d'un écosystème ou d'une chaîne alimentaire, soit en termes d'individus, soit en termes de biomasse, soit en termes d'énergie. Elle traduit l'efficacité des écosystèmes (rapport entre la production nette d'un niveau et celle du niveau précédent). La pyramide écologique est associée à la loi des 10% qui indique que seule une fraction de l'énergie qui entre dans un niveau trophique est transmise au niveau trophique supérieur. Cette fraction est de l'ordre de 10%.

Les pyramides écologiques se construisent par la superposition de rectangles de même hauteur, mais de longueur proportionnelle à l'importance du paramètre mesuré. Quelle que soit la biocénose dont elles représentent la structure trophique, les pyramides présentent deux caractères fondamentaux:

-La hauteur sera proportionnelle à la longueur de la chaîne alimentaire considérée, c'est-à-dire au nombre de niveaux trophiques qu'elle renferme.

-Leur forme sera plus ou moins étalée selon l'efficacité de transferts d'énergie d'un niveau à l'autre.

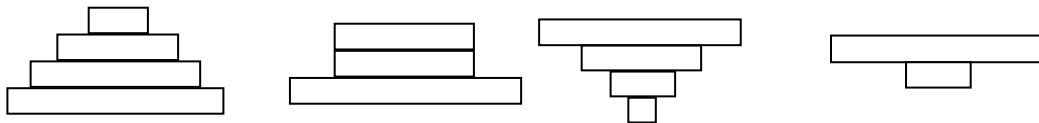


Figure 18 : Diverses schématisation des pyramides écologiques.

Il y'a trois principaux types de pyramides :

4.2.1.1. Pyramide des nombres :

Elle se construit en dessinant de longs rectangles horizontaux dont la longueur est proportionnelle au nombre d'individus présents par unité de surface. Chaque niveau trophique est pris en considération en commençant par les producteurs. Un tel schéma présente en générale, une base large et un sommet étroit car pour survivre, un animal de grande taille se nourrit de nombreux organismes de petites tailles (Fig. 19). L'intéret descriptif de la pyramide des nombres est très réduit, car elle fait intervenir toutes sortes d'individus quelques soient leurs tailles et qui peut donc donner une pyramide inversée (un seul arbre par exemple peut servir de nourriture pour plusieurs herbivores de petites tailles).

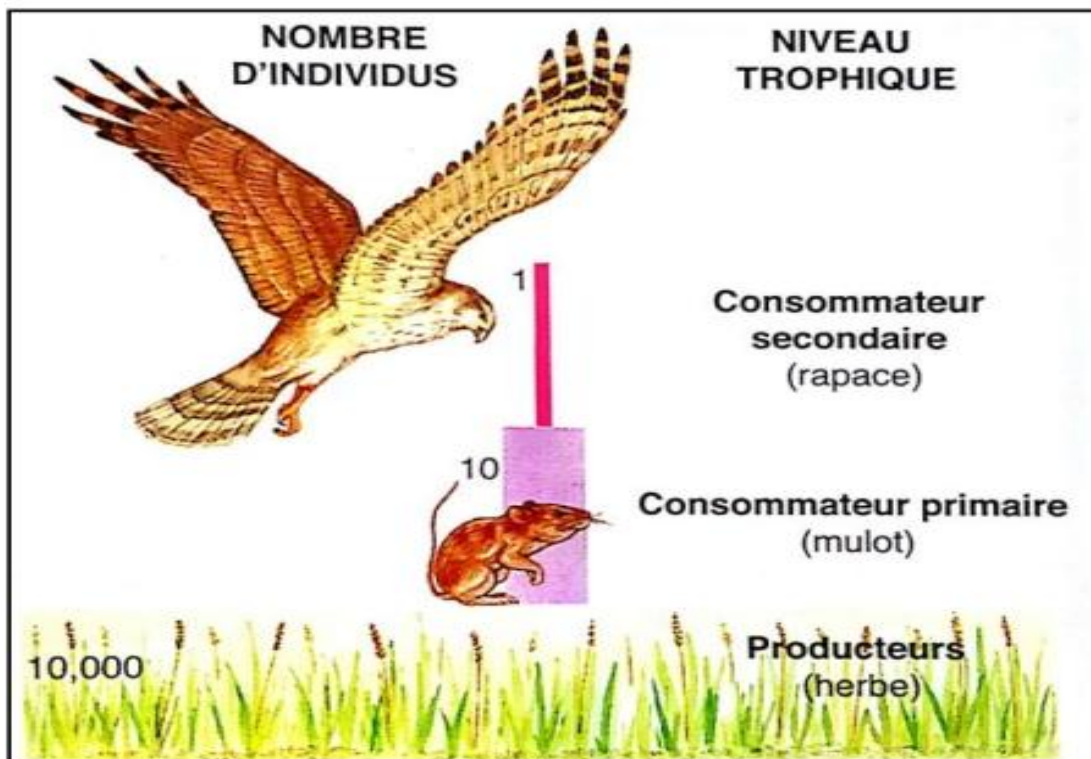


Figure 19 : Pyramide des nombres

(Berg et al., 2009).

4.2.1.2. Pyramide des biomasses :

Elle reflète mieux les relations trophiques dans un écosystème car elle exprime la biomasse présente à un instant donné à chaque niveau de la chaîne alimentaire (Fig. 20). La biomasse est une estimation quantitative de la masse totale de la matière vivante, elle indique la quantité d'énergie fixe à un moment particulier. Elle est représentée en tant que volume total, poids sec ou poids frais. Habituellement, les pyramides de biomasse montrent une réduction progressive de biomasse dans les niveaux trophiques successifs. On estime qu'il y'a en moyenne une réduction d'environ 90% de la biomasse à chaque niveau trophique.

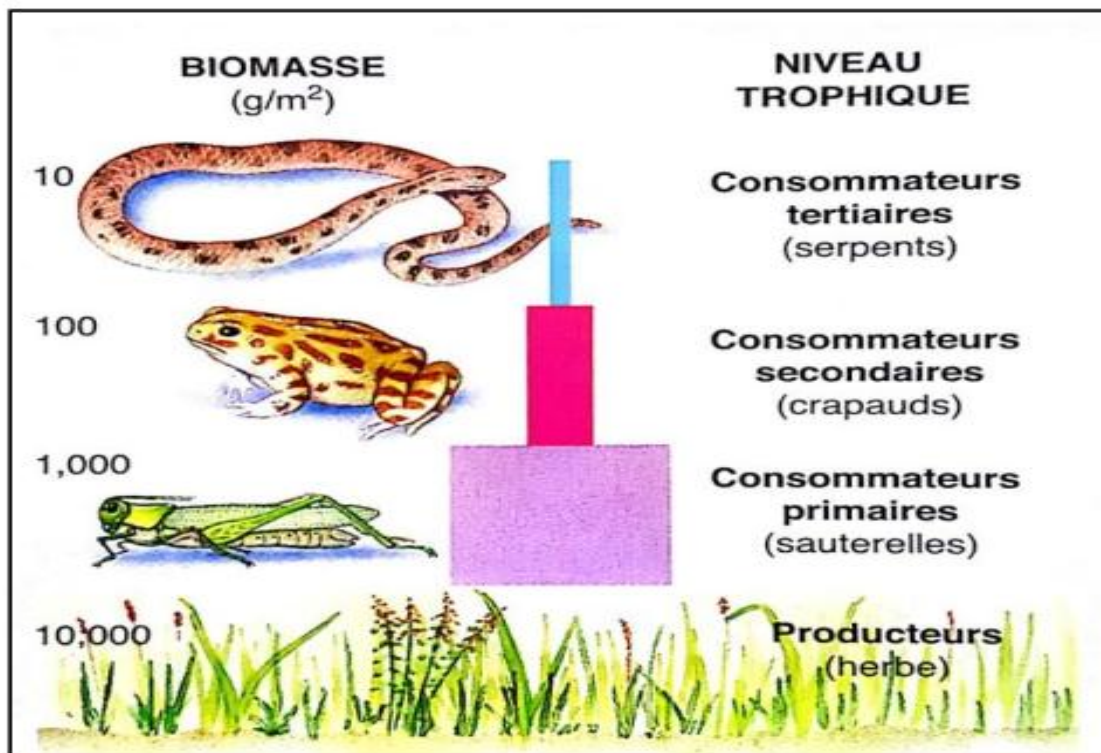


Figure 20 : Pyramide des biomasses

(Berg et al., 2009).

4.2.1.3. Pyramide des énergies:

La pyramide des énergies représente la quantité d'énergie collectée à chaque niveau de la chaîne alimentaire. Toute l'énergie solaire collectée par les végétaux n'est pas entièrement disponible pour les herbivores : le rendement de la photosynthèse est faible, une partie de l'énergie est utilisée pour répondre aux besoins de la plante elle-même. Le deuxième étage de la pyramide est donc moins large que le premier. Il en est de même pour le troisième, où les zoophages de premier ordre (les carnivores) ne récoltent pas toute l'énergie acquise par les herbivores, etc (Fig. 21).

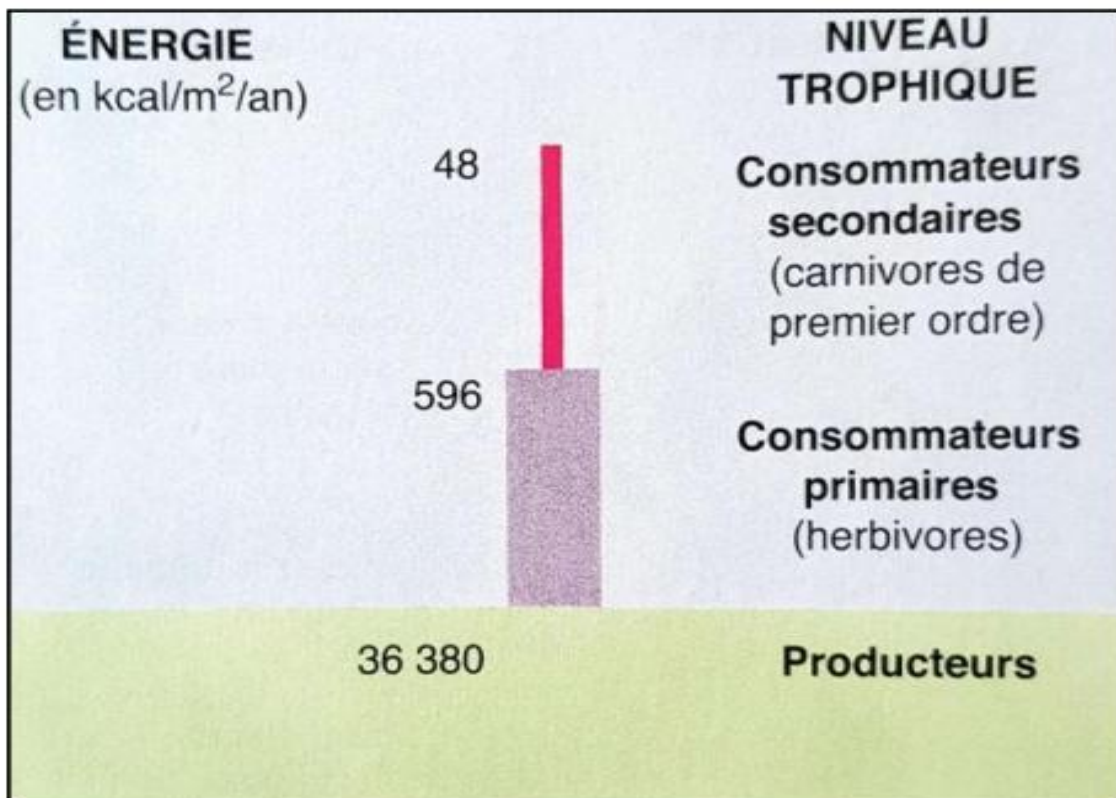


Figure 21 : Pyramide d'énergie

(Berg et al., 2009).

4.2.2. Production

En écologie, désigne la quantité de matière vivante (= matière organique) élaborée par un maillon de la chaîne alimentaire par unité de temps, de surface ou de volume. On distingue la production primaire (brute et nette), la production secondaire, la production tertiaire et la production quaternaire.

- **Production primaire**

Désigne en écologie la production de matière organique végétale (biomasse), issue de la photosynthèse, par des organismes autotrophes, dits producteurs primaires. Elle traduit la vitesse à laquelle se forme, par unité de temps, une quantité donnée de matière organique, à partir de la matière minérale et d'un apport d'énergie. Elle s'exprime en biomasse produite par unité de temps et par unité de surface ou de volume.

- **La production primaire nette (NPP)**

Est déterminée comme l'énergie fixée par les plantes moins leur respiration. L'énergie primaire nette terrestre est estimée à 110-120 x 10⁹ tonnes de masse sèche par an, et 50-60 x 10⁹ tonnes dans les mers. Bien que les écosystèmes marins couvrent les deux tiers de la surface de la Terre, ils ne contribuent qu'à un tiers à la moitié de sa production. Il existe une tendance latitudinale dans laquelle la productivité est concentrée dans les régions tropicales et tempérées et est primitivement contrainte par les radiations solaires (comme ressource) et la température (comme condition).

D'autres facteurs peuvent également limiter la productivité comme la disponibilité en nutriments, en eau ou l'altitude. Un biais existe dans la mesure totale du fait de la difficulté à mesurer la production primaire nette en dessous du sol.

Certains auteurs distinguent la production P (quantité de matière produite par unité de temps pour une biomasse donnée B) de la productivité (production rapportée à une unité de biomasse P/B. À l'inverse le rapport B/P est le turn-over ou taux de renouvellement de la biomasse.

- **Production primaire de biomasse**

Quantité de biomasse d'organismes autotrophes obtenue en une période de temps donné, par exemple, transformation de l'énergie chimique ou solaire en biomasse. La plupart de la production primaire de biomasse provient de la photosynthèse, par laquelle les plantes vertes convertissent l'énergie solaire, le gaz carbonique et l'eau en glucose et finalement en tissu végétal. Certaines bactéries des fonds marins convertissent l'énergie chimique en biomasse par chimiosynthèse.

- **Production secondaire de biomasse**

Quantité de biomasse d'organismes hétérotrophes (consommateurs et décomposeurs) obtenue en une période de temps donnée.

4.2.3. Productivité

Définie comme le rapport entre la production pendant un temps donné et la biomasse présente dans le milieu. 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 brute.

-Vitesse de croissance des organismes et de leurs populations, déterminée soit par fixation du carbone inorganique par photosynthèse ou chimiosynthèse, soit par l'ingestion de proies, de matière organique dissoute ou de matière organique particulaire.

-Quantité de matière biologique utilisable par l'Homme qui est produite à un endroit donné. En agriculture, la productivité du sol est appelée rendement qui renvoie à la production par unité de surface et la productivité à la production par unité de travail.

✓ **Production ou productivité de biomasse**

Quantité de biomasse obtenue en une période de temps donné ou sur une surface donnée.

4.2.3.1. Productivité brute

Quantité de matière vivante produite par unité de temps (en général une année) par un niveau trophique déterminé ou par un de ses constituants.

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

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

4.2.3.2. Productivité nette

Correspond à la productivité brute moins la quantité de matière vivante dégradée par les phénomènes respiratoires. La production nette est la photosynthèse apparente c'est-à-dire l'ensemble de tous les tissus formés par unité de temps et de toutes les matières nouvellement stockées dans tous les organes, c'est donc la différence de biomasse entre T1 et T2.

B2 – B1

$$PN = \text{—————} = PB - R$$

R : Respiration.

T2 – T1

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

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

4.2.3.3. La productivité secondaire

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

Finalelement :

Productivité brute (PB): Quantité de matière vivante produite pendant une unité de temps, par un niveau trophique donné.

Productivité nette (PN): Productivité brute moins la quantité de matière vivante dégradée par la respiration.

$$PN = PB - R.$$

Productivité primaire : Productivité nette des autotrophes chlorophylliens.

Productivité secondaire : Productivité nette des herbivores, des carnivores et des décomposeurs.

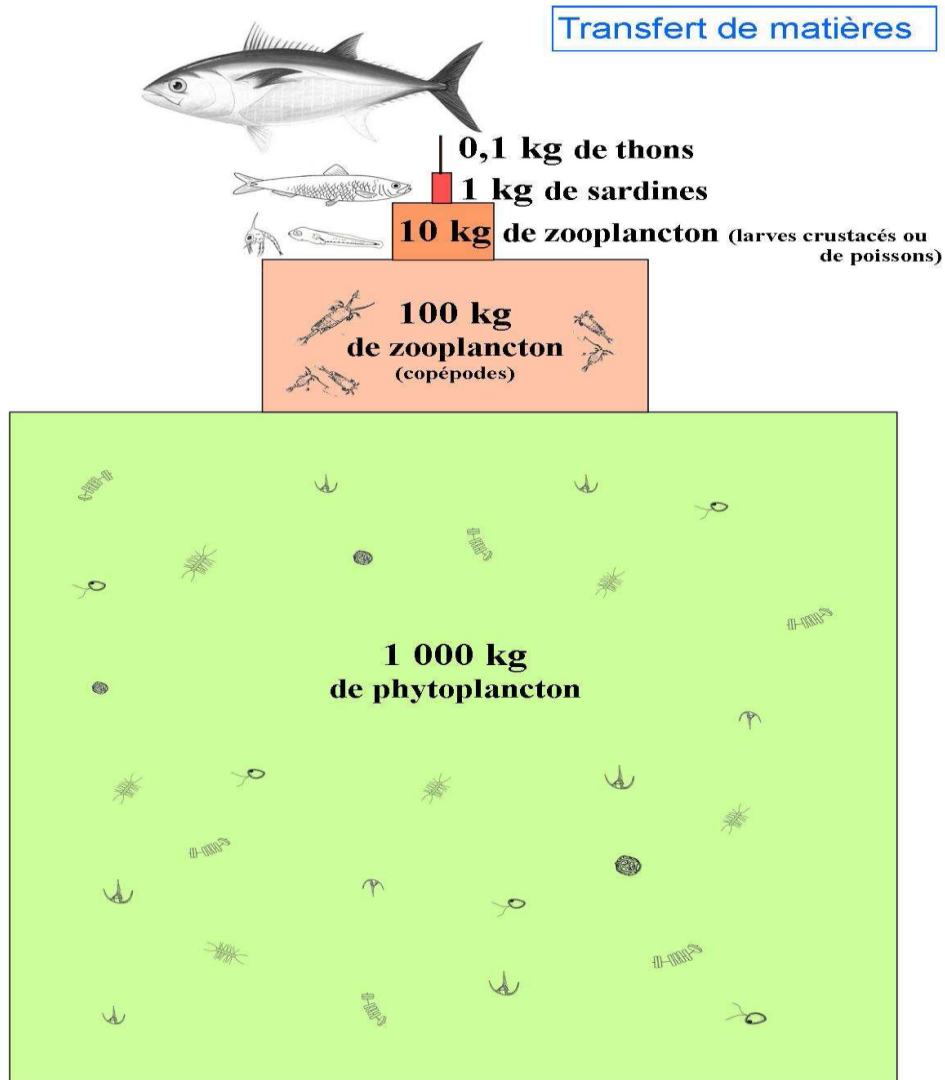


Figure 22 : Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire:

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

(Triplet P., 20016).

4.2.4. Les rendements écologiques

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

4.2.4.1. Rendement écologique :

C'est le rapport de la production nette du niveau trophique de rang (n) à la production nette du niveau trophique de rang (n-1) : $(PS1/PN \times 100)$ ou $(PS2/PS1 \times 100)$.

4.2.4.2. Rendement d'exploitation :

C'est le rapport de l'énergie ingérée (I) à l'énergie disponible. C'est la production nette de la proie : $(I1/PN \times 100)$ ou $(I2/PS1 \times 100)$.

4.2.4.3. Rendement de production nette :

Qui est le rapport de la production nette à l'énergie assimilée : $(PS2/A2 \times 100)$ ou $(PS1/A1 \times 100)$. Ce rendement intéresse les éleveurs, car il exprime la possibilité pour une espèce de former la plus grande quantité possible de viande à partir d'une quantité donnée d'aliments.

4.3. Circulation de la matière dans les écosystèmes et principaux cycles biogéochimiques

Le seul intrant énergétique des écosystèmes est constitué par l'énergie solaire dont une fraction est transformée en énergie biochimique par la fixation photosynthétique des autotrophes. À chaque étape de sa circulation dans les écosystèmes, une partie de l'énergie est transformée en travail cellulaire grâce à la respiration. Cela implique une perte par entropisation, car les systèmes écologiques sont soumis aux lois universelles de la thermodynamique. 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 puisque dans les réseaux trophiques l'une et l'autre sont associées à l'état de biomasse consommée ou non par les hétérotrophes

4.3.1. Cycle de l'eau, cycle hydrologique

Le cycle de l'eau décrit le mouvement continu de l'eau sur, au-dessus et au-dessous de la surface de la Terre. L'eau peut changer d'état, de gazeux à liquide, puis solide selon les endroits et selon les périodes. Bien que l'équilibre de l'eau reste constant au cours du temps, les molécules individuelles peuvent aller et venir, dans et en dehors de l'Atmosphère

Le cycle de l'eau se résume comme suit :

1. évaporation : chauffée par le soleil, les eaux des océans et des mers, s'évapore.
2. évapo-transpiration : au niveau de la végétation.
3. condensation : En s'élevant, l'air chaud et humide se refroidit et forme des nuages par regroupement des gouttelettes d'eau.
4. précipitations : Cette eau sous forme de pluie ou de neige.
5. ruissellement : L'eau rejoint, dans un temps plus ou moins long, un cours d'eau, et retourne à l'océan ou dans un lac, et le cycle reprend.
6. infiltration : l'eau s'infiltré dans les roches, elle forme des nappes d'eau souterraine et peut ressortir au niveau de sources.

On peut schématiser le phénomène continu du cycle de l'eau en trois phases :

- les précipitations,
- le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain,
- l'évaporation.

Chacune des phases intègre un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état.

L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation hydrologique qui est le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps. Le temporel introduit la notion de l'année hydrologique.

En principe, cette période d'une année est choisie en fonction des conditions climatiques. Ainsi en fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique peut débuter à des dates différentes de celle du calendrier ordinaire. Au niveau de l'espace, il est d'usage de travailler à l'échelle d'un bassin versant, mais il est possible de raisonner à un autre niveau (zone administrative, entité régionale, etc.)

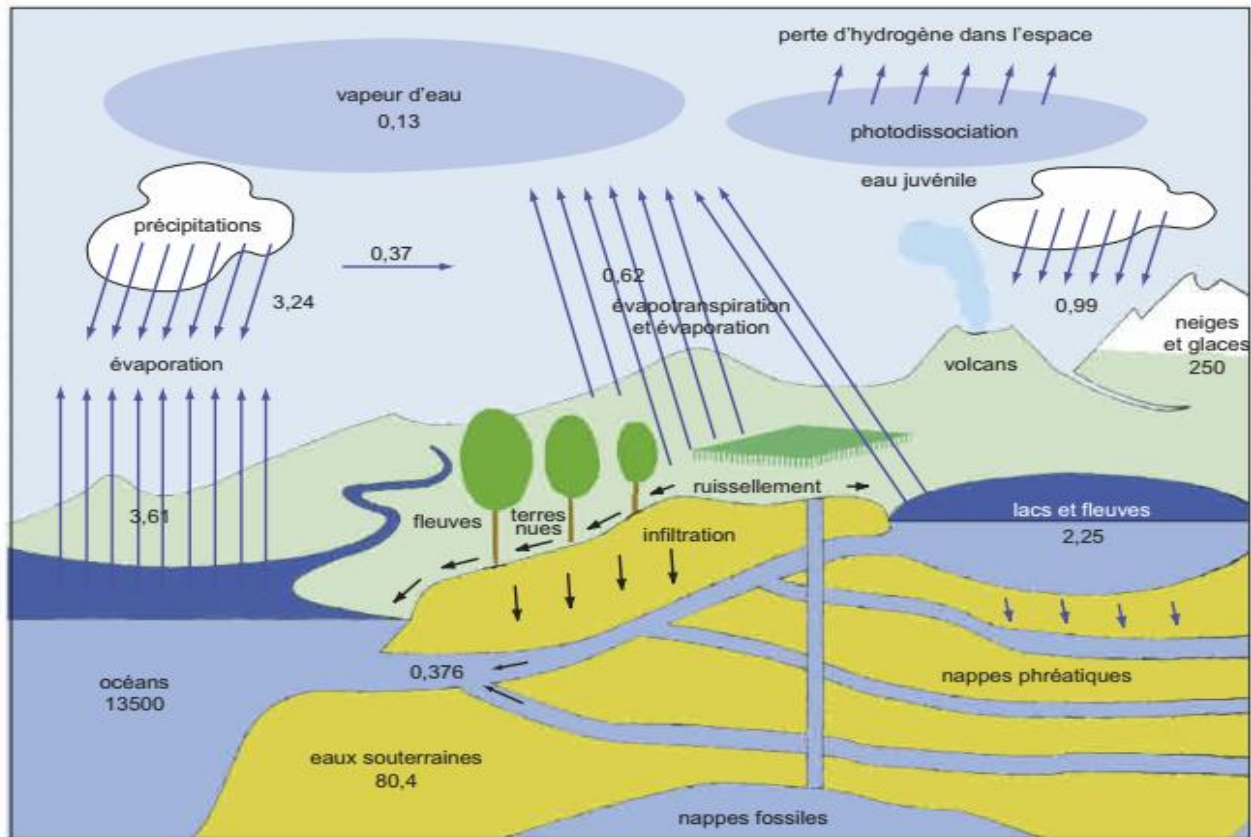


Figure 23 : Schéma général du cycle de l'eau

(Ramade F., 2008).

4.3.2. Cycles biogéochimiques à phase gazeuse

4.3.2.1. Cycle du carbone

L'océan absorbe du carbone par deux mécanismes: une pompe physique et une pompe biologique. La pompe physique vient de la dissolution du CO₂ atmosphérique dans les eaux de surface: elle égalise la concentration en CO₂ de chaque côté de l'interface eau/air. Ce mécanisme permet de stocker du carbone en profondeur pendant environ 1000 ans (échelle de temps de la circulation océanique profonde). La pompe biologique est due à l'activité du phytoplancton de surface: par photosynthèse, il fixe le CO₂ dissous dans les eaux de surface, réduisant ainsi la quantité de

CO₂ en surface, donc augmentant l'absorption. À leur mort, les organismes tombent puis sédimentent, stockant le CO₂ dans les sédiments océaniques pendant plusieurs dizaines de milliers d'années. Cependant, ce phytoplancton est sensible à l'acidité: l'acidification de l'océan par l'augmentation de la concentration en CO₂ risque donc d'en réduire la quantité, et, par là-même, l'efficacité de la pompe biologique.

Par ailleurs, la végétation aquatique dans les zones côtières contribue significativement à la séquestration du carbone dans les sédiments océaniques, dont on estime qu'entre 50 et 71% provient de ces écosystèmes côtiers.

La végétation absorbe le CO₂ par photosynthèse, en particulier lors de sa croissance. Ce carbone est ensuite stocké, d'abord dans les végétaux, puis à leur mort dans le sol. Tous les sols ne stockent pas la même quantité de carbone, ni pendant la même durée, mais de façon générale, les forêts, les tourbières et les prairies naturelles stockent plus de carbone que les terres agricoles cultivées intensivement.

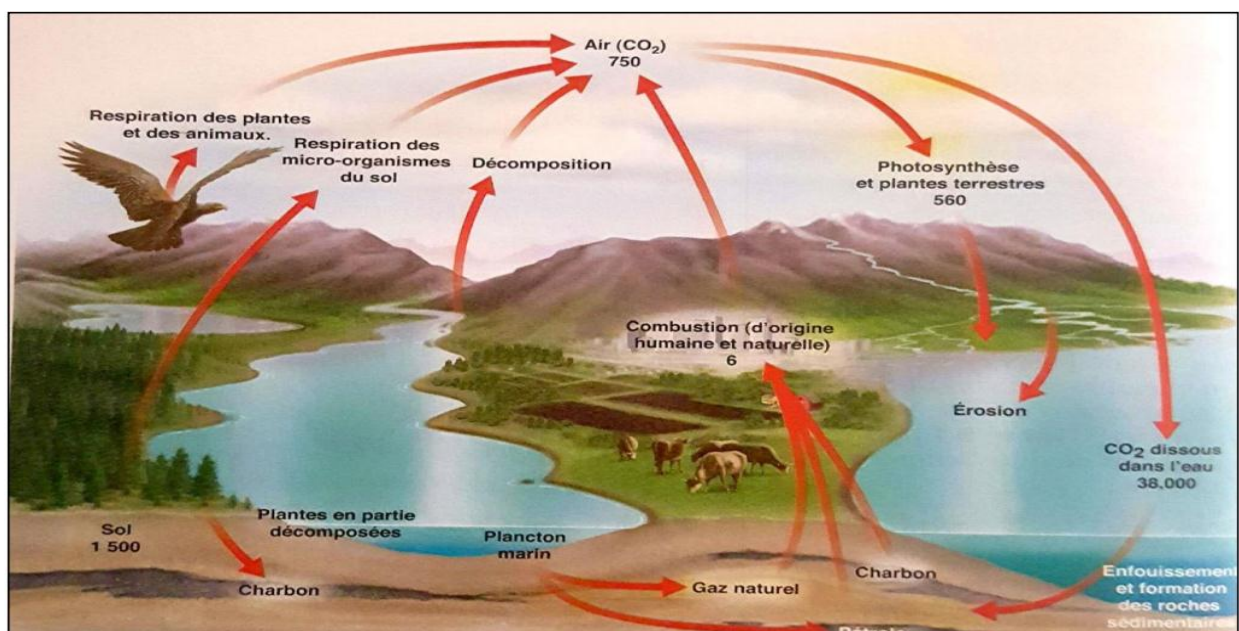


Figure 24 : Schéma général du cycle du Carbone

(Berg et al., 2008).

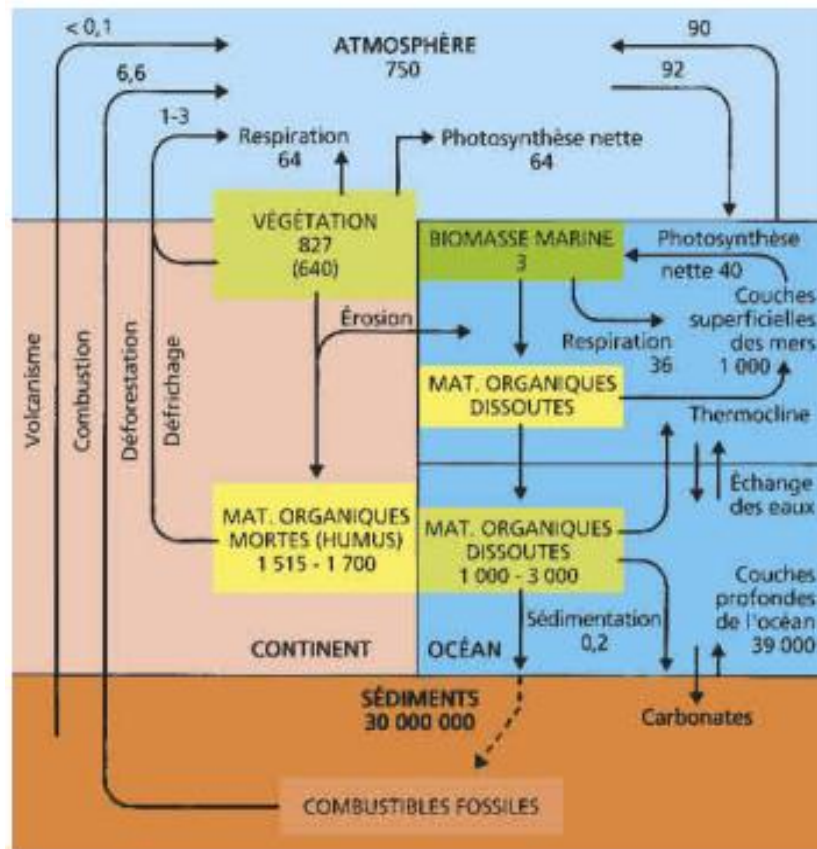


Figure 25: Schéma simplifié du cycle du carbone représentant les principaux flux et stocks dans la biosphère : les nombres représentent des 10^9 t d'équivalent carbone.

On constate le net découplage entre les cycles en milieu continental et océanique qui sont toutefois interdépendants au travers des échanges réversibles entre océans et atmosphère. (D'après Ramade, 2005)

4.3.2.2. Cycle de l'azote

Le premier gaz en importance dans l'atmosphère terrestre (78%) s'y trouve sous sa forme moléculaire normale diatomique N_2 , et est un gaz relativement inerte (peu réactif). Les organismes ont besoin d'azote pour fabriquer des protéines et des acides nucléiques, mais la

plupart ne peuvent utiliser la molécule N_2 . Ils ont besoin d'azote fixé dans lequel les atomes sont liés à d'autres types d'atomes comme par exemple à l'hydrogène dans l'ammoniac NH_3 ou à l'oxygène dans les ions nitrates NO_3^- . Le cycle de l'azote est très complexe. Le schéma suivant en présente une simplification (Fig. 26).

Trois processus de base sont impliqués dans le recyclage de l'azote: la fixation de l'azote diatomique N_2 , la nitrification et la dénitrification.

La fixation de l'azote correspond à la conversion de l'azote atmosphérique en azote utilisable par les plantes et les animaux. Elle se fait par certaines bactéries qui vivent dans les sols ou dans l'eau et qui réussissent à assimiler l'azote diatomique N_2 . Il s'agit en particulier des cyanobactéries et de certaines bactéries vivant en symbiose avec des plantes (entre autres, des légumineuses).

La réaction nécessite un apport d'énergie de la photosynthèse (cyanobactéries et symbiotes de légumineuses). Cette fixation tend à produire des composés ammoniacés tels l'ammonium NH_4^+ et son acide conjugué l'ammoniac NH_3 . Il s'agit ici d'une réaction de réduction qui se fait par l'intermédiaire de substances organiques notées $\{CH_2O\}$.

La nitrification transforme les produits de la fixation (NH_4^+ , NH_3) en NO_x (NO_2^- et NO_3^-), des nitrites et nitrates. C'est une réaction d'oxydation qui se fait par catalyse enzymatique reliée à des bactéries dans les sols et dans l'eau.

La dénitrification renvoie l'azote à l'atmosphère sous sa forme moléculaire N_2 , avec comme produit secondaire du CO_2 et de l'oxyde d'azote N_2O , un gaz à effet de serre qui contribue à détruire la couche d'ozone dans la stratosphère. Il s'agit d'une réaction de réduction de NO_3^- par l'intermédiaire de bactéries transformant la matière organique.

L'activité humaine contribue à l'augmentation de la dénitrification, par l'utilisation des engrais qui ajoutent aux sols des composés ammoniacés (NH_4^+ , NH_3) et des nitrates (NO_3^-).

L'utilisation des combustibles fossiles dans les moteurs ou les centrales thermiques transforme l'azote en oxyde d'azote NO_2^- . Avec N_2 et CO_2 , la dénitrification émet dans l'atmosphère une faible quantité d'oxyde d'azote N_2O . La concentration de ce gaz est faible, 300 ppb (parties par milliard). Cependant, une molécule de N_2O est 200 fois plus efficace qu'une molécule de CO_2 pour créer un effet de serre.

La concentration en N_2O atmosphérique augmente annuellement de 0,3% et cette augmentation est pratiquement reliée entièrement aux émissions dues à la dénitrification des sols. Les études des carottes glaciaires de l'Antarctique ont montré que la concentration en N_2O atmosphérique était de 270 ppb à la fin du dernier âge glaciaire (il y a 10 000 ans) et que cette concentration s'est maintenue à ce niveau jusqu'à l'ère industrielle où elle a fait un bond pour atteindre son niveau actuel de 300 ppb; une augmentation de 11%.

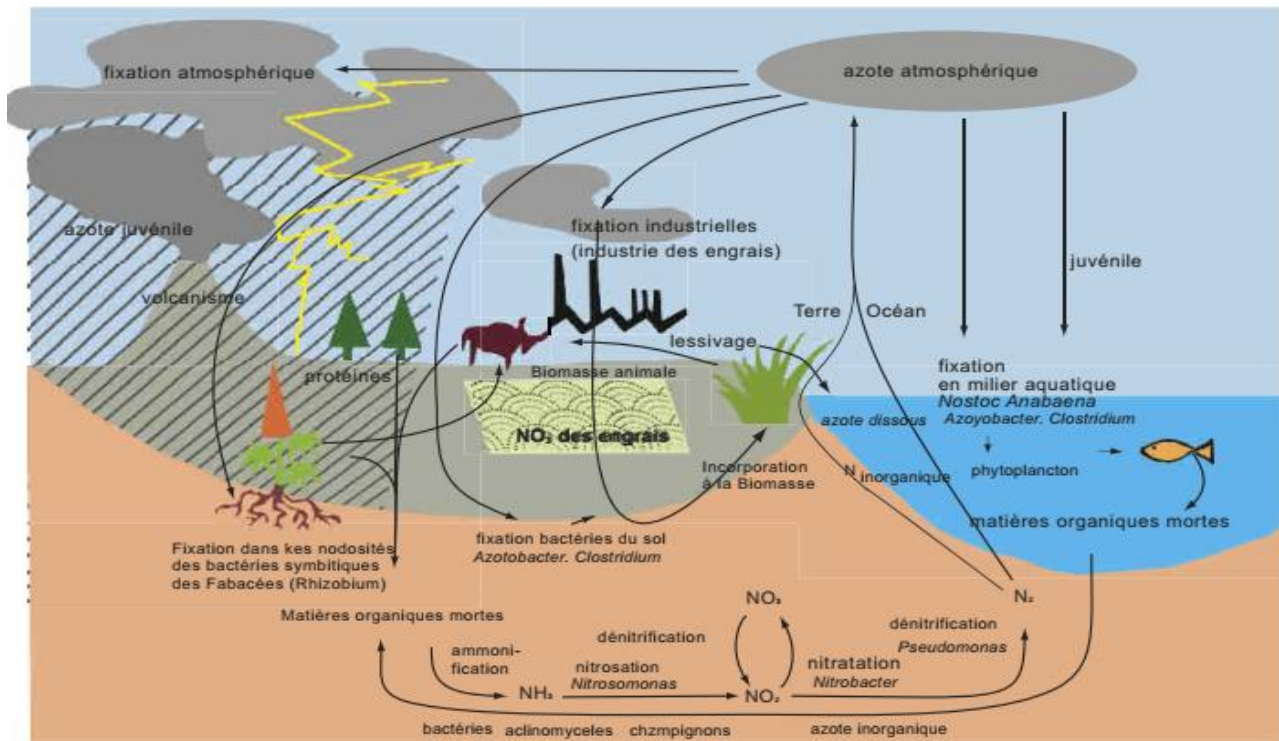


Figure 26 : Schéma général du cycle de l'azote

(Ramade F., 2008).

4.3.3. Cycles biogéochimiques à phase sédimentaire

4.3.3.1. Cycle du phosphore

Le cycle du phosphore est unique parmi les cycles biogéochimiques majeurs car il ne possède pas de composante gazeuse. Par conséquent, il n'affecte pratiquement pas l'atmosphère.

Le phosphore sous forme de phosphate (PO_4) est présent dans, le système nerveux, le squelette des êtres vivants et aussi dans les dents des vertébrés. Il est essentiel à la fabrication des protéines et des acides nucléiques (ADN et ARN).

Sa circulation peut être subdivisée en cycle terrestre et en cycle aquatique (marin et continental). Tout le phosphore terrestre est dérivé de l'altération des $Ca_3(PO_4)_2$.

Ce phosphore est absorbé par les plantes et transféré aux animaux par leur alimentation. Une partie est retournée aux sols à partir des excréments des animaux et de la matière organique morte. Une autre partie est transportée vers les océans où une fraction est utilisée par les organismes benthiques et ceux du plancton pour sécréter leur squelette; l'autre fraction se dépose au fond de l'océan sous forme d'organismes morts ou de particules et est intégrée aux sédiments. Ces derniers sont transformés en roches sédimentaires par l'enfouissement; plus tard, les roches sont ramenées à la surface par les mouvements tectoniques et le cycle recommence.

La plus grande part du phosphore que l'on retrouve dans les eaux des cours d'eau provient:

- (1) des rejets d'eaux résiduaires,
- (2) des déjections humaines,
- (3) des matières organiques en décomposition, des lessives,
- (4) des activités agricoles (engrais phosphatés utilisés en agriculture)
- (5) des ruissellements d'effluents agricoles.

Entrainé dans les eaux, cet élément s'y retrouve essentiellement sous forme de phosphore organique (résidu de la matière vivante) ou de phosphore minéral (ou phosphate inorganique) représenté essentiellement par les orthophosphates

Sa présence dans le milieu aquatique est responsable du phénomène d'EUTROPHISATION.

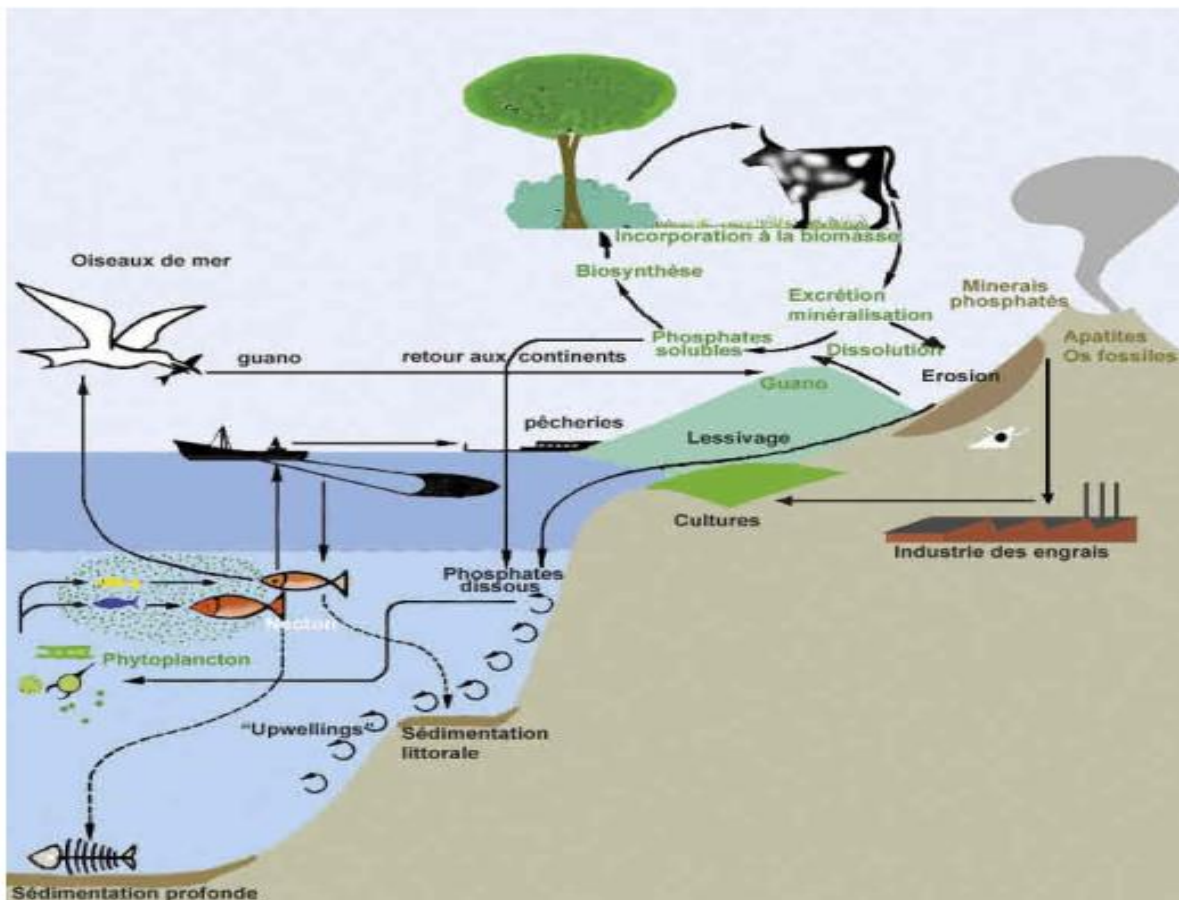


Figure 27 : Schéma général du cycle du phosphore

(Ramade F., 2008).

4.4. Influence des activités humaines sur les équilibres biologiques et particulièrement sur la perturbation des cycles bio géochimiques.

La seconde moitié du xxe siècle a été marquée par la récurrence à une fréquence croissante d'événements dont l'impact a été défavorable voire même souvent désastreux sur l'environnement, et qui ont affecté de vastes étendues depuis celle d'un pays pris dans son ensemble jusqu'à la biosphère tout entière. Parmi ces derniers, le réchauffement climatique global, dont les effets commencent à devenir perceptibles même par le profane, a contribué au premier rang des phénomènes catastrophiques majeurs auquel on assiste depuis plusieurs décennies à faire comprendre à un nombre

croissant de responsables politiques, et de citoyens des pays développés que la civilisation industrielle ne saurait longtemps encore s'affranchir des contraintes écologiques.

Cette prise de conscience des conséquences dramatiques qui résultent à la fois du fait que l'humanité a développé des activités industrielles susceptibles de compromettre la pérennité de la biosphère tout entière, et de la façon irréfléchie par laquelle elle a fait de tout temps usage de la nature et de ses ressources, s'est de plus en plus affirmée au cours des toutes dernières décennies. Il est ainsi devenu évident, grâce à diverses recherches effectuées par de nombreux scientifiques, qu'en ces débuts de xxie siècle, l'action conjuguée qu'exercent sur les ressources naturelles à la fois le gaspillage propre aux nations industrialisées et la croissance démographique littéralement suicidaire du Tiers-Monde, constitue la cause essentielle de cette « crise » écologique globale, à laquelle l'espèce humaine est aujourd'hui confrontée.

En réalité, la destruction des forêts tropicales et tempérées, l'érosion des sols, la désertification de vastes territoires autrefois fertiles, l'épuisement des pêcheries maritimes, la crise mondiale de l'eau, celle du pétrole et des autres hydrocarbures fossiles, la raréfaction des matières premières minérales, et les pollutions globales (avec en corollaire les bouleversements climatiques que certaines sont en train de provoquer) constituent autant de faits concrets qui mettent en évidence l'action pernicieuse de l'espèce humaine sur la pérennité de la biosphère

La pollution est la présence ou l'introduction dans l'environnement, de manière naturelle ou d'origine anthropique, de substances toxiques ou pouvant causer des modifications profondes de l'écosystème. La pollution peut également être d'origine sonore (bruits importants près des routes, des aéroports) ou lumineuse (éclairage trop important de la nature la nuit).

La pollution est toute modification anthropogénique d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction dans la

biosphère de substances chimiques artificielles, d'une perturbation du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation de la matière ou encore de l'introduction d'espèces exotiques dans une biocénose naturelle.

-D'un point de vue écologique : en prenant en considération le milieu (air, eau, sol), ou le compartiment de la biosphère afférent (atmosphère, hydrosphère, pédosphère) dans lequel ils sont émis et sur les biocénoses desquels ils exercent leurs perturbations.

- D'un point de vue toxicologique : Considère le milieu ou la manière par laquelle les polluants contaminent les organismes. On distinguera, selon la voie de contamination : chez les végétaux une absorption stomatale, transfoliaire, ou une translocation radiculaire. Chez les animaux on peut distinguer une contamination par inhalation (chez les espèces terrestres), par absorption transbranchiale (chez les espèces aquatiques), par ingestion (par voie orale) ou encore pénétration transcutanée à la suite du contact de la peau ou du tégument avec le polluant.

Classification des pollutions

On peut classer les pollutions à partir de nombreux critères.

- Selon la nature de l'agent polluant :

- Physique : rayonnements ionisants, réchauffement artificiel du milieu ambiant dû à une source

de chaleur technologique

- Chimique : substances minérales, organiques abiotiques ou encore de nature biochimique

- Biologique : microorganismes pathogènes, populations d'espèces exotiques invasives

introduites artificiellement par l'homme.

Les risques

Parmi les risques d'origines naturelles on peut citer les tempêtes (vents supérieurs à 89km/ heure), les inondations, les tremblements de terre, les mouvements de terrain... Plusieurs facteurs peuvent accentuer la fréquence de ces risques ; il s'agit notamment :

- des variations climatiques qui amplifient certains risques.
- la pluviométrie augmente le risque d'inondation.
- la sécheresse augmente le risque de mouvement de terrain...
- L'augmentation de la température problème du réchauffement global
- Les pollutions: Elles ne sont pas toujours le fait de l'activité humaine = l'activité anthropique (= les activités (domestique + industrielle). Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer.

Exemples :

1) pollution naturelle de l'eau : le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en métaux lourds et d'hydrocarbures peuvent aussi être à l'origine de pollutions aquatiques.

2) pollution naturelle de l'air par des irrptions volcaniques

La pollution atmosphérique se divise en trois catégories :

Pollution de proximité et à l'échelle locale : elle concerne les sources d'émission de gaz ou d'autres substances indésirables le plus souvent produits en milieu urbain (industries, chauffage, trafic...). Elle affecte en premier lieu la santé des populations par son action directe à court terme mais exerce aussi

une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies : cancer, asthme, maladie cardiovasculaire (exemple fluor = F)

Pollution à l'échelle régionale: elle concerne les zones situées à quelques dizaines de kilomètres (voire des centaines de kilomètres) des sources d'émission de pollution. Elle regroupe souvent sous ce terme les deux phénomènes de pollution que sont les pluies acides et la pollution photochimique

Pollution planétaire qui concerne les deux problèmes identifiés :

- la diminution (« trou ») de la couche d'ozone stratosphérique due essentiellement à l'action des composés halogénés (chlore, brome, iode) libérés par les activités humaines.
- l'augmentation de l'effet de serre liée à la production excessive de certains gaz (CO = monoxyde de carbone, CO₂ = dioxyde de carbone, COV = composés organiques volatiles) entraînera de graves changements climatiques (élévation de la température du globe et des modifications climatiques qui ont des conséquences pour la vie terrestre).

La pollution atmosphérique peut résulter soit d'une modification quantitative par la hausse de la concentration dans l'air de certains de ses constituants normaux (CO₂, NO₂, O₃), soit d'une modification qualitative due à l'introduction de composés étrangers à ce milieu (radioéléments, substances organiques de synthèse par exemple), soit encore, et c'est le cas général, d'une combinaison de ces deux phénomènes.

Avec la civilisation modernes, les quantités de substances rejetées dans l'atmosphère, altérant la composition normale de l'air, n'ont cessé d'augmenter. L'origine des différentes substances pollutant l'atmosphère est des plus variée. La combustion des diverses formes du carbone fossile (charbon pétrole, gaz naturel) joue un rôle prépondérant dans la contamination de l'air.

Les différentes substances ont des durée de vie dans l'atmosphère qui sont extrêmement variables, ce qui explique que les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles de temps et d'espace très variables. Voici l'ordre de grandeur de la durée de vie dans l'atmosphère de quelques polluants (Tableau 4).

Tableau 4 : Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère

| Substance | Polluants |
|------------------------------|------------------|
| CH4 | année |
| CO | mois |
| SO2 | jours à mois |
| Ozone | qq jours |
| COVNM | heures à jours |
| Aérosols 1-10 μm | minutes à jours |
| Aérosols $\leq 1\mu\text{m}$ | jours à semaines |

4.4.1. Conséquences de la pollution des milieux aquatiques.

Les êtres humains sont les principaux utilisateurs des écosystèmes aquatiques et des services écosystémiques associés. Cette utilisation peut être consciente ou non et, en fonction de son intensité, peut avoir peu ou pas d'effet sur le milieu aquatique, ou peut générer des effets significatifs, souvent appelés dysfonctionnements

✓ **Biologie : les modifications de la biocénose - les espèces exotiques envahissantes**

Dans un écosystème aquatique, l'ensemble des espèces vivantes ou biocénose fonctionne en interdépendance dans un équilibre à travers la chaîne alimentaire et la pyramide de productivité. La disparition d'une ou plusieurs espèces ou l'introduction d'une espèce exotique envahissante peut perturber et rompre cet équilibre.

La prolifération d'espèces exotiques envahissantes menace la biodiversité et a un impact sur la santé humaine. C'est le cas par exemple d'espèces telles que la jussie, la berce du Caucase, la renouée du Japon, le myriophylle, introduites volontairement ou non.

Ces plantes invasives par leur croissance rapide supplantent les espèces indigènes et se développent exagérément, entraînant des phénomènes de réduction de concentration en oxygène et d'asphyxie du milieu naturel aquatique, mettant en danger la vie des poissons et le développement des autres espèces aquatiques.

Les plantes exotiques envahissantes peuvent également avoir des conséquences sur la santé humaine. Par exemple, le pollen de certaines plantes (ambrosie à feuille d'armoise) provoque des allergies de type rhinites, conjonctivites, asthme, urticaires ou eczémas. Les espèces exotiques envahissantes peuvent aussi avoir des conséquences économiques telles qu'un impact sur l'agriculture, l'élevage et la pêche ou encore un impact négatif sur le tourisme et les loisirs (baignade, nautisme...).

✓ **Hydromorphologie : les actions mécaniques dans les écosystèmes**

Les pressions hydromorphologiques sur les rivières et les écosystèmes aquatiques sont nombreuses, peuvent prendre plusieurs formes et résulter de diverses activités humaines ou utilisations de l'eau.

Elles comprennent toutes les altérations physiques des masses d'eau qui modifient les rives, les zones riveraines / littorales, les niveaux d'eau et les débits (prélèvements d'eau non inclus). Des exemples de telles pressions sont la construction de barrages, de digues, de canaux, les fluctuations artificielles des niveaux d'eau.

Les pressions hydromorphologiques sont la conséquence des activités humaines dans le bassin versant y compris la production d'énergie hydroélectrique, les ouvrages de protection contre les inondations, la navigation, l'agriculture, le drainage des sols, le développement urbain, l'extraction de sable et la pêche. Des changements hydromorphologiques peuvent également résulter de plusieurs activités (par exemple, un barrage à buts multiples pour la production d'électricité, l'approvisionnement en eau et la protection contre les inondations).

Les actions mécaniques telles que le curage des rivières, la canalisation des berges par enrochement ou bétonnage, ont une influence sur le fonctionnement du milieu aquatique et modifient la dynamique des rivières. Elles ont un impact sur la vitesse des débits, le transport des sédiments et les habitats biologiques, et ainsi perturbent la structure du biotope et par conséquent les organismes qui participent à l'écosystème.

✓ **Hydrologie : prélèvements, regulation**

De nombreuses activités humaines induisent des prélèvements d'eau dans le milieu aquatique pour différentes utilisations. Le prélèvement peut être effectué directement dans le milieu aquatique, ou par une infrastructure particulière créée dans ce but (barrage, réservoir, dérivation, etc.), qui peut modifier le régime des eaux au cours de l'année hydrologique (par exemple le stockage d'eau en hiver pour son utilisation en été)

Les prélèvements importants par rapport aux quantités disponibles, et/ou effectués en période d'étiage, entraînent une perturbation du cycle de l'eau nuisible à l'équilibre de l'écosystème. De la même façon, le détournement d'un cours d'eau réduit la quantité d'eau disponible dans le lit principal et par delà, impacte l'hydromorphologie et la biocénose de l'écosystème.

Toute modification de la courbe annuelle d'es débits (barrage de régulation par exemple) peut avoir des effets similaires en modifiant la dynamique d'écoulement et en perturbant le

mouvement des sédiments. La limitation ou le blocage de la continuité de la rivière, par création d'un seuil ou d'un barrage, est aussi une cause de modification de la vie des écosystèmes aquatiques.

Les exemples de dysfonctionnement du fait de prélèvements ou détournements causés par l'activité humaine sont nombreux : l'assèchement de la Mer d'Aral par prélèvements majeurs pour l'irrigation des cultures de coton est symptomatique et très médiatisé. Mais la réduction du nombre de zones humides dans le monde révèle l'ampleur de ce type de dysfonctionnement qui peut porter sur des zones beaucoup plus restreintes que la Mer d'Aral.

Les déviations de cours d'eau et de nombreuses altérations hydromorphologiques modifiant la courbe d'écoulement des eaux (canalisation et bras mort) entrent également dans cette catégorie, car les flux naturels des canaux à faible débit et à haut débit sont affectés.

✓ **Pollution chimique et physico-chimique : pollution organique et micropolluants**

L'activité humaine induit des pollutions organiques. Outre les rejets domestiques (eaux usées non traitées) ou les rejets non dépollués de certaines industries, comme les industries alimentaires et du bois par exemple, l'agriculture est une source importante de pollution par l'intermédiaire de l'élevage y compris l'ensilage et l'épandage de fumier / boues. Cet apport de matière organique au milieu aquatique peut consommer des quantités massives d'oxygène, et ainsi tuer les poissons et perturber l'écosystème aquatique.

Selon son contenu, la pollution organique peut également contribuer à l'augmentation des substances nutritives dans les milieux aquatiques. L'utilisation excessive d'engrais peut avoir un effet similaire par érosion ou lixiviation.

Les activités humaines sont aussi la cause de rejets de micropolluants. Les micropolluants sont des substances chimiques en faible quantité qui ont un effet polluant sur le milieu aquatique. Trois groupes principaux sont généralement identifiés : polluants organiques, métalliques et organométalliques. Ils sont générés par de nombreuses activités humaines liées à l'exploitation des matières premières, à leur transformation, à leur utilisation et à leur dégradation en fin de vie (déchets). Suivant leurs caractéristiques physico-chimiques et toxiques, ils auront plus ou moins d'impact sur tout ou partie de l'écosystème. L'homme peut alors être exposé par des facteurs environnementaux (l'air notamment ou le contact avec la peau), par l'alimentation ou au travail.

D'autres paramètres peuvent également avoir un impact sur le fonctionnement des écosystèmes. Par exemple, les rejets d'eau chaude (cas des rejets d'industrie et de centrale nucléaire par exemple) engendrent, s'ils sont réguliers, des modifications de l'écosystème avec changement de la structure de la biocénose.

4.4.2. Conséquences de la pollution atmosphérique (eutrophisation , effet de serre , ozone, pluies acides.)

4.4.2.1 Eutrophisation

Phénomène d'enrichissement des eaux continentales ou littorales en sels minéraux nutritifs (phosphates, nitrates, etc.) d'origine naturelle mais souvent accéléré voire induit par une pollution des eaux par le rejet d'effluents urbains ou agricoles chargés de nutriments. Les limnologues anglophones différencient souvent la dystrophisation (encore dénommée hyper-eutrophisation), consécutive à cette pollution, de l'eutrophisation prise au sens strict, elle est d'origine naturelle.

Elle se caractérise de façon générale par une prolifération 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 donc 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. Les épisodes de crises d'eutrophie sont marqués par la formation de dépôts de sulfure ferreux noirâtre dans les sédiments.

À long terme, l'eutrophisation est la cause du comblement des biotope lacustres, résultat ultime de leur inéluctable vieillissement.

4.4.2.2. Effet de serre

Processus naturel qui, pour une absorption donnée d'énergie électromagnétique provenant du soleil, contribue à augmenter la température de surface de la Terre. Son principe est que l'atmosphère laisse passer des rayonnements solaires (de jour seulement), que le sol absorbe et réémet vers le haut (de jour comme de nuit) sous forme d'autres rayonnements qui sont absorbés par l'atmosphère, ce qui la réchauffe et fait renvoyer vers le sol une partie de l'énergie qui s'en échappait, contribuant à réduire la perte de chaleur donc à augmenter la température du sol. Les gaz à effet de serre (GES), comme le gaz carbonique et le méthane augmentent l'effet de serre et concourent à l'augmentation de la température de l'atmosphère.

La teneur en gaz carbonique de l'atmosphère augmente sensiblement depuis la révolution industrielle et la remise en circulation du carbone fixé dans les dépôts fossiles. La déforestation n'est pas non plus étrangère à cette augmentation du CO₂ atmosphérique. Il n'est pas impossible que cet accroissement de la teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère et celle d'autres gaz à effet de serre ait une influence sur le climat général de la planète et par conséquent sur le fonctionnement de tous les écosystèmes.

L'ampleur de l'augmentation générale de la température et les modifications dans la répartition de la pluviosité qui pourraient en résulter font l'objet de débats contradictoires. Mais, si changements climatiques il y a, il est clair que les conséquences seront considérables sur les écosystèmes forestiers, leur composition et leur fonctionnement. Une des conséquences de cette disponibilité accrue en gaz carbonique semble être, pour partie, l'accroissement de la productivité forestière observée depuis un siècle et demi.

Néanmoins une évaluation de l'effet sur la biodiversité de l'augmentation de la concentration en gaz carbonique de l'atmosphère et des modifications climatiques qui pourraient en découler est extrêmement difficile en raison de la multiplicité des interactions qui peuvent exister. Les écosystèmes forestiers ont été soumis à des variations climatiques de très grande ampleur au cours du Quaternaire. Ils ont fait la preuve de leur capacité de migration, d'adaptation et de recolonisation. Nul doute que ces capacités sont intactes, du moins pour les écosystèmes naturels.

Mais la question qui se pose est la vitesse d'évolution. Il semble en effet que les variations climatiques qui risquent d'être induites par l'action humaine pourraient être beaucoup plus rapides que celles observées pendant le Quaternaire. Des espèces forestières en limite de leur aire pourraient rapidement disparaître. Il risque aussi de se produire des déséquilibres importants, d'autant plus que les stress hydriques pourraient être plus fréquents et plus longs. D'une manière générale, nous savons que les stress hydriques affaiblissent les arbres et les rendent sensibles à des pathogènes ou des parasites dits de faiblesse.

Les équilibres entre pathogènes et espèces hôtes pourraient être bouleversés avec des conséquences difficilement prévisibles. En effet, ces équilibres dépendent fortement des caractéristiques climatiques. En France, le réchauffement du climat pourrait entraîner un déplacement vers le nord des aires de répartition de certaines espèces pathogènes ou de ravageurs. Il est possible que ces déplacements de

pathogènes ou de ravageurs soient plus rapides que celui des essences forestières, ce qui pourrait notablement modifier les équilibres actuels. La chenille processionnaire du Pin pourrait ainsi progresser en altitude et en latitude (. Inversement, l'augmentation de la température pourrait entraîner une diminution des dégâts en région méditerranéenne.

Les équilibres hôtes-insectes pourraient aussi être perturbés par les modifications métaboliques qui interviendraient chez l'arbre, comme la modification du rapport C/N ou de la concentration en composés secondaires des feuilles. Des phénomènes similaires pourraient se produire dans les équilibres hôtes-pathogènes. *Phytophthora cinnamomi*, probablement originaire de Papouasie Nouvelle-Guinée, est un des plus virulents pathogènes des racines des arbres en Europe. Son pouvoir pathogène est très dépendant de la température et de l'humidité du sol.

Un modèle prédictif de l'évolution du pouvoir pathogène de *Phytophthora cinnamomi* en fonction de l'évolution du climat a été proposé par Brasier et Scott (1994). Actuellement, *Phytophthora cinnamomi* est localisé dans les régions méditerranéennes. Une augmentation de 3 °C de la température moyenne des minima et des maxima pourrait entraîner un développement de ce pathogène jusque dans le Sud de la Norvège et de la Suède. Par contre, il ne se développerait pas dans les régions à climat plus continental. Un tel déplacement pourrait modifier les équilibres hôtes-pathogènes dans l'ensemble des écosystèmes des chênes européens. Heureusement, il semble que les Chênes soient moins sensibles que le Châtaignier. D'autre part, *Quercus robur* est moins sensible à *Phytophthora cinnamomi* que *Quercus suber*, *Quercus ilex* ou *Quercus rubra* .

Le problème est aussi difficile à analyser lorsqu'il s'agit de prendre en compte l'évolution possible des champignons symbiotiques mycorhiziens. L'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère améliore la photosynthèse. Cette amélioration de la capacité photosynthétique, variable suivant les espèces, ne peut se traduire en augmentation de la biomasse que si la capacité d'alimentation en eau et

en éléments nutritifs peut être elle aussi améliorée. Or, si l'alimentation en eau et en éléments minéraux des arbres forestiers dépend des conditions climatiques et des réserves des sols, elle dépend aussi des possibilités de transfert du sol à l'arbre qui se fait essentiellement par l'intermédiaire des associations mycorhiziennes. La question posée est donc la suivante : le transfert supplémentaire d'eau et d'éléments minéraux induit par l'augmentation de la photosynthèse peut-il être assuré par le système symbiotique en supposant que la ressource ne soit pas intrinsèquement limitée ?

L'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère semble favoriser la distribution du carbone vers les parties souterraines et principalement les fines racines, ce qui accroît le développement des racines et des mycorhizes. Il semble donc que les possibilités de transfert d'eau et d'éléments minéraux par le système symbiotique permettront de faire face à l'accroissement de la demande provoquée par l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère, à condition que d'autres facteurs ne deviennent pas limitants.

En effet, des facteurs comme la disponibilité en azote minéral sont actuellement en cours de modification sous l'effet des dépôts azotés d'origine anthropique. Les recherches sur les conséquences possibles d'apports exogènes d'éléments minéraux sur le développement de la symbiose mycorhizienne ont le plus souvent montré que les apports azotés ont des effets négatifs.

Une augmentation de la disponibilité en azote des écosystèmes forestiers pourrait donc entraîner à la longue une diminution de la biomasse des fines racines, une diminution de la capacité symbiotique et une moindre tolérance à la sécheresse par régression des mycorhizes de type *Cenococcum*. Ces apports azotés pourraient provoquer une fragilisation des écosystèmes forestiers qui seraient ainsi moins aptes à résister aux stress hydriques. D'autre part, la régression de la capacité symbiotique entraînerait probablement des déséquilibres nutritionnels en minorant la capacité d'absorption d'autres éléments minéraux comme le phosphore.

Pour les hêtraies du Nord-Est de la France, l'augmentation de croissance entre 1970 et 1995 a été de 33 % dans les Basses Vosges et de 20 % sur les plateaux calcaires (Duquesnay *et al.*, 2000). Pendant cet intervalle, le stock d'azote total du sol a augmenté de façon significative. La concentration en azote des feuilles de Hêtre a tendance à augmenter alors que la concentration en phosphore a diminué de 23 % (Duquesnay *et al.*, 2000). Il est tentant d'attribuer cette dernière à une diminution de la capacité symbiotique résultant de l'augmentation anthropique de la disponibilité en azote des écosystèmes forestiers. La microflore et la microfaune du sol, responsables de la décomposition de la matière organique, devront aussi s'adapter à des flux de carbone plus importants et à des conditions de fonctionnement fortement perturbées.

En première approximation, il semble cependant que la capacité d'adaptation de la microflore saprophytique ou de la microfaune du sol à ces modifications soit suffisante pour éviter des problèmes majeurs dans ce compartiment. En effet, la biodiversité de ces deux compartiments et au moins celle de la microflore est considérable avec beaucoup de redondances. Les conséquences de ces facultés d'adaptation de la microflore des sols aux changements climatiques et en particulier à l'augmentation de température pourraient cependant avoir des effets indésirables, comme l'accélération de la minéralisation de la matière organique des sols et donc des émissions de CO₂.

4.4.2.3. Trou dans la couche d'ozone

La déplétion de l'ozone stratosphérique est généralement attribuée à l'action de contaminants présents dans la stratosphère. L'ozone est présente dans la troposphère et joue un rôle important dans la pollution de l'air mais cela ne représente que 10% de la quantité totale d'ozone atmosphérique. Les 90% restant sont présents dans la stratosphère où ils jouent le rôle d'un filtre à l'égard des radiations UV solaires, éliminant l'essentiel des radiations de longueur d'onde < 300nm. Ceci a un effet protecteur essentiel pour l'homme parce que les radiations de faible

longueur d'onde correspondent à des photons de plus grande énergie provoquant des brûlures et des cancers de la peau.

Toute déplétion de l'ozone stratosphérique conduisant à une augmentation des radiations incidentes à la surface de la terre entraînerait donc un risque accru d'induction de cancers. Dans les années 80 on a commencé à suspecter des composés halogénés en particulier les fréons (CFC : chlorofluorocarbones) d'être des catalyseurs potentiels de la destruction de l'ozone.

Les CFC ont été largement utilisés dans l'industrie dans les bombes aérosol, comme réfrigérants ou dans la production des plastiques expansés. Environ 90% étaient relâchés directement dans l'atmosphère, les 10% restant correspondant à l'usage comme réfrigérant étant relargués quand l'équipement était périmé.

Les CFC sont chimiquement inertes et de ce fait ne réagissent pas à l'action des molécules, des radicaux ou des radiations existant dans la troposphère et ils ne sont pas non plus repris de façon significative dans les dépôts secs ou par les précipitations. Par contre, dans la stratosphère, les radiations UV plus énergétiques peuvent provoquer une photodissociation des CFC avec libération d'atomes de chlore susceptibles de réagir avec l'ozone et d'aboutir à sa dégradation. On pense maintenant que des atomes comme le brome ont également un rôle non négligeable dans la déplétion de l'ozone (environ 20%). Des mesures de réduction de l'utilisation des substances responsables de la déplétion de l'ozone ont été prises au niveau international à la fin des années 80. Cependant les CFC et halons ont été complètement proscrits seulement en 2000 et le méthylchloroforme seulement en 2005.

4.4.2.4. Les pluies acides

Les acides nitrique et sulfurique formés lors des réactions dans la phase gazeuse vont subir des changements ultérieurs. Les deux acides sont solubles dans l'eau et en présence de gouttelettes d'eau dans l'atmosphère, ils vont s'y solubiliser. L'acide sulfurique constitue des brouillards toxiques et joue un rôle essentiel dans la genèse des smogs acides que l'on observe dans les zones urbaines et (ou) industrielles des pays à climat humide et froid. Le temps moyen de résidence du SO₂ dans la troposphère est très bref de l'ordre de 2 à 4 jours. Il se transforme donc très vite en H₂SO₄ qui par suite de sa forte affinité pour l'eau est rapidement ramené à la surface du sol par les précipitations.

Au cours des années quatre-vingt, bien que la valeur du pH des pluies se soit stabilisée, celui-ci demeure à des niveaux très faibles, le pH moyen des précipitations étant de l'ordre, voire inférieur, à 4 sur de vastes zones d'Europe centrale, de même que dans le nord-est des Etats-Unis. En Scandinavie, l'acidité des pluies a cru de plus de 200 fois en une trentaine d'années.

Chapitre 05 : Description sommaire des principaux écosystèmes

5. Description sommaire des principaux écosystèmes

5.1. Forêt, prairie, eaux de surface, océan

5.1.1. Forêt

Désigne des peuplements d'arbres de nombreux écosystèmes terrestres, à l'exception des plus froids et des plus arides. Les arbres prédominent dans cette formation végétale au point de modifier les conditions écologiques régnant au sol. La forêt est dite dense ou fermée si les arbres sont jointifs ou occupent plus des deux tiers de la surface. Elle est dite claire ou ouverte si les arbres occupent entre deux tiers et un quart de la surface. Il existe plusieurs biomes forestiers que ce soit en régions froides ou chaudes. La couverture végétale joue un rôle dans la fixation des sols car elle les protège de l'action érosive de l'eau et du vent. En montagne, la forêt a un rôle de protection vis-à-vis des avalanches.

Les forêts sont des écosystèmes où les populations d'arbres qui les constituent ont développé des relations complexes avec les sols, le climat, le rayonnement solaire, la température, ainsi qu'avec les nombreuses espèces de plantes, d'animaux et de bactéries qui vivent d'elles et avec elles. Les écosystèmes forestiers ont une forte influence sur l'évolution des sols et de l'atmosphère. Elles s'étendent de l'équateur jusqu'à l'extrême-nord et à l'extrême-sud, et ne sont pas constituées des mêmes espèces selon les latitudes, les climats et les sols. Elles se déterminent à leur structure et à leur paysage, car il s'agit d'une population d'arbres de densité variable qui recouvre une surface donnée.



Figure 28: Forêt ombrophile tropicale dans le parc national de Corcovado.

(Ramade F., 2008)

5.1.2. Prairie

Terrain où poussent diverses herbes (parmi lesquelles dominent les graminées et les légumineuses) de façon spontanée ou organisée par l'homme, mangées sur place par le bétail ou fauchées pour sa nourriture.

On peut distinguer les prairies tropicales et sub-tropicales et les prairies tempérées.

Les prairies tropicales sont composées de savanes et d'arbustaises en régions semi-arides à semi-humides, sur tous les continents à part l'Antarctique.

Les savanes sont des prairies parsemées d'arbres (Afrique), les arbustaises sont dominées par des arbustes. Les prairies tempérées peuvent également être divisées entre savanes tempérées et arbustaises selon les plantes dominantes.

La prairie améliorée est une forme de prairie gérée, composée de graminées et de trèfles à haute valeur fourragère. Elle est généralement mise en place par réensemencement et est maintenue par le contrôle de l'intensité du pâturage et par l'utilisation du chaulage et de fertilisants.

On estime à environ 100 tonnes par hectare la biomasse vivante sous la surface des prairies tempérées, composée de bactéries, de champignons, de vers de terre, de micro-arthropodes et de larves d'insectes.

Une prairie est dite permanente quand elle a plus de six ans. Un élevage extensif y est généralement pratiqué.



Figure 29: Prairie de graminées

(Ramade F., 2008)

5.1.3. Eaux de surface

Les eaux de surface sont scindées en eaux courantes et eaux stagnantes :

5.1.3.1. Eaux courantes

Ce sont les eaux courantes des rivières et des fleuves, dénommées eaux à faciès lotique dans lequel on distingue diverses zones basées sur la composition spécifique des peuplements. La première classification proposée a été basée sur les préférences des poissons vis-à-vis de l'oxygène dissous et de la température de l'eau.

De l'amont vers l'aval, quatre zones caractérisées par une population piscicole spécifique, aux exigences décroissantes, sont mises en évidence. Par la suite, la stratification longitudinale a été affinée en fonction de la pollution par la présence ou l'absence de macro-invertébrés caractéristiques (mollusque, larves d'insectes, vers).

5.1.3.2. Eaux stagnantes

Certains auteurs parlent de faciès lentique pour désigner dans un cours d'eau des zones calmes dépourvues de courant. Cependant, plusieurs appellations sont réservées aux différents plans d'eau stagnante.

On distingue:

***Une mare**

Étendue d'eau à renouvellement généralement limité, de taille variable de 5000 m² à un hectare. Sa profondeur peut atteindre environ 2 mètres, au maximum 3 mètres, permettant à toutes les couches d'eau d'être sous l'action du rayonnement solaire et aux plantes de s'enraciner sur la totalité du fond. De formation naturelle ou anthropique, elle se trouve dans des dépressions imperméables, en contexte rural, périurbain, voire urbain. Alimentée par les eaux pluviales et parfois phréatiques, la présence d'eau peut donc n'être que temporaire et sous la dépendance

des variations météorologiques et climatiques. Contrairement aux étangs, les mares ne disposent pas de système de régulation du niveau d'eau. La diversité des mares est liée à leur origine, à leur forme, leur taille et leur profondeur.

Les mares abreuvoirs, de surface beaucoup plus modeste, ont été creusées à des fins agricoles pour permettre au bétail de boire.



Figure 30 : Une mare de grande taille

***Un étang**

Étendue d'eau stagnante, peu profonde, de surface relativement petite (jusqu'à quelques dizaines d'hectares), résultant de l'imperméabilité du sol. L'étang est un plan d'eau continental dont les dimensions et les usages (vidange, assec) ne permettent pas d'établir la zonation ni l'étagement de végétation.

***Un lac**

Étendue d'eau interne (habituellement d'eau douce) dormante, plus grande qu'une mare ou qu'un étang, qui remplit une dépression sur la surface terrestre ou un bassin géologique sans communication directe avec la mer à la différence des lagunes.

Les lacs sont caractérisés par l'absence de courant gravitaire. Leurs eaux sont donc d'un renouvellement lent (écosystèmes lenticques), leur temps moyen de séjour ayant tendance à augmenter avec leur volume. La différence avec d'autres écosystèmes analogues tels les étangs tient moins à leur surface qu'à leur profondeur relative plus importante, la zone littorale y étant toujours moins étendue que dans les autres types de biotopes lenticques. Il en résulte qu'ils présentent le plus souvent une zonation verticale due à la stratification thermique qui divise la colonne d'eau en une zone superficielle, épilimnétique et une zone profonde, hypolimnétique.

Cette zonation concerne aussi la pénétration de la lumière, qui n'atteint généralement pas les couches profondes, de ce fait, dépourvues d'autotrophes.

Un lac est un plan d'eau continental le plus généralement d'origine naturelle, sauf pour certains lacs de barrage. Les étangs, les mares et les gravières, de taille plus modeste et pour la plupart d'origine anthropique, ne sont pas des lacs. Les lacs naturels peuvent avoir différentes origines.

Les lacs glaciaires sont retenus par un barrage naturel dû à la présence, en travers d'une vallée, d'un verrou glaciaire rocheux ou morainique. De nombreux lacs d'altitude proviennent d'un simple surcreusement (ombilic) du substratum rocheux par le passage d'un glacier.

Les lacs d'origine volcanique peuvent occuper un cratère, une caldeira, un cratère d'explosion, on parle alors de maar. Ils peuvent également être retenus par une ancienne coulée de lave en travers d'une vallée. Les lacs peuvent aussi avoir une origine tectonique comme les grands lacs africains.

D'autres sont souterrains dans les régions karstiques et correspondent à de grandes cavités au sein des roches calcaires. Dans certains contextes morphologiques, ils peuvent parfois se remplir au point de créer un lac temporaire de surface. Certains lacs sont d'origine fluviale, par exemple les recouplements de méandre



Figure 31: Un lac dans le parc naturel régional du Queyras.

(Ramade F., 2008)

Tableau 5: L'eau dans la biosphère

| | Surface (en 10 ³ km ²) | Volume (en 10 ³ km ³) | Profondeur ou épaisseur moyenne (en m) | Pourcentage par rapport au volume hydrosphérique | |
|------------------------------|--|---|---|---|------------|
| | | | | /eau totale | /eau douce |
| Océan mondial | 361 300 | 1 338 000 | 3 700 | 96,5 | – |
| Eaux souterraines | 134 000 | 23 400 | 174 | 1,7 | – |
| – eau douce | | 10 530 | 78 | 0,76 | 30,1 |
| – humidité des sols | | 16,5 | 0,2 | 0,001 | 0,05 |
| Glaciers et névés | 16 267 | 24 064 | 1 463 | 1,74 | 68,7 |
| dont : | | | | | |
| – Antarctique | 13 980 | 21 600 | 1 546 | 1,56 | 61,7 |
| – Groënland, | 1 802 | 2 340 | 1 298 | 0,17 | 6,68 |
| – îles arctiques, | 226 | 83,5 | 369 | 0,006 | 0,24 |
| – glaciers de montagnes | 224 | 40,6 | 181 | 0,003 | 0,12 |
| Sols gelés | 21 000 | 300 | 14 | 0,022 | 0,86 |
| Eau des lacs | 2 058,7 | 176,4 | 85,7 | 0,013 | – |
| – douce | 1 236,4 | 91 | 73,6 | 0,007 | 0,26 |
| – salée | 822,3 | 85,4 | 103,8 | 0,006 | – |
| Marécages | 2 682,6 | 11,47 | 4,28 | 0,0008 | 0,03 |
| Cours d'eau | 148 800 | 2,12 | 0,014 | 0,0002 | 0,006 |
| Eau de la biomasse | 510 000 | 1,12 | 0,002 | 0,0001 | 0,003 |
| Vapeur d'eau atmosphérique | 510 000 | 12,9 | 0,025 | 0,001 | 0,04 |
| Réserves hydriques totales | 510 000 | 1 385 984 | 2 718 | 100 | – |
| Réserves totales d'eau douce | 148 800 | 35 029 | 235 | 2,53 | 100 |

5.1.4. Océan

-Au sens hydrologique, pellicule d'eau qui recouvre une partie du globe terrestre.

-Au sens géophysique, désigne les régions où cette pellicule d'eau épaisse de plusieurs kilomètres recouvre la croûte terrestre formée de basaltes ou de matériaux apparentés et non pas de matériaux continentaux (granites). Les mers épicontinentales ne font donc pas partie de l'océan au sens géophysique du terme.

La couche superficielle de l'océan est limitée entre la surface et la profondeur dite de pénétration. En pratique, cette couche correspond à environ 1/5ème de la couche euphotique, elle-même définie comme la région comprise entre la surface et la profondeur à laquelle l'éclairement est réduit à 1% de sa valeur de surface.

Malgré leurs dimensions plus grandes que celles des masses continentales, les océans contiennent moins que 250 000 des espèces décrites. Les embranchements ou sous-embranchements les plus diversifiés sont les Crustacés (environ 31 000 espèces), les Mollusques (environ 25 000 espèces) et les Annélides (environ 5 500 espèces). Les moins diversifiés sont les Placozoaires, les Nématomorphes et les Cycliophores, qui ne comptent qu'une espèce chacun, et les vers Phoronides et les Loricifères (10 espèces décrites en 1998)

Quatre principaux modes de vie caractérisent les organismes marins:

-Ceux qui vivent sur, dans ou un peu au-dessus du fond constituent le benthos.

-Ceux qui occupent les masses d'eau sont désignés pélagiques: ils sont soit très petits, dérivent passivement avec les courants et forment le plancton.

-Les organismes plus gros et peuvent nager à contre-courant et font partie du necton. Les poissons, les baleines, les calmars et les manchots sont nectoniques, tandis que les homards, les coraux, les algues macroscopiques, les coquillages et la plupart des vers sont benthiques. Les méduses et les autres animaux gélatineux sont les organismes planctoniques les plus gros, alors que la plupart des milliards d'autres individus sont très petits.

-Un quatrième mode de vie est celui des parasites ou symbiontes, qui vivent sur ou dans un hôte qui peut être nectonique, planctonique ou benthique; ils se nourrissent de leur hôte qui les transporte.

Les animaux benthiques, les algues macroscopiques et les protistes comptent pour 98% de la biodiversité des espèces marines, les 2 % restants étant pélagiques. 80 % d'espèces marines benthiques qui habitent sur le fond (épibenthos), tandis que seulement 20 % d'entre elles fouissent dans le

fond ou se cachent (endobenthos) dans les beaucoup plus vastes étendues sédimentaires uniformes de vase ou de sable qui recouvrent les fonds marins.

Les grandes profondeurs totalement obscures qui excluent toute croissance végétale photosynthétique constituent une propriété distinctive des océans et de ses plus vastes écosystèmes. Certaines frontières entre écosystèmes sont assez nettes, comme la thermocline saisonnière séparant l'eau de surface des zones tempérées, réchauffée et bien éclairée par le soleil en été, des eaux plus froides sous-jacentes; ou comme l'eau saumâtre peu profonde des estuaires et des lagunes.

Les écosystèmes tels que les estuaires peuvent être massivement dominés par des communautés benthiques de plantes et d'animaux.

Les écosystèmes côtiers contiennent une communauté pélagique plus importante, alors que les écosystèmes de grandes profondeurs sont dominés par le benthos, mais dépourvus de végétaux.

Les écosystèmes océaniques au-dessus d'eaux très profondes ne contiennent que des communautés pélagiques.

5.2. Evolution des écosystèmes et notion de climax

Les communautés d'êtres vivants varient sans cesse, en privilégiant les formes de vie les plus adaptées aux conditions du milieu. D'abord simples, les chaînes alimentaires dominées par les herbivores, se complètent de carnivores et de détritivores. Les ressources du milieu sont de mieux en mieux exploitées. L'écosystème finit par tourner à plein rendement et devient de plus en plus stable (homéostasie) vis à vis des perturbations du milieu. Il renferme un grand nombre d'espèces, chacune représentée par un petit nombre d'individus. Les fluctuations de populations ne varient pas en grands écarts, à l'inverse des populations comportant quelques

espèces et un très grand nombre d'individus qui se montrent beaucoup plus sensibles à des déséquilibres (manque de mécanismes régulateurs, manque de pièces de rechange).

L'écosystème mûr est bien équilibré. Sa productivité primaire est bien supérieure à la consommation potentielle des herbivores. Les organismes décomposeurs trouvent de bonnes conditions de vie et favorisent ainsi un meilleur recyclage des éléments minéraux.

A l'échelle d'un écosystème, on peut donc parler de jeunesse, d'âge mûr et de vieillesse. Lorsque la capacité d'exploiter le milieu est optimale, on considère l'écosystème comme mûr. Par le passé, on le considérait définitivement stabilisé si l'homme n'intervenait pas ou si les conditions ne changeaient pas fortement. On donnait à cet écosystème le nom de climax ou de formation climacique.

Dans les régions d'Europe, ce climax est un écosystème forestier. L' " invention " du bois a permis aux arbres de s'élever au dessus des autres végétaux et de pouvoir former des communautés vivantes stratifiées exploitant la lumière à différents niveaux.

On sait aujourd'hui que cette notion de climax stable n'est que relative. Les écosystèmes, mêmes stables, continuent à évoluer à de grands rythmes.

L'équilibre est dynamique et résulte d'ajustements incessants. Il en est ainsi, par exemple, d'une hêtraie – sapinière montagnarde qui fluctue selon un cycle d'environ 300 ans (cycle sylvigénétique).

5.2.1. Successions écologiques

Malgré leur stabilité apparente, les écosystèmes sont en perpétuel changement. Le cycle de la matière et le flux de l'énergie les traversent sans interruption à l'intérieur des biocénoses. Malgré cette intense activité, l'équilibre dynamique réalisé fait que la physionomie et la structure des communautés ne varient pas sensiblement, même sur une période de temps prolongée. Dans un cycle incessant et auto-entretenu, le hêtre remplace le hêtre, le chêne remplace le chêne, etc. Cependant, une perturbation d'origine externe, brutale ou progressive, modification climatique ou anthropique, peut rompre cet équilibre dynamique et la remarquable stabilité de l'écosystème.

Supposons que pour une raison quelconque, une éruption volcanique recouvre de ses laves de vastes étendues de sol, qu'un incendie détruise une forêt ou encore qu'un champ situé dans une zone forestière soit abandonné. Dans chacune de ces circonstances, on assiste à un phénomène dénommé « succession écologique » décrivant le processus naturel d'évolution et de développement de l'écosystème depuis son stade initial vers son stade climacique. On dénomme « série », la séquence complète d'une succession. Elle est composée d'une séquence de stades possédant chacun leur biocénose.

Des espèces pionnières vont apparaître dans ces biotopes modifiés (Plantes annuelles en général, lichens,...) puis être progressivement remplacées par d'autres végétaux vivaces, puis ligneux. Cette succession écologique se poursuivra pendant des décennies voire plusieurs siècles jusqu'à ce qu'elle atteigne son stade ultime d'évolution dénommé « Climax », terme qui désigne une association stable d'espèces qui caractérise qualitativement et quantitativement l'ultime phase de développement d'une biocénose dans une succession (Fig.32).

On peut classer les successions selon diverses modalités :

❖ Successions autogéniques et allogéniques

La succession autogénique résulte d'un processus biotique s'exerçant à l'intérieur de l'écosystème où les modifications sont induites par les organismes eux-mêmes. Elles résultent du développement d'une communauté sur un biotope initialement perturbé et de son évolution au cours du temps vers un écosystème dont la structure et les peuplements sont de plus en plus complexes.

Quant à la succession allogénique, elle résulte de l'influence de facteurs extérieurs à l'écosystème. Ex. : Pollution, incendie. La succession allogénique peut engendrer des biocénoses instables à séries régressives (Peuplements successifs de plus en plus pauvres) pouvant aboutir à la destruction totale de l'écosystème.

❖ Successions primaires et secondaires

La distinction entre les deux est parfois difficile en fonction de l'intensité de la perturbation (Niveau de destruction de la communauté et de son environnement physicochimique). La succession primaire débute sur un habitat vierge qui n'a jamais été peuplé.

Ex. : Surface nue des roches comme la lave récemment formée. Elle commence généralement par l'arrivée de lichens qui en se décomposant fourniront les premiers apports de matière organique. Des plantes simples, telles que mousses et fougères, se développent sur la matière organique laissée par les lichens après leur mort. Mousses et fougères meurent et se décomposent à leur tour, apportant plus de matière organique.

L'épaisseur du sol augmente permettant l'installation d'autres plantes (Graminées). Ces plantes meurent et se décomposent à leur tour, apportant plus de sels nutritifs disponibles dans le sol. Arbres et arbustes peuvent désormais se développer et survivre. Insectes, oiseaux et mammifères apparaissent au fur et à mesure des changements de stade. Ce qui était initialement un sol nu est désormais colonisé par une large variété d'organismes vivants.

En contrepartie, la succession secondaire débute sur un habitat préalablement occupé par des organismes vivants et non totalement déstructuré après une perturbation.

Ex. : Grandes zones ouvertes à la suite d'un feu de forêt.

❖ **Successions régressives et progressives**

La succession régressive conduit à une simplification de la composition et de la structure des biocénoses. Quant à la succession progressive, elle conduit à une complexification de la composition et de la structure des biocénoses. Tout au long du gradient successional :

- Les premiers stades sont dominés par des espèces qui ont pour caractéristiques principales une petite taille, un renouvellement de population rapide et qui présentent de fortes fluctuations d'abondance ce qui leur confère le maximum de chance de survie dans un écosystème relativement instable.
- Les stades climaciques sont caractérisés par la dominance d'espèces de plus ou moins grande taille, peu fécondes et dont les populations sont stables et plus compétitives.

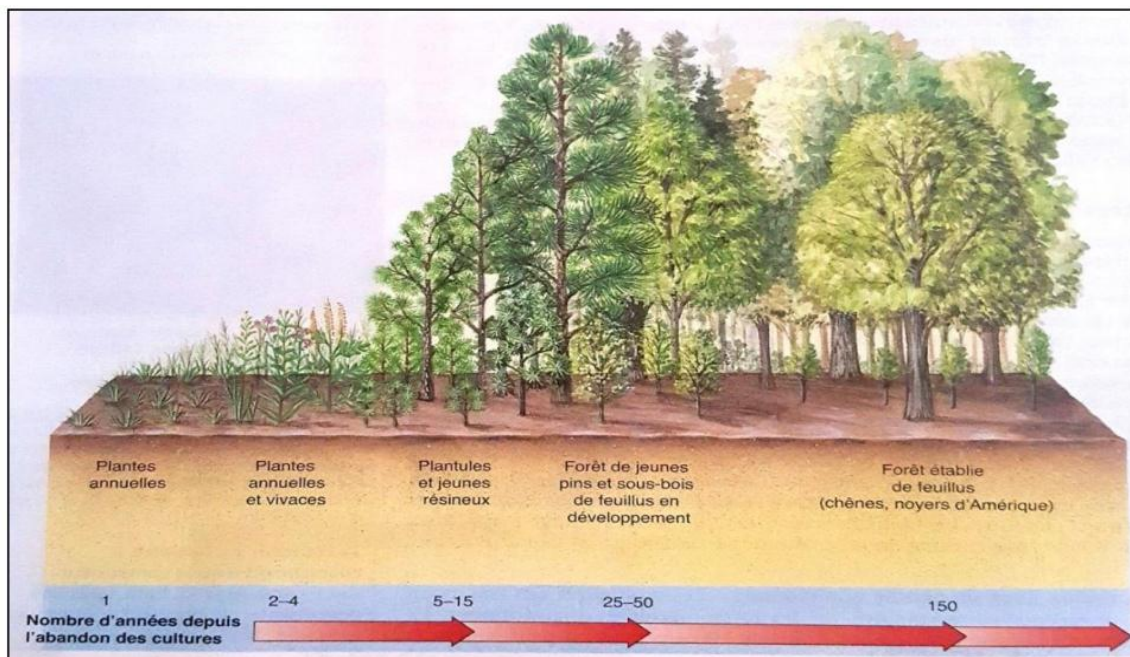


Figure 32 : Succession secondaire sur un champ abandonné en Caroline du Nord (Etats-Unis) (Berg et al., 2009).

5.2.2. Notion de climax

Terme ultime de l'évolution d'une communauté végétale qui correspond à son optimum de développement compte tenu des conditions climatiques et(ou) édaphiques prévalant dans le biotope considéré. Stade d'équilibre dynamique, de ce fait susceptible de variations, il représente la culmination d'une succession biocœnotique et se caractérise par un développement maximum de la biomasse et aussi souvent de la biodiversité dans un écosystème donné compte tenu des conditions écologiques prévalentes.

En règle générale, dans une région donnée, les conditions climatiques moyennes qui caractérisent les biotopes « normaux » induisent des successions phytocœnotiques qui conduisent à un stade ultime d'équilibre appelé **climax climatique**, car ce sont elles qui constituent les facteurs limitants des écosystèmes continentaux.

Cependant, il devient parfois que ce sont les conditions édaphiques qui conditionnent le développement du climax. Ainsi, sur terrains dont la roche-mère est de la serpentine, riche en divers métaux toxiques, seuls certaines métalphytes pourront se développer. De même sur substrat sablonneux, ou encore en présence d'une cuirasse d'altos, la phytocœnose climacique ne sera pas déterminée par le climat local mais par la constitution du sol. On parlera alors de **climax édaphique**.

Plus rarement, le relief, conjuguant l'effet de la pente et la modification du drainage qui en résulte, prend l'ascendant sur les conditions climatiques, engendrant un climax topographique (topoclimax).

Les phytocœnoses littorales de Californie du Nord donnent un excellent exemple du rôle respectif du climat, de la nature de la roche-mère et de la pente dans la genèse d'un climax. Ici selon un transect orienté Est-Ouest se rencontre sur un substrat gréseux un plateau ayant généré un sol podzolique avec une épaisse couche d'altos, une première rupture de pente avec affleurements

gréseux suivis en contrebas d'une terrasse glaciaire étendue sur laquelle subsistent des dunes fossiles sur lesquelles s'est formé un sol forestier.

Après une nouvelle rupture de pente, on rencontre une terrasse plus basse recouverte de sable pur à grains lâches qui jouxte le rivage. Sur le plateau croît une forêt pygmée de genévriers et de cyprès nains correspondant à un édaphoclimax, puis, sur les premières pentes se rencontre un boisement de pins bishop (topoclimax) auxquels succèdent des Douglas. Sur les dunes fossiles s'est développée une forêt de séquoias géants (*Sequoia sempervirens*) (climax climatique), enfin, les secondes terrasses, les plus proches de l'Océan, sont couvertes d'une prairie xérique de graminées croissant sur des sables purs (édapho-climax ou climax édaphique). On rencontre de la sorte quatre types de climax se succédant sur un même écocline.

Dans certaines circonstances liées à la présence d'un facteur perturbateur dû à l'action de l'homme (incendies récurrents par exemple), s'installe un dysclimax qui se maintiendra aussi longtemps que le facteur perturbateur exercera son effet.

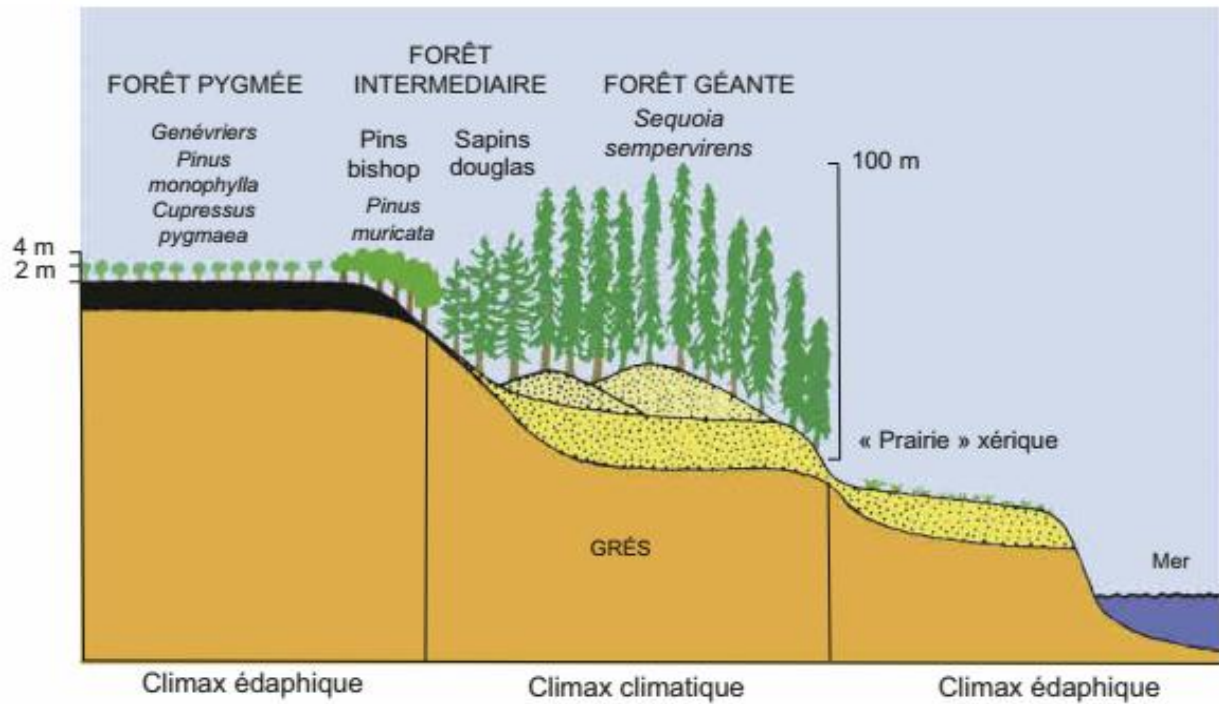


Figure 33: Transect dans la région côtière du Nord de la Californie mettant en évidence la coexistence d'un climax climatique et de deux climax édaphiques. (Ramade F., 2008)

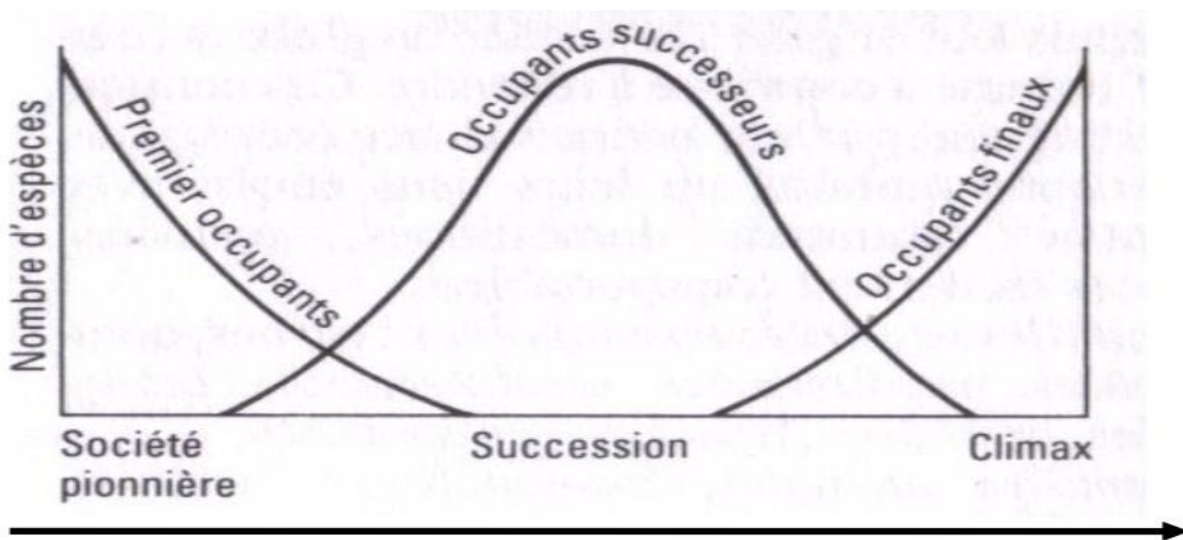


Figure 34 : Transformation successive d'une communauté en une autre jusqu'à l'établissement d'une communauté stable (climax)

(Heinrich & Hergt, 1990)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Barbault R. (2003). Ecologie générale, Structure et fonctionnement de la biosphere 5^{ème} édition, Dunod, Paris, 326 pages.

Barbault R. (2008). Ecologie générale, Structure et fonctionnement de la biosphere 5^{ème} édition, Dunod, Paris, 390 pages.

Berg L.R.; Raven P.H. & Hassenzahel D.M. (2009). Environnement. Première édition, De Boeck, 687 pages.

Begon M.; Townsend C.R. & Townsend C.R. (2006). Ecology, From individuals to ecosystems. Fourth edition, Blackwell Publishing, 738 pages.

Drouin J.M. (1984). La naissance du concept d'écosystème. Thèse de doctorat de troisième cycle. Université de Paris I (Panthéon-Sorbonne). 239 pages.

Faurie C. ; Ferra C. ; Médori P. ; Dévaux J. & Hemptinne J.L. (2002) : Ecologie : Approche scientifique et pratique. 5^{ème} édition. Edition Lavoisier. 407 pages.

Faurie C. ; Ferra Ch.; Médori P.; Dévaux J. & Hemptinne J. L. (2012). Écologie, approche scientifique et pratique. Sixième édition. Edition Lavoisier, 488 pages.

Fischesser B. & Dupuis-Tate M. (1996). Le Guide illustre de l'écologie. Editions de la Martinière – Cemagref Editions.

Heinrich, D. & Hergt, M., 1990. Atlas de l'écologie. Ed. La Pochothèque, 286 pages.

Le Tacon F. ; Selosse M.A. & Gosselin F.(2000). Biodiversité, Fonctionnement des écosystems et gestion forestière. Première partie .Rev.For.Fr.LII.496 pages.

Péguin M. ; Delangue J. ; Teillac-Deschamps P. ; Moncorps S. & Nirmala Séon-Massin N., (2015). Les écosystèmes d'eau douce.UICN France. 24 pages

Ramade F.(1991). Eléments d'écologie, écologie fondamentale, Mc Graw-Hill, Paris

Ramade F. (2008). Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la Biodiversité. Edition Dunod, Paris, 726 pages.

Ramade F.(2012). Éléments d'écologie, Écologie appliquée : action de l'Homme sur la biosphere. 7^{ème} Edition, Dunod, Paris, 789 pages.

Ricklefs R.E. & Miller G.L. (2005) : Ecologie. Edition De Boeck Université. 821p.

Sigg L.; Behra Ph. & Stumm W. (2014). Chimie des milieux aquatiques. 5^{ème}. Dunod, Paris, 497 pages.

Tirard C.; Barbault R.; Abbadie L. & Loeuille N. (2012). Mini Manuel déologie. Cours + QCM/QROC. Dunod, Paris, 155pages.

Triplet P. (2015). Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature. Première édition, 721pages.

Triplet P. (2016). Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. Deuxième édition, 939 pages.

Triplet P. (2017). Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. Troisième édition, 1056 pages.

Triplet P. (2018). Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. Quatrième édition, 1095 pages.

Triplet P. (2019). Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature. Cinquième édition, 1095 pages.

Triplet P. (2020). Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature. Sixième édition, 1216 pages.